

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO UTILIZANDO DISTINTOS MÉTODOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS CON LOS MATERIALES TÍPICOS DE LA PROVINCIA DE AREQUIPA”

Tesis presentada por el Bachiller:

Coasaca Condori, Guillermo Raúl

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mgter. Díaz Galdós, Miguel Renato

**AREQUIPA - PERÚ
2018**

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

"Análisis Comparativo de las propiedades físicas
y mecánicas del concreto utilizando distintos
métodos de diseños de mezclas con los materiales típicos
de la provincia de Arequipa"
Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

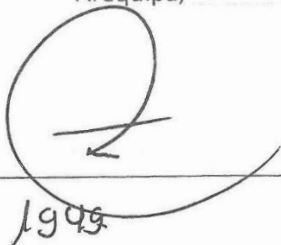
Guillermo Raul Coasara Condori

Nuestro DICTAMEN es:

Aprobado

OBSERVACIONES:

Arequipa, 10 de abril del 2018


1949


2778


1938

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios, que me ha llevado hasta este punto, agradezco las situaciones que me hace vivir todos los días, porque me recuerda que nunca me dejó solo y me da la fuerza necesaria para seguir mejorando cada día.

A la Universidad Católica de Santa María y a mis profesores, por su enseñanza y arduo esfuerzo por inculcar en los estudiantes el conocimiento necesario para llegar a ser unos excelentes profesionales; y más allá de las clases formativas llegan a ser nuestros amigos, que con sus consejos y experiencia nos preparan para la vida personal y laboral, a los cuales recordare y estaré agradecido por toda la vida.

Al personal del Laboratorio de Ingeniería Civil de la UCSM, Ing. Alejandro Hidalgo, Ing. Nairda Morón, Ing. Isabel Neira, Arq. Mónica Macedo, Señor Ricardo, Señora Elsa; que desde los ingenieros hasta el personal de limpieza y vigilancia, me apoyaron desde que el planteamiento de esta investigación era solo una idea, ayudándome desde un inicio en el proceso de practico de laboratorio, donde con sus consejos, palabras de ánimo, y confianza brindada se pudo realizar todos las actividades planeadas.

A mis compañeros y amigos de la universidad, que con ellos me forje estos 5 años de carrera universitaria donde unidos maduramos y crecimos, no solo en conocimiento sino también como buenas personas y amigos, quienes a pesar de la distancia y el tiempo me han seguido apoyando en esta etapa de tesis, a los cuales llevare siempre en mi memoria y los recordare con una sonrisa por todos aquellos momentos compartidos.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi familia en especial a mis padres Adrián Coasaca Taco y Elena Condori de Coasaca, por todo el amor y sacrificios que hicieron y seguirán haciendo por mí; por darme el apoyo incondicional durante mis años de estudios, donde con sus sabios consejos y aliento he podido superarme día a día llegando a ser una persona de bien, esperando ser en un futuro como ellos.

Atte. Guillermo Raúl Coasaca Condori

RESUMEN

El concreto es uno de los componentes más usados en la industria de la construcción, para la formación de este es necesario un diseño de mezcla eficiente que pueda asegurar los resultados esperados sin sacrificar el aspecto económico, debido a esto surgieron diversos métodos de diseños de mezcla, sin embargo no se han realizado estudios específicos sobre la utilización de estos en la provincia de Arequipa.

En esta investigación se desarrollaran los procedimientos de 8 métodos de diseños de mezcla entre convencionales: ACI, Walker y Modulo de Fineza de la combinación de los agregados; diseños racionales: Füller, Bolomey y Faury; y diseños prácticos o experimentales: O'Reilly y Porrero & Grases, utilizando los materiales típicos de la provincia de Arequipa, para resistencias de 175, 210 y 280 kg/cm².

Para realizar un análisis comparativo entre las propiedades físicas y mecánicas del concreto se realizaron pruebas físicas de asentamiento, contenido de aire y peso unitario del concreto fresco; y pruebas mecánicas de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de curado y de peso unitario del concreto endurecido.

Tras realizar las pruebas, se obtuvo una relación entre la dosificación de los componentes y con respecto a las propiedades del concreto, además se determinó la tendencia que síguete cada diseño de mezcla según la resistencia requerida, logrando hacer una comparación entre los diseños de mezcla y recomendaciones de uso de estas.

Palabras clave: *Diseño de mezcla, Concreto, Análisis comparativo*

ABSTRACT

Concrete is one of the most used components in the construction industry, for the formation of this is necessary an efficient mixing design that can ensure the expected results without sacrificing the economic aspect, due to this there were various methods of mixing designs. However, no specific studies have been conducted on the use of these in the province of Arequipa.

In this investigation the procedures of 8 methods of mixing designs between conventionals: ACI, Walker and Fineness Module of the combination of the aggregates will be developed; rational designs: Füller, Bolomey and Faury; and practical or experimental designs: O'Reilly and Porrero & Grases, using the typical materials from the province of Arequipa, for resistances of 175, 210 and 280 kg/cm².

In order to carry out a comparative analysis between the physical and mechanical properties of the concrete, physical tests of settlement, air content and unit weight of the fresh concrete were performed; and mechanical tests of resistance to compression at 7 and 28 days of curing and unit weight of hardened concrete.

After conducting the tests, a relationship was obtained between the dosage of the components with respect to the properties of the concrete, in addition the tendency was determined to follow in each mix design according to the required resistance, making a comparison between the mix designs and recommendations of use of these.

Keywords: *Mix design, Concrete, Comparative analysis*

INTRODUCCIÓN

La necesidad de esta investigación surge a raíz de la búsqueda incansable del hombre por encontrar un lugar donde refugiarse, que sea lo suficientemente resistente para protegerlo ante cualquier incidente, es por eso que a lo largo de la historia desde los primeros refugios como las cuevas donde habitaban los primeros hombres, se ha ido mejorando las condiciones existentes con el descubrimiento y uso de nuevos materiales y metodologías de construcción, llegando a la creación del concreto que actualmente es el material más usado para la construcción debido a sus propiedades de durabilidad y resistencia entre otras.

Muchos ingenieros investigadores, han buscado encontrar un proporcionamiento óptimo de los componentes que integran el concreto, tratando de minimizar los gastos y permitiendo cumplir las necesidades requeridas, por lo que desarrollaron diversos procedimientos para el diseños de mezcla en distintas partes del mundo, cada vez considerando más variables y ajustando los resultados procurando siempre ser el más eficiente.

En esta investigación a partir de los diferentes diseños de mezclas tradicionales y modernas determinaremos los beneficios y características en función a los resultados obtenidos tras realizar pruebas normadas al concreto en su estado fresco y endurecido, utilizando los materiales típicos y disponibles de la provincia de Arequipa para la construcción. Además se realizara un análisis comparativo entre los diseños de mezclas y sus resultados con el fin de lograr obtener una visión más amplia sobre métodos y variables que los autores consideraron que son fundamentales en la dosificación del concreto; para finalizar, esta investigación busca brindar una herramienta al lector, sobre los procedimientos, consideraciones y recomendaciones a seguir en cada diseño de mezcla.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INTRODUCCIÓN	III
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	1
1.1. PROBLEMA DEL PROYECTO	1
1.1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4. HIPÓTESIS	5
1.5. VARIABLES E INDICADORES	6
1.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	6
1.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES	7
1.6. ALCANCE	7
1.7. METODOLOGÍA	8
1.8. LIMITACIONES.....	11
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. CONCRETO	12
2.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	13
2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO	15
2.3.1. CEMENTO.....	15
2.3.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO	15
2.3.1.2. CEMENTOS PORTLAND NORMAL	16
2.3.1.3. CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS.....	16
2.3.2. AGREGADOS	17
2.3.3. AGUA	19
2.3.4. AIRE.....	19
2.4. INCIDENCIA DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO	19
2.5. PRINCIPALES ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO.....	20
2.5.1. SELECCIÓN DE MATERIALES	20
2.5.2. DISEÑO DE MEZCLA.....	20
2.5.3. MEZCLADO.....	21
2.5.3.1. PROCEDIMIENTO DE MEZCLA.....	21
2.5.3.2. TIEMPO DE MEZCLADO.....	22
2.5.4. TRANSPORTE	24
2.5.5. COLOCACIÓN	24
2.5.6. CONSOLIDACIÓN	24
2.5.7. CURADO	25

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE MEZCLA	26
3.1. INTRODUCCIÓN.....	26
3.2. MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN	26
3.3. MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLA	27
3.3.1. MÉTODO ACI.....	27
3.3.2. MÉTODO DE WALKER.....	28
3.3.3. MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	29
3.3.4. MÉTODO DE FÜLLER	29
3.3.4.1. ASTM C33 – ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA AGREGADOS.....	31
3.3.5. MÉTODO DE BOLOMEY	32
3.3.6. MÉTODO DE FAURY	33
3.3.7. MÉTODO DE O'REILLY	34
3.3.8. MÉTODO DE PORRERO & GRASES.....	36
3.4. PARÁMETROS BÁSICOS	38
3.4.1. TRABAJABILIDAD.....	38
3.4.2. DURABILIDAD	38
3.4.3. RESISTENCIA	39
3.4.4. ECONOMÍA	39
3.4.4.1. COSTO DE LOS MATERIALES.....	40
3.4.4.2. EQUIPO Y MANO DE OBRA.....	40
3.5. PRINCIPALES ETAPAS DEL DISEÑO DE MEZCLA.....	40
3.5.1. RESISTENCIA PROMEDIO.....	40
3.5.1.1. COEFICIENTE DE VARIACIÓN.....	41
3.5.1.2. DESVIACIÓN ESTÁNDAR	42
3.5.1.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (f'_{cr}).....	44
3.5.2. ASENTAMIENTO.....	46
3.5.3. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN).....	47
3.5.4. CANTIDAD DE AGUA	49
3.5.5. CONTENIDO DE AIRE	51
3.5.6. RELACIÓN AGUA/CEMENTO.....	53
3.5.6.1. RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA.....	54
3.5.6.2. RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR DURABILIDAD	56
3.5.7. CONTENIDO DE CEMENTO	59
3.5.8. SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	59
3.5.8.1. SELECCIÓN DE AGREGADO GRUESO	59
3.5.8.2. SELECCIÓN DE AGREGADO FINO	59
3.5.9. AJUSTES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	60
3.5.9.1. CORRECCIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD.....	61
3.5.9.2. CORRECCIÓN POR CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	61
3.5.9.3. HUMEDAD SUPERFICIAL	61

CAPÍTULO 4. PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO Y MÉTODOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS..... 62

4.1. PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES.....	62
4.1.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	62
4.1.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	62
4.1.1.1.1. AGREGADO FINO	62
4.1.1.1.2. AGREGADO GRUESO.....	69
4.1.1.2 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO	78
4.1.1.2.1. PESO ESPECÍFICO DE MASA (Pem)	81
4.1.1.2.2. PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS).....	81
4.1.1.2.3. PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pea).....	82
4.1.1.2.3. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.....	82
4.1.1.3 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO.....	83
4.1.1.3.1. PESO ESPECÍFICO DE MASA (Pem)	86
4.1.1.3.2. PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS).....	86
4.1.1.3.3. PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pea).....	87
4.1.1.3.4. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.....	87
4.1.1.4 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	88
4.1.1.4.1. PESO UNITARIO SUELTO.....	88
4.1.1.4.2. PESO UNITARIO COMPACTADO	91
4.1.1.4.3. CONTENIDO DE VACÍOS.....	93
4.1.1.5. CANTIDAD DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ #200.....	94
4.1.1.5.1. AGREGADO FINO	96
4.1.1.5.2. AGREGADO GRUESO.....	97
4.1.1.6. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN E IMPACTO (MAQUINA DE LOS ÁNGELES).....	97
4.1.1.7. PORCENTAJE DE HUMEDAD	100
4.1.2. PROPIEDADES DEL CEMENTO	102
4.1.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO	103
4.1.3. PROPIEDADES DEL AGUA.....	106
4.1.4. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO	107
4.2. DESARROLLO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS	108
4.2.1. MÉTODO ACI.....	109
4.2.2. MÉTODO DE WALKER.....	116
4.2.3. MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	124
4.2.4. MÉTODO DE FÜLLER	131
4.2.5. MÉTODO DE BOLOMEY	149
4.2.6. MÉTODO DE FAURY	174
4.2.7. MÉTODO O'REILLY	214
4.2.8. MÉTODO DE PORRERO & GRASES	230
4.3. RESUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA	250
4.4. COMPARATIVO DE LA DOSIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA.....	253
4.4.1. COMPARATIVO ENTRE DISEÑOS CON UNA RESISTENCIA.....	253
4.4.2. COMPARATIVO ENTRE RESISTENCIAS DE UN DISEÑO.....	259

4.4.3. COMPARACIÓN DE RELACIÓN A/C ENTRE DISEÑOS.....	267
4.4.4. COMPARACIÓN DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE DISEÑO	268

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS APLICADOS AL CONCRETO..... 269

5.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.....	269
5.1.1. ASENTAMIENTO.....	269
5.1.1.1. ASENTAMIENTO PROMEDIO F'C=175 kg/cm ²	272
5.1.1.2. ASENTAMIENTO PROMEDIO F'C=210 kg/cm ²	273
5.1.1.3. ASENTAMIENTO PROMEDIO F'C=280 kg/cm ²	275
5.1.1.4. ASENTAMIENTO VS RESISTENCIA PROMEDIO	276
5.1.2. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO	278
5.1.2.1. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO F'C=175 kg/cm ²	283
5.1.2.2. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO F'C=210 kg/cm ²	285
5.1.2.3. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO F'C=280 kg/cm ²	287
5.1.2.4. PESO UNITARIO VS RESISTENCIA PROMEDIO.....	289
5.1.3. CONTENIDO DE AIRE	291
5.1.3.1. CONTENIDO DE AIRE F'C=175 kg/cm ²	294
5.1.3.2. CONTENIDO DE AIRE F'C=210 kg/cm ²	296
5.1.3.3. CONTENIDO DE AIRE F'C=280 kg/cm ²	297
5.1.3.4. CONTENIDO DE AIRE VS RESISTENCIA PROMEDIO.....	299
5.1.4. ELABORACIÓN Y CURADO DE PROBETAS	301
5.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	302
5.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	302
5.2.1.1. CONTROL ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	304
5.2.1.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	307
5.2.1.2.1. RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA F'C=175 kg/cm ²	308
5.2.1.2.2. RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA F'C=210 kg/cm ²	309
5.2.1.2.3. RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA F'C=280 kg/cm ²	311
5.2.1.2.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO.....	313
5.2.2. PESO UNITARIO	316
5.2.2.1. PESO UNITARIO PROMEDIO F'C=175 kg/cm ²	318
5.2.2.2. PESO UNITARIO PROMEDIO F'C=210 kg/cm ²	319
5.2.2.3. PESO UNITARIO PROMEDIO F'C=280 kg/cm ²	320
5.2.3. EFICIENCIA.....	321
5.2.3.1. EFICIENCIA F'C=175 kg/cm ²	323
5.2.3.2. EFICIENCIA F'C=210 kg/cm ²	324
5.2.3.3. EFICIENCIA F'C=280 kg/cm ²	324
5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	325
5.3.1. ANÁLISIS DEL ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO....	325
5.3.1.1 ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO - 175 kg/cm ² ...	327
5.3.1.2 ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO - 210 kg/cm ² ...	328
5.3.1.3 ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO - 280 kg/cm ² ...	329
5.3.1.4. ANÁLISIS GRÁFICO - ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE.....	329

5.3.1.5. ANÁLISIS GRÁFICO - PESO UNITARIO VS ASENTAMIENTO.....	332
5.3.1.6. ANÁLISIS GRÁFICO - PESO UNITARIO VS CONTENIDO DE AIRE	336
5.3.1.7. CUADRO COMPARATIVO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA VS RANGO DE ACEPTACIÓN.....	339
5.3.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO VS PROPIEDADES DEL ESTADO FRESCO DEL CONCRETO.....	341
5.3.2.1. RESISTENCIA PROMEDIO VS ASENTAMIENTO	341
5.3.2.2. RESISTENCIA PROMEDIO VS CONTENIDO DE AIRE.....	346
5.3.2.3. RESISTENCIA PROMEDIO VS PESO UNITARIO.....	351
5.3.2.4. CUADRO COMPARATIVO CON LAS RESISTENCIAS PROMEDIOS EXACTAS...	356
5.3.2.5. CUADRO COMPARATIVO DEL RANGO DE RESISTENCIAS PARA CUMPLIR CON LOS INTERVALOS DE ACEPTACIÓN	358
5.4. RELACIÓN COSTO – BENEFICIO	360
5.4.1. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.....	360
5.4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO COSTO - BENEFICIO	365
CONCLUSIONES	369
RECOMENDACIONES	376
PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN	377
BIBLIOGRAFÍA.....	378
LISTA DE TABLAS.....	382
LISTA DE CUADROS	384
LISTA DE FIGURAS	388
LISTA DE ILUSTRACIONES	392
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESIÓN DEL DISEÑO DE O'REILLY.....	393
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	393
GRÁFICOS DEL CONTROL ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	393

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

En la región de Arequipa aún no se ha realizado un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto utilizando distintos métodos de diseños de mezclas con los materiales típicos de la provincia.

1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El concreto es el material más usado en la construcción de obras civiles tanto particulares como de servicio público, debido a que es una mezcla de componentes con propiedades adecuadas de durabilidad y resistencia que otorgan a las personas un ambiente personal y seguro contra condiciones climáticas de sitios desfavorables.

Debido a lo anterior al momento de diseñar una construcción de concreto, este debe cumplir con requerimientos básicos y mínimos dependiendo de las condiciones en que se encuentre; estas propiedades se obtendrán a partir de las características de los componentes que intervienen en el concreto y su nivel de participación es esta, por lo que se debe realizar un diseño de mezcla óptimo que dosifique los materiales del concreto para su preparación, y cumpla con los requerimientos necesarios según la condiciones de la estructura y pueda asegurar su desarrollo futuro.

Comúnmente el método más conocido y usado a nivel mundial es el método de ACI, diseñado por la norma referentes a sus siglas (American Concrete Institute), este método ha tenido gran aceptación debido a su fácil procedimiento y amplio margen de uso, pudiendo ser utilizado en cualquier parte y bajo cualquier condición utilizando las variables que impone el método. Sin embargo, existen otros métodos de diseños de mezcla desarrollados por diferentes investigadores, que mediante pruebas realizadas por los mismos logran obtener resultados más óptimos que el método ACI.

Cada diseño de mezcla tiene procedimientos propios donde incluyen variables, tablas, gráficos y ecuaciones que son desarrollados de manera empírica, es decir mediante una serie de experimentos previos, por lo que podemos decir que cada diseño de mezcla se realizó utilizando unos determinados materiales, con sus respectivas características y bajo condiciones específicas.

Al realizar el concreto para una estructura requerida y en un determinado lugar, podemos ver que al momento de medir los resultados de las diferentes propiedades del concreto y desempeño a lo largo de sus etapas, estas difieren con los resultados esperados a pesar de cumplir con los procedimientos y dosificaciones del diseño de mezcla escogido, obligando al constructor a modificar la mezcla y su dosificación arriesgando la calidad y resistencia del concreto para cumplir con un objetivo determinado. Un ejemplo típico es la adición extra de agua al concreto para ganar trabajabilidad, arriesgando su resistencia final.

Esto se debe precisamente a que las condiciones en que se realiza el concreto no son iguales a las adoptadas por el investigador que desarrollo el diseño de mezcla por múltiples variables, entre estas el tipo y calidad de materiales, condiciones climáticas y diferentes eficiencias de mano de obra y equipo, llegando a la conclusión que un diseño de mezcla puede resultar ser más óptimo que otro dependiendo de las condiciones mencionadas anteriormente.

Debido a lo anterior, un ingeniero dedicado a la construcción necesita tener una visión más amplia con respecto a la elección del diseño de mezcla y de sus variables, considerando las características de los materiales y condiciones presentes en la obra, con el fin de determinar el más óptimo y asegurar los resultados esperados para así no enfrascarse en un único método.

De lo anteriormente descrito, esta investigación busca responder a las siguientes preguntas

- ¿Cuál es la incidencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto utilizando distintos métodos de diseño de mezclas con los materiales típicos de la provincia de Arequipa?
- ¿Cuáles son los diseños de mezcla más eficientes utilizando materiales típicos de la provincia de Arequipa?
- ¿Cuál es el procedimiento de cada método de diseño de mezcla considerando las recomendaciones, restricciones y limitaciones?
- ¿Cuál la incidencia en la realización de cada diseño de mezcla considerando el aspecto económico?

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el Perú, los primeros barriles de cemento llegaron en 1850. El concreto con él elaborado se usó para la construcción de cimentaciones y para mejorar los acabados de las estructuras. Posteriormente se utilizó en combinación con acero para la construcción de edificios, puentes, acueductos, etc.¹

Vemos que el uso del concreto en Perú ya se daba desde hace muchos años en la realización de obras para el bien de la población, desde esos tiempos, la metodología para mezclar los componentes del concreto fue un tema muy amplio para tratar, por lo que el más correcto era el que daba mejores resultados obtenidos únicamente mediante la experiencia, sin embargo años después investigadores logran una metodología de mezcla según lo descrito: “El siglo XX marca una nueva etapa en el conocimiento científico y técnico del material, fue precisamente el ingeniero francés René Feret quien realizó el primer estudio racional sobre diseño de mezclas de hormigón entre los años 1892-1897 (Laboratorio de Ponts et Chaussées); a Feret le siguieron Abrams, Fuller, Weymouth, Thaulow, Walker, Goldbek, Gray, Talbot, etc, quienes cimentaron las bases para la moderna tecnología del hormigón.”²

Efectivamente el Ingeniero René Feret, desarrolló una gráfica donde relacionaba la compactación con el uso de agregados gruesos, medianos y finos en el concreto, a estas se les conoció como las leyes de Feret, donde determinaba que la mayor compactación se daba cuando no había presencia de agregados medianos, más si con la unión de agregados grandes y finos.

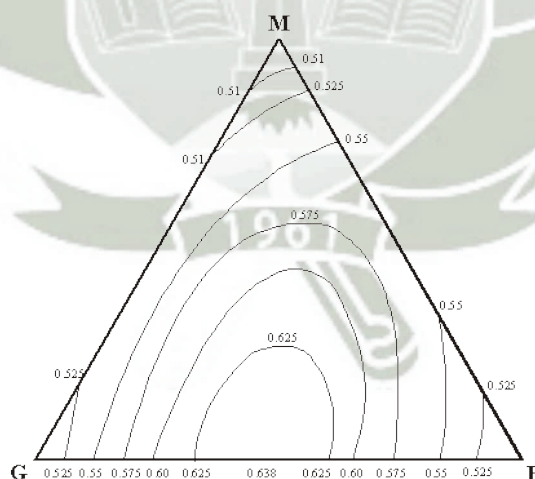


Fig. 1.1. Representación gráfica de las leyes de Feret, donde las líneas de igual compactación en la mezcla de agregados donde G: Gruesos, M: Medianos, F: Finos³

¹ (Harmsen, 2002, pág. 2)

² (Giraldo Bolívar, 1987, pág. prólogo ix)

³ (Portugal Barriga, 2007, pág. 97)

1.2.1. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJA CONSISTENCIA, Ostos Chirinos, México⁴

Se realizó una tesis en la ciudad de Xalapa, México sobre la comparación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido del Método ACI y O'Reilly; realizando ensayos al concreto bajo la Norma Técnica Mexicana, teniendo las mismas condiciones y materiales.

De los resultados obtenidos se determinó que teniendo una misma relación de a/c, el método ACI, obtuvo el asentamiento requerido, mientras que el Método O'Reilly no llegó a los esperados; el desprendimiento de calor de hidratación tuvo una temperatura igual en los métodos de mezclas, y con respecto a la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días ambos ensayos tuvieron resultados muy parecidos con una muy ligera ventaja del método ACI. Se concluye con que ambos métodos son eficientes, sin embargo cuando se tenga agregados con una granulometría no adecuada, el método ACI tiene restricciones con respecto a este caso, por lo que conlleva a traer agregado de otro lado acrecentando la economía del proyecto, sin embargo el método O'Reilly es capaz de utilizar agregados de granulometría inadecuada y ajustarse a este para la dosificaciones de demás componentes del concreto

1.2.2. DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO MÉTODO WALKER, Villacorta, Perú⁵

Se realizó una investigación del diseño de mezcla del concreto por método de Walker en el año 2013 en la ciudad de Lima, Perú, realizando pruebas a dos probetas de concreto de resistencia requerida de $f'c$ 270kg/cm², dando a conocer las características del concreto en estado fresco asentamiento, peso unitario, segregación, exudación y en estado endurecido da a conocer el peso del concreto endurecido, resistencia a la compresión, esfuerzo máximo y módulo de elasticidad.

Se determinó que las fallas en la prueba de resistencia por compresión, fue debido a la pasta y en menor proporción al de los agregados. La resistencia a la compresión alcanzada a los 7 días fue de 271.43 kg/cm², que fue 9% más de lo deseado. Además se indica que al realizar la mezcla el método Walker proporciona una mezcla menos sobre gravosa que el método ACI, es decir se tuvo una pasta con consistencia más equilibrada. Se recomienda que en el proceso de curado, las probetas deben de cambiar de posición cada cierto tiempo para obtener una distribución homogénea de curado y que al momento de realizar la prueba de compresión los 7 días, la probeta este superficialmente seca, y debe colocarse en la parte superior el extremo que contiene mayor porcentaje de agua, así se obtendrá resultados más óptimos.

⁴ (Ostos Chirinos, 2009)

⁵ (Villacorta, 2013)

1.2.3. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ENTRE LAS FIBRAS DE ACERO WIRAND PRODUCIDAS EN ITALIA Y LAS PRODUCIDAS EN PERÚ, Córdova, Cuellar & Guizado, Perú ⁶

En la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, en el año 2012 se realizó ensayos de probetas de concretos con resistencias de 210, 245 y 280 kg/cm² con el uso de fibras de acero Wirand de (20 y 25 kg/m³), bajos las normas ASTM Y NTP para las respectivas pruebas en laboratorio. Con la intención de replicar los ensayos realizados en Italia y otros países, se optó por seguir el método de diseño de mezcla de Füller.

Como resultado de la resistencia a la compresión de probetas, dieron un promedio de 15% mayores a las esperadas, y se recomienda el uso del método de Füller, ya que esta requiere una curva granulométrica real, que indica una adecuada dosificación y por lo tanto un buen comportamiento del concreto.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto utilizando distintos métodos de diseño de mezclas con los materiales típicos de la provincia de Arequipa.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el diseño de mezcla más eficiente utilizando materiales típicos de la provincia de Arequipa.
- Brindar los procedimientos de cada método de diseño de mezcla considerando las recomendaciones, restricciones y limitaciones.
- Realizar un análisis comparativo de cada diseño de mezcla considerando el aspecto económico.

1.4. HIPÓTESIS

Debido a que las propiedades físicas y mecánicas del concreto están íntimamente relacionadas con los materiales que la componen y la dosificación que nos brinda el diseño de mezcla adoptado; es posible que bajo las mismas condiciones y utilizando materiales típicos de la provincia de Arequipa, al usar diversos métodos de diseños de mezclas, estos nos brinden diferentes dosificaciones de los componentes, logrando obtener un análisis comparativo de las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido, además de determinar los diseños de mezcla más óptimos.

⁶ (Córdova Pérez, Cuéllar Soto, & Guizado Barrios, 2012)

1.5. VARIABLES E INDICADORES

1.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES	FUENTES	
DISEÑO DE MEZCLA	Método ACI	Respectivos procedimientos independientes	
	Método de Walker		
	Método del Módulo de Fineza de la combinación de los agregados		
	Método de Füller		
	Método de Bolomey		
	Método de Faury		
	Método de O'Reilly		
	Método de Porrero & Grases		
AGREGADO FINO Y GRUESO	Distribución de Tamaño	Ensayo de análisis granulométrico	NTP 400.012 ASTM C-136
	Peso específico del agregado fino	Ensayo de peso específico del agregado fino	NTP 400.022 ASTM C-128
	Porcentaje de Absorción del agregado fino		
	Peso específico del agregado grueso	Ensayo de peso específico del agregado grueso	NTP 400.021 ASTM C-127
	Porcentaje de Absorción del agregado grueso		
	Peso unitario suelto	Ensayo de peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado	NTP 400.017 ASTM C-29
	Peso unitario compactado		
	Contenido de vacíos		
	% Partículas más finas que la malla #200	Ensayo del material más fino que pasa la malla #200	NTP 400.018 ASTM C-117
	Contenido de humedad	Ensayo del contenido de Humedad	NTP 339.185 ASTM C-566
	Dureza y desgaste	Ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles	NTP. 400.019 ASTM C-131

Cuadro 1.1. Variables independientes, indicadores y fuentes

1.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES

VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES	FUENTES	
CONCRETO EN ESTADO FRESCO	Consistencia	Ensayo de Asentamiento	NTP. 339.035 ASTM C-143
	Densidad	Ensayo de peso unitario	NTP. 339.046 ASTM C-138
	Rendimiento		
	Aire atrapado	Ensayo de contenido de aire	NTP. 339.083 ASTM C-231
CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	Resistencia a la compresión	Ensayo de compresión	NTP. 339.034 ASTM C-039
	Eficiencia		
	Densidad	Ensayo de peso unitario	NTP. 339.046 ASTM C-138

Cuadro 1.2. Variables dependientes, indicadores y fuentes

1.6. ALCANCE

La presente investigación propone realizar el análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco como endurecido utilizando los procedimientos de diseño de mezcla propuestos por diferentes investigadores, realizados bajo las mismas condiciones de materiales y condiciones externas.

Se determinara el diseño de mezcla más óptimo y que cumpla con los requerimientos necesarios cuando se utilice los materiales típicos de la provincia de Arequipa. Además se explicara y justificara el procedimiento de diseño de mezcla de cada investigador desarrollado, considerando sus recomendaciones y restricciones, para una visión más amplia del lector con respecto al proceso de diseños de mezcla y sus variables.

CAMPO Y ÁREA

- Área: Ingeniería y Tecnología
- Subárea: Ingeniera Civil
- Disciplina: Ingeniera de Construcción

NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de nivel descriptivo, ya que se dentro de su metodología se describirá, interpretará y hará un análisis comparativo del desarrollo del concreto en sus diferentes etapas, donde se podrá mostrar datos reales y medibles del comportamiento del concreto y de sus propiedades físicas y mecánicas a través de ensayos normados y en función a la elección del diseño de mezcla.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según la metodología que se utilizara para desarrollar esta investigación, será del tipo experimental, debido a que para obtener los resultados medibles se realizara bajo pruebas y ensayos normados, además se podrá controlar las variables en el momento de realizar el diseño de mezcla para lograr obtener los resultados requeridos.

1.7. METODOLOGÍA

La presente investigación seguirá la siguiente metodología de realización:

- A. Se utilizara los materiales típicos que se usan en el campo de la construcción en la provincia de Arequipa como son los siguientes:
 - **Agua** = Se utilizara el agua potable proveído de las redes subterráneas de la ciudad de Arequipa, que a la vez son obtenidas de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca.
 - **Cemento** = En la zona de Arequipa las condiciones climáticas y de agentes químicos son en su mayoría estables; por lo que elegimos el Cemento Portland Tipo IP proveído de la Planta concretara Yura S.A. la cual tiene su planta de producción en Arequipa y es distribuido a lo largo de la ciudad y la región, el tipo de cemento escogido se da por ser de uso general y por ser el de mayor demanda en las construcciones de Arequipa.
 - **Agregados** = En Arequipa existen diversas canteras que proveen agregados, cada una posee características y calidades diferentes de agregados, por lo que para estandarizar la mezcla se usara un solo tipo de agregado tanto fino como grueso, siendo el escogido el de la Cantera “La Poderosa”, por ser uno de los más representativo de la provincia, además de presentar buenas características que se confirman en investigaciones anteriores en los cuales tuvo un buen desempeño.

- **Aditivos** = Al concreto no se añadirá aditivos, para poder obtener resultados característicos y propios de los diseños de mezclas.
 - **Aire** = Como se mencionó anteriormente no se añadirá incorporadores de aire, teniendo en la mezcla solamente el aire atrapado que se forma accidentalmente por la dosificación de cada mezcla a realizar.
- B. Las pruebas físicas de los agregados como del concreto en sus diferentes etapas de producción se realizarán en el laboratorio de Ingeniería Civil, de la Universidad Católica de Santa María.
- C. Se realizarán los ensayos necesarios según su norma respectiva para obtener las propiedades de los agregados fino y grueso (3 ensayos de cada uno para asegurar los resultados) como son: Análisis granulométrico, Peso específico del agregado, Porcentaje de absorción, Peso unitario suelto y compactado, Contenido de Vacíos, Cantidad de finos que pasan la malla #200, Resistencia a la abrasión e impacto, y Porcentaje de humedad.
- D. Se realizarán la descripción y justificación de cada diseño de mezcla y su respectivo procedimiento considerando sus limitaciones y recomendaciones:
1. Diseño ACI
 2. Diseño de Walker
 3. Diseño del Módulo de fineza de la combinación de los agregados
 4. Diseño de Füller
 5. Diseño de Bolomey
 6. Diseño de Faury
 7. Diseño de O'Reilly
 8. Diseño de Porrero & Grases

Adicionalmente para realizar el diseño de O'Reilly, requiere de una variable adicional: "Resistencia del cemento a los 28 días", por lo que realizará el ensayo correspondiente según la norma ASTM C109.

- E. Procederemos a realizar los diseños de mezclas para resistencias de diseño convencionales en la construcción como son 175 kg/cm^2 , 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , aplicadas a una estructura en particular para tener el mismo criterio en los diseños.
- F. Habiendo obtenido la dosificación que nos proporciona cada tipo de diseño de mezcla, procedemos a realizar la mezcla de los componentes bajo un mismo criterio, obteniendo especímenes de probetas de concreto de tamaño $10 \times 20 \text{ cm}$. Se realizara 15 probetas por cada diseño, edad y resistencia requerida, contando con una población en general de 720 probetas.
- G. Se realizará los ensayos normados para poder determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido.

Concreto Fresco

- Ensayo de Asentamiento
- Ensayo de Peso Unitario y Rendimiento
- Ensayo de Contenido de aire

Concreto Endurecido

- Ensayo de Peso Unitario
- Ensayo de compresión y Eficiencia

El ensayo de compresión de realizará en edades de 7 y 28 días, para realizar una análisis comparativo sobre su resistencia inicial y final.

- H. Finalmente se realizara un análisis comparativo y estadístico de las propiedades físicas y mecánicas del concreto, además del aspecto económico, recomendaciones de diseño, limitaciones y descripción del desarrollo del concreto a lo largo de sus etapas de formación. Para finalmente obtener el diseño de mezcla más óptimo utilizando materiales de Arequipa.

1.8. LIMITACIONES

Los resultados, tablas y conclusiones resultantes de la comparación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto en la presente investigación serán aplicativas a materiales y condiciones de la provincia de Arequipa, estas pueden servir de base para el uso en otras ciudades o países teniendo en cuenta la influencia de aspectos que difieran con esta investigación como son las condiciones externas e internas de fabricación del concreto, así como las características de los componentes del concreto.

Las pruebas mecánicas del concreto se limitaran a los resultados del ensayo de compresión realizado a probetas de concreto, debido a que no se cuenta con instrumentos disponibles para la medición de otras propiedades del concreto en estado endurecido.



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCRETO

“El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado.”⁷

La definición anterior engloba todo el concepto de concreto, siendo esta una combinación de diversos materiales, entre ellos agregados finos y gruesos, agua, cemento, aditivos, fibras, etc con las partículas unidas fuertemente entre sí. Debido a esto las propiedades del concreto dependerán de la calidad y características de los componentes que intervienen en esta. La unión entre las partículas se da de dos clases: atracción física y adherencia química, la primera se da cuando entre las partículas sólidas solo hay poros de gel, por lo que la energía de la superficie es mayor a las fuerzas internas produce una unión entre sus superficies; y la segunda se cuándo la mezcla reacciona y produce un esponjamiento limitado, logrando una unión química del tipo iónico y covalente.

La reacción que se produce entre la pasta y los agregados produce en un corto tiempo “una solución sobresaturada de hidróxido de calcio con concentración de silicato cálcico hidratado en condición metastable.”⁸

2.1.1. PASTA = Es la combinación de un ligante cementicio con agua, resultando en la adición de propiedades adicionales de lubricación cuando la mezcla no está en estado endurecido y poder llenar los vacíos entre las partículas. Las propiedades de la pasta dependen del proporcionamiento de sus componentes y del método de mezclado, con el objetivo de lograr tener un grado de hidratación adecuada. Una manera de determinar la calidad de un pasta es que se puede considerar que tendrá mejores propiedades si la relación agua/cemento es baja y si el grado de hidratación del cemento es alto.

El concreto se puede clasificar de diversa maneras de las más conocidas tenemos:

Por su composición:

- **Concreto Simple** = Es la unión del cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, debidamente mezclados ocupando todos los espacios vacíos.

⁷ (López Rivva, 2000, pág. 8)

⁸ (López Rivva, 2000, pág. 11)

- **Concreto Armado** = Es la unión del concreto simple más armaduras de aceros, donde ambos componentes trabajan conjuntamente aportando propiedades de resistencia a la esfuerzos de tracción y compresión.
- **Concreto Estructural** = Es el concreto que desarrolla todas sus etapas y es diseñado bajo una consideración específica anteriormente calculada por el diseñador, asegurando las propiedades del concreto de resistencia y durabilidad.
- **Concreto Ciclópeo** = Es la unión de concreto simple más piedras de hasta 10'' y con un porcentaje de hasta 30% del volumen total.

Por su densidad

- **Concreto Livianos** = Con peso unitario de 1440 a 1840 kg/m³.
- **Concreto Normal** = Con peso unitario de 2240 a 2460 kg/m³.
- **Concreto Pesado** = Con peso unitario de 2800 a 6000 kg/m³.

Por su fabricación

- **Concreto Premezclado** = Es el concreto que es diseñado y mezclado en planta, el cual es llevado a obra por medio de camiones concreteros llamados mixers.
- **Concreto Prefabricado** = Es el concreto que se diseña, mezcla y vacía en planta, para luego ser llevado al lugar de colocación en estado endurecido.
- **Concreto a pie de obra** = Es el concreto que mezcla en el mismo lugar del vaciado por medio de mezcladoras mecánicas o manuales.

2.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO

2.2.1. TRABAJABILIDAD

“Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones”⁹

2.2.2. CONSISTENCIA

“Está definida por el gado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada.”¹⁰

2.2.3. SEGREGACIÓN

“Es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero.”¹¹

⁹ (Abanto Castillo, 2009, pág. 47)

¹⁰ (Abanto Castillo, 2009, pág. 47)

La segregación se produce cuando una parte del concreto se mueve más rápido que otra, como cuando se mueve el concreto en carretilla y la vibración hace que los agregados gruesos desciendan y la lechada se ponga en la superficie superior, de manera similar se produce cuando se suelta concretos de canaletas con alturas mayores a medio metro, o cuando presentan cambio de dirección, un exceso de vibración también contribuye al proceso de segregación, provocando cangrejeras y afectando a la resistencia y durabilidad del concreto.

Para evitar la segregación se puede controlar realizando un correcto proceso de mezclado, transporte y colocación del concreto, además de poder agregar cemento o agregado fino para hacer la mezcla más seca lo cual es inversamente proporcional al riesgo de presentar segregación.

2.2.4. RESISTENCIA

La resistencia de concreto es una propiedad del concreto en estado endurecido, donde mediante ensayos de resistencia a la compresión podemos determinar la máxima carga por área que puede soportar un espécimen de concreto. La resistencia requerida al 99% debe obtenerse a los 28 días de su fabricación y tras un debido proceso de curado.

2.2.5. EXUDACIÓN

“Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos”¹²

La exudación es una forma de segregación que se produce debido al uso de aditivos o una mala dosificación de materiales en la mezcla donde puede existir un exceso de agua, resultando en un concreto poco durable y poroso, ocurre después de que el concreto es colocado, por lo que la temperatura ambiental influirá debido a que el riesgo de exudación es proporcional al alto grado de temperatura existente en el ambiente.

2.2.6. DURABILIDAD

El concreto debe tener la durabilidad y resistencia adecuada para la estructura donde se colocara, considerando los agentes químicos y físicos que están presentes alrededor, se puede mejorar la durabilidad del concreto para que se desarrolle de manera correcta a lo largo de su vida útil con el uso de un tipo especial de cemento o con el uso de aditivos incorporadores de aire, etc.

¹¹ (Abanto Castillo, 2009, pág. 50)

¹² (Abanto Castillo, 2009, pág. 54)

2.2.7. IMPERMEABILIDAD

La impermeabilidad de un concreto es una propiedad que proporciona durabilidad al concreto contra agentes externos, esta se puede obtener añadiendo un aditivo incorporador de aire y cuando se realiza un correcto proceso de curado; cuando no se produce ninguna de estas condiciones puede resultar que el exceso de agua en la mezcla genere vacíos al evaporarse, y estos vacíos estén interconectados generando lugares críticos donde puede fallar el concreto ante cualquier eventualidad.

2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO

2.3.1. CEMENTO

El cemento es una mezcla de varios componentes, dando una apariencia en polvo que al entrar en contacto con el agua reacciona químicamente dando las propiedades y características específicas para el desarrollo del mismo.

Este componente al ser el más costoso en volumen con respecto a los demás es el que muchas veces definirá costo por metro cubico del concreto, es por eso que según especificaciones del ASTM C150, sobre la especificación normalizada del cemento portland, el cemento debe estar en buenas condiciones, sin que agentes externos afecten o modifiquen su composición, y se debe asegurar un correcto almacenaje y cuidado por las mismas razones.

2.3.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

En la composición del cemento interviene diversos componentes, debido a lo anterior resulta complicado representar al cemento como una formula química, sin embargo se puede identificar los componentes que intervienen en el 90% de la elaboración del cemento:

- **Silicato Tricálcico (C_3S)** = Presente de 50 a 70%, da una alta resistencia a corto plazo debido a la reacción química entre el Silicato tricalcico y el agua que produce un alto calor de hidratación.
- **Silicato Dicálcico (C_2S)** = Presente de 15 a 30%, da un bajo calor de hidratación posterior a la mezcla lo cual consigue una resistencia extra, pero muy lenta con respecto al tiempo.
- **Aluminato Tricálcico (C_3A)** = Presente de 5 a 10%, con un calor de hidratación bastante alto lo cual le da una resistencia alta en corto tiempo, además la reacción entre el yeso del cemento y el aluminato tricalcico ayuda a controlar el tiempo de fraguado.
- **Ferroaluminato Tetracálcico (Ca_4AlFe)** = Presente de 5 a 15% del concreto le da un moderado calor de hidratación y una resistencia bastante lenta y poco significativa.

Hay muchas clases de cemento debido a su composición y adiciones que modifican las propiedades típicas; para elegir el cemento este debe de satisfacer eficientemente las necesidades de la estructura a realizar, sin llegar a sobredimensionar para evitar problemas económicos. Algunos tipos de los cementos revisados con la norma ASTM C150 más conocidos y fabricados en Perú son los siguientes:

2.3.1.2. CEMENTOS PORTLAND NORMAL

Son los cementos fabricados de manera tradicional de la siguiente manera:

- **Cemento Portland Tipo I** = Se usara cuando las especificaciones no necesiten de un concreto con propiedad especiales.
- **Cemento Portland Tipo II** = Se usara cuando al estructura está expuesta a un moderado ataque de sulfatos, o cuando se necesite un moderado calor de hidratación Se puede usar cuando la estructura se ve afectada por ambientes agresivos y/o vaciados masivos. El contenido de aluminato tricalcico (C3A) es menor al 8% del total.
- **Cemento Portland Tipo III** = Tiene un rápido desarrollo de calor de hidratación, se usa cuando se necesita poder en funcionamiento la estructura lo antes posible debido a que acelera la fragua y resistencia en menos tiempo, también ideal en climas fríos.
- **Cemento Portland Tipo IV** = Cuando se requiere un bajo calor de hidratación, como en los concretos masivos donde una parte no puede fraguar antes que otra creando una unión entre concreto nuevo y concreto viejo.
- **Cemento Portland Tipo V** = Se usara cuando se necesite que el concreto tenga una alta resistencia a la acción de sulfatos, lo que conlleva una alta resistencia a la compresión o cuando se necesite una baja calor de hidratación. El contenido de aluminato tricalcico (C3A) es menor al 5% del total.

2.3.1.3. CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS

Son los cementos que dentro su producción del Clinker se adiciona un material reactivo que tiene propiedades puzolánicas u otro material, que cumplen con los requisitos de la norma ASTM C-595.

- **Cemento Puzolánico IP** = Con adición de puzolana de 15% a 40% del peso total.
- **Cemento Puzolánico IPM** = Con adición de puzolana menor a 15% del peso total.
- **Cemento Puzolánico IS** = Con adición de escoria de altos hornos de 25% a 75% del peso.
- **Cemento Puzolánico ISM** = Con adición de escoria de altos hornos menor a 25% del peso.

2.3.2. AGREGADOS

“Se definen como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto. Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto.”¹³

Para conocer las naturaleza física y química de los agregados es necesario realizar estudios y profundizar en el tema de la geología y petrología, ciencias que estudian el comportamiento y características de los agregados.

Las principales funciones de los agregados en general en el concreto son:

- Evitar el cambio de volumen o expansión en el concreto, durante sus etapas de producción.
- Añadir características de resistencia a las acciones mecánicas de desgaste e intemperismo.
- Ocupar espacio en la mezcla reduciendo su costo sin perder las características de resistencia requeridas.
- Proveer al concreto de una trabajabilidad, consistencia y adherencia requerida.

Los agregados los podemos clasificar de la siguiente manera:

Por su tamaño

- **Agregado Grueso** = “Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el Tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada.”¹⁴
- **Agregado Fino** = “Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz de 3/8” y queda retenido en el tamiz N°200. El más usual de los agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas.”¹⁵

Por su naturaleza

- **Agregado Artificial o manufacturado** = Es el agregado que se encuentra en gran tamaño y es imposible transportar, por ello se emplea la fractura de sus partes con el uso de dinamitas y de esta manera poder ser transportadas, las características de este tipo de agregados es su forma angular. Comúnmente presentan un peso de 1450 a 1500 kg/cm³.

¹³ (López Rivva, 2000, pág. 16)

¹⁴ (López Rivva, 2000, pág. 17)

¹⁵ (López Rivva, 2000, pág. 17)

- **Agregado Natural** = Es el agregado que se utiliza tal y como se encontró en la naturaleza, usualmente proviene de la desintegración y abrasión natural de rocas, por diversos motivos como el tiempo, las condiciones climáticas, y las fuerzas externas como el agua o el mismo aire, presenta una textura redondeada. Comúnmente presentan un peso de 1600 a 1700 kg/cm³. En el ambiente industrial esta se obtiene tras un proceso de selección y separación del material antes del proceso del triturado por medio de una criba vibratoria, el cual es sometido a un proceso de lavado para eliminar los finos y resulte en un agregado fino que cumpla las exigencias para ser utilizado en el concreto.
- **Agregado mixto** = Es el agregado que se encuentra en la naturaleza en un estado manejable, sin embargo se somete a procesos mecánicos para un mejor desempeño.

Por su densidad

- **Agregado Normal** = Los agregados normalmente pueden estar entre 2.50 a 2.75 gr/cm³, son los más comunes y fáciles de encontrar.
- **Agregado Pesado** = Son los agregados que tienen un mayor valor a los de agregado normal, estos pueden ser hierro, barita, acero, entre otros, son usados para lugares de alta importancia, como bóvedas de bancos o plantas nucleares
- **Agregado Ligero** = Son los agregados que tienen un menor valor a los de agregado normal, estos pueden ser piedra pómez, perlita, pizarra, entre otros, una característica especial entre estos agregados es que tienen una cantidad grande de poros llenos de aire, los cuales aumentan su volumen, reduciendo su densidad.

Por su forma

- **Agregado migajoso** = Son agregados que tienen presencia de poros y una forma esférica.
- **Agregado granular** = Son los agregados que no tienen presencia de poros, pero tienen una forma similar a las esferas.
- **Agregado en bloques angulares** = Agregados que tienen las caras en formas planas, tienen la característica que al chocar entre sí, se rompen y sus caras encajan una con otra formando láminas grandes.
- **Agregados en bloques sub-angulares** = Son similares a los bloques angulares sin embargo sus caras no encajan tan bien como las anteriores.
- **Agregados Prismáticos** = Son agregados que tienen la forma de un prisma, donde la dimensión vertical es más grande que las otras dos dimensiones.
- **Agregados Laminares** = Tienen una dimensión mucho menor que las otras dos.

2.3.3. AGUA

El agua es un elemento muy importante en el concreto ya que con la mezcla con el cemento podrá reaccionar de manera favorable, definiendo sus características de resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto en estado endurecido.

2.3.4. AIRE

Es una sustancia gaseosa, transparente, sin sabor, que se encuentra en toda la tierra y forma parte de la atmosfera, está compuesta principalmente por oxígeno y nitrógeno, en la construcción es un componente que se forma accidentalmente tras el acomodo del resto de los componentes que ocupan un determinado espacio en la mezcla del concreto.

2.4. INCIDENCIA DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

Las propiedades del concreto dependerán directamente de la dosificación y componentes por los que está formado este, los agregados son un componente clave del concreto, aunque anteriormente solo se consideraba como material de relleno, quedando muy por debajo en comparación a la importancia del cemento, debido a que son más económicos por metro cubico de producción y añadiendo que no había mucha información acerca de las incidencias de los agregados en los resultados finales, por lo que investigaciones posteriores determinaron que el agregado por tener el mayor porcentaje de participación en el concreto llegando a ser del 60% al 75%, este no define completamente las propiedades características del concreto, sin embargo el tipo, forma y calidad del agregado pueden influir en el resultado final.

Cada componente y variación influirá en el resultado final del concreto, pudiendo ser en algunos casos determinante como el cemento y en ocasiones generara cambios y resultado menores a los propuestos. Las proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto son:

Aire = 1% a 3%
Cemento = 7% a 15 %
Agua = 15% a 22%
Agregados = 60% a 75%

Fig. 2.1 Nivel de incidencia de los componentes del concreto¹⁶

¹⁶ (Rodriguez Rios, 2015, pág. 3)

2.5. PRINCIPALES ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO

2.5.1. SELECCIÓN DE MATERIALES

Las propiedades finales del concreto en estado fresco y endurecido dependerán del tipo y características que posean los materiales que utilicemos para realizarlo. Se debe hacer ensayos y pruebas para determinar las condiciones de los componentes del concreto, ya que estas influirán directamente en la dosificación del concreto y por tanto en sus características.

El agregado debe tener características de dureza y resistencia además de un buen comportamiento evitando reacciones químicas; el cemento al ser industrializado posee características óptimas para su uso, sin embargo se debe asegurar que este se encuentre en buenas condiciones y con buen aspecto sin verse afectado por agentes externos; el agua debe ser potable y no tener organismos que afecten el desarrollo del concreto; los aditivos deben aplicarse solo cuando se requiera una característica o se quiera mejorar una propiedad del concreto, habiéndose informado antes sobre el uso y cuidados al usarlo en la mezcla. En general los componentes deben encontrarse sin elementos externos como impurezas, materia orgánica o cualquier otro que pueda interferir en el desarrollo del concreto.

2.5.2. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla abarca los procedimientos que se realizan para conseguir las dosificaciones de los componentes en el concreto, asegurando no solo su resistencia requerida, sino también una trabajabilidad y consistencia adecuada. Existen diversos métodos para la realización del concreto, cada ensayo basado en ensayos previos, por lo que son muy variables entre sí, es por eso que se debe encontrar el método óptimo para lograr obtener todos los datos requeridos, asegurando la economía del mismo por metro cubico.

La elección del diseño de mezcla es un paso importante en la producción del concreto, ya que será la “receta” de un nuevo producto, la mejor manera de elegir un diseño de mezcla, es el que cumpla con la mayor parte de requerimientos según las características y propiedades de nuestros componentes, el que se ajuste mejor, dará un resultado más eficiente. Este paso de la producción de concreto se tratara más afondo en el capítulo III de la presente investigación.

Existen una gran cantidad de diseños de mezcla que a lo largo de los años se han ido desarrollando para obtener un resultado deseado, entre los más conocidos se tiene a los métodos ACI, Walker y Modulo de Fineza de la Combinación de los agregados, de los más convencionales se tiene Füller,

Bolomey y Faury; y entre los diseños de mezcla modernos reconocidos por su eficiencia se tiene a O'Reilly y Porrero & Grases.

2.5.3. MEZCLADO

El proceso de mezclado es la preparación del concreto, proceso de crear un nuevo producto en base a la combinación de otros elementos, con el objetivo de lograr una mezcla homogénea y uniforme; se conoce por la propiedad de conmutatividad, que el orden de los factores no altera el producto, sin embargo en el proceso de realización del concreto no cumple con esta condición, debido a que conforme realizaremos la mezcla, orden de componentes, forma y metodología de preparación afectaran a los resultados finales y propiedades del concreto.

Aun teniendo elementos de buenas características, un diseño de mezcla optimo, y un procedimiento de mezclado adecuado, el equipo y mano de obra que se usara para la realización del concreto influirán en las propiedades del concreto, una mano de obra calificada y de un ingeniero que este en la capacidad para la supervisión y control, aseguran las propiedades requeridas del concreto.

Una de las consideraciones de la mezcla del concreto es que se debe realizar en un lugar adecuado comúnmente en mezcladoras metálicas estáticas o móviles (mixers), con paletas y un movimiento en evoluciones que permita el mezclado homogéneo del concreto, además de que la mezcladora debe estar en buen estado de funcionamiento como de limpieza sin existir residuos o agentes externos a la mezcla dentro de la mezcladora que influirían en la composición del concreto.

2.5.3.1. PROCEDIMIENTO DE MEZCLA

No hay una regla específica del orden de intervención de los componentes en la producción del concreto sin embargo existen recomendaciones para poder realizar la mezcla en una mezcladora de una manera adecuada:

“Generalmente se introduce una pequeña cantidad de agua seguida de todos los materiales sólidos, de preferencia alimentados de manera uniforme y simultánea. Si esto es posible, la mayor parte del agua deberá introducirse al mismo tiempo, dejando el resto para agregar después de los sólidos. Sin embargo cuando se hacen mezclas muy secas en mezcladoras de tambor es necesario introducir el agregado grueso justamente después de la pequeña cantidad de agua inicial, para asegurarse de que la superficie del agregado esté suficientemente mojada. (...) En el caso de pequeñas mezcladoras de sartén de laboratorio y mezclas muy espesas, la arena debe introducirse primero, luego parte del agregado grueso, cemento, agua y finalmente el resto del agregado grueso, para que rompa los

módulos de mortero, (...) el agua debe agregarse a más tardar, después de un cuarto de tiempo total de mezclado”¹⁷

Otra consideración obtenida en esta investigación es la siguiente “Si el trompo no tiene tolva, primero agregue el 50% de agua, ingrese todo el agregado grueso, luego toda la arena, agregue 30% más de agua, coloque todo el cemento y finalmente ajuste la fluidez deseada con el 20% del agua restante”¹⁸

Inciendiando en la consideración que no existe un orden establecido de mezcla podemos aportar la experiencia propia realizada a lo largo del Pregrado con el siguiente procedimiento: debido al clima seco de Arequipa las mezcladoras se encuentran totalmente secas por lo que primero se colocaba una pequeña porción de agua adicional a la considerada en la mezcla para humedecer las paredes y no quite agua a la mezcla, luego se colocaba 50% de agua, todo el agregado fino y grueso, esperamos que los agregados se mezclen y cuando se vea una uniformidad se agregaba el cemento y se colocaba el resto del agua controlando la fluidez de la mezcla

Considerando todo lo anterior determinaremos un procedimiento de mezcla que regirá esta investigación:

- Humedecer las paredes del trompo, para que no consuma agua propia de la mezcla
- Colocar el 50% del total del agua
- Agregar el agregado fino
- Agregar el 80% del agregado grueso
- Agregar el cemento, a la mezcla uniforme de agregados.
- Agregar el 30% del total del agua
- Agregar el 20 % agregado grueso para que rompa con los módulos de mortero
- Agregar el 20% restante del agua

2.5.3.2. TIEMPO DE MEZCLADO

El tiempo de mezclado dependerá de los componentes del concreto, y de las especificaciones de cada aparato mezclador a usar, sin embargo conforme pasa el tiempo y el uso, los valores pueden variar, en base a pruebas experimentales anteriores se determinó que un mezclado en menos de 90 segundos produce una mezcla mala y heterogénea, sin embargo después de este tiempo se tiene un coeficiente de variación menor, siendo la mezcla estable hasta alcanzar la consistencia necesaria.

¹⁷ (Neville & Brooks, 1988, págs. 99-100)

¹⁸ (Oré Torre, 2014, pág. 24)

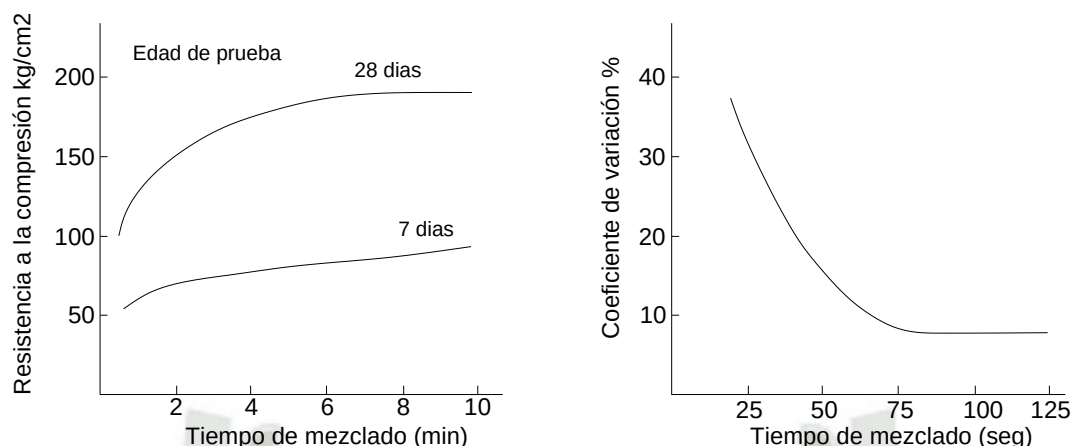


Fig. 2.2. Efecto del tiempo de mezclado en la calidad del concreto ¹⁹

Debido a la variabilidad de tiempos y el riesgo que toma la mezcla, las normas de ACI, ASTM, Bureau of Reclamation proponen tiempos mínimos de mezclado para diferentes capacidades de mezcladoras y asegurar que una mezcla no resulte heterogénea acarreado problemas futuros.

Capacidad de la mezcladora m ³		Tiempo de mezclado, en minutos, según ACI
m ³	yd ³	
≥ 0.8	≥ 1	1
1.5	2	1 ¼
2.3	3	1 ½
3.1	4	1 ¾
3.8	5	2
4.6	6	2 ¼
7.6	10	3 ¼

Tabla 2.1. Recomendaciones de tiempo mínimo de mezclado recomendado ²⁰

Capacidad de mezcladora		Tiempo (en minutos)	
yd ³	m ³	Bureau of Reclamation	ASTM
1	0.75	...	1
2	1.50	1 ½	1 ¼
3	2.30	2	1 ½
4	3.00	2 ½	2

Tabla 2.2. Tiempo mínimo de mezclado consideraciones Bureau of Reclamation y ASTM ²¹

¹⁹ (Oré Torre, 2014, pág. 26)

²⁰ (Neville & Brooks, 1988, pág. 101)

²¹ (Montenegro Gambini, 2011)

El tiempo de mezclado descrito en las anteriores tablas “se calcula desde el momento en que todos los materiales sólidos han sido cargados en la mezcladora” ²²

2.5.4. TRANSPORTE

Esta etapa desarrolla, el transporte del concreto en estado fresco hacia la obra o lugar donde se desarrollará el concreto, se debe asegurar que las propiedades de trabajabilidad y consistencia obtenidos al terminar la mezcla del concreto permanezcan en la ella, sin producirse segregación.

2.5.5. COLOCACIÓN

Dependiendo el método de transporte del concreto, se determinan los siguientes tipos:

MEZCLA EN CARRETILLA = Cuando el concreto se realiza manualmente por medio de una mezcladora estacionaria en obra, esta se traslada en carretilla, el concreto se coloca directamente después de su fabricación.

MEZCLA EN MIXER = Cuando el concreto se realiza en una planta de concreto por medio de un mixer y es llevado por este mismo medio, generalmente viene proporcionado por un sistema de colocación del concreto directamente a la estructura a realizar.

El proceso de colocación se debe realizar de forma continua procurando que a mezcla no pierda su estado plástico y pueda fluir a través de la estructura.

2.5.6. CONSOLIDACIÓN

“Se designa así a la actividad consistente en someter el concreto fresco recién colocado, a la acción de fuerzas capaces de deformarlo con el doble propósito de que se adapte a la forma del espacio confinado por las cimbras y expulse el aire atrapado en su seno, de manera que resulte un material que sea lo más compacto posible.” ²³

Este proceso es importante para obtener las resistencias requeridas, después de la colocación del concreto en la estructura, está aún mantiene las propiedades que lo hacen moldeable, por lo que la mezcla se desplazara a lo largo de la estructura dependiendo de la forma del encofrado. La consolidación debe ser realizada con el equipo necesario mediante fuerzas vibratorias para poder evitar los espacios vacíos, produciendo deficiencias en el concreto como las cangrejas o segregaciones.

²² (Neville & Brooks, 1988, pág. 100)

²³ (UNAM, 1994, págs. 17,18)

Con buen o mal proceso de esta actividad generara también la propiedad de contenido de aire atrapado, siendo mayor cuando se realice un mal proceso de consolidación, lo que produce una resistencia a la compresión más baja.

2.5.7. CURADO

“El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades temprana de manera que este pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.”²⁴

Es el periodo de tiempo donde el concreto se encuentra en condiciones de humedad y temperatura controladas, para evitar grietas al producirse un choque termino, y que al momento de la hidratación alcance alcanzar la resistencia requerida.

El proceso del curado tiene las propiedades de aumentar la resistencia a la compresión del concreto hasta en un 50% más que un concreto sin curar, tendrá una mejor durabilidad y resistencia al desgaste y abrasión, ganando también propiedades de impermeabilidad y evita el cuarteo del concreto después de alcanzar su etapa de endurecimiento.

El curado según la norma NTP. 339.033 y ASTM C 31 debe realizarse en una solución de agua de cal con una adición de 3g/L, este componente de cal ayudara a subir y regular el PH del agua comúnmente de 7 hasta un valor de 13 a 14, y así estabilizarlo para que no le quite cal al concreto, con esto evitamos la lixiviación y los siguientes problemas:

- Evita la reducción de alcalinidad
- Evita la pérdida de masa
- Evita el proceso de aceleración del deterioro
- Evita que la resistencia disminuya

²⁴ (National Ready Mixed Concrete Association, 1978, pág. 1)

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1. INTRODUCCIÓN

El diseño de mezcla es un proceso por el cual podemos calcular las proporciones de los componentes disponibles que forman el concreto para que pueda cumplir con requisitos impuestos al momento de su diseño, siendo las propiedades del estado endurecido las que demanda generalmente un ingeniero diseñador o estructural, así como las propiedades de una concreto en estado fresco que lo evalúa el ingeniero a cargo de la obra (residente de obra).

Existen muchos diseños de mezcla propuestos por muchas organizaciones e investigadores, una más complejos que otras debido a que consideran más variables para el cálculo de proporciones en función de los componentes o de las condiciones en que se desarrollara el concreto, a la fecha no existe un método que de los resultados exactos requeridos, sin embargo hay una variedad de diseños para escoger según el que más se adecue a la realidad de la obra. Estos diseños de mezclas fueron propuesto tras procedimientos empíricos, basados en las experiencias y ensayos realizados que generaban leyes, tablas gráficos, formulas, etc que poco a poco se han ido ajustando para tener unos resultados más óptimos, hasta lograr las condiciones esperadas de tener una determinada durabilidad y resistencia de compresión a una determinada edad, asegurando también que las características en estado fresco sean las adecuadas, como la trabajabilidad, temperatura, etc.

Para que el diseño de mezcla resulte optimo tiene que haber un equilibrio entre la elección de los componentes del concreto y el factor económico que estos generan, siendo el mejor el que proponga un menor presupuesto asegurando las características y propiedades del concreto requerido, a veces se tendrá que evaluar el uso de aditivos para lograr modificar las propiedades del concreto.

3.2. MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN

Como se mencionó, los diseños de mezcla surgen tras un análisis empírico-analítico luego de realizar ensayos experimentales controlados con los componentes del concreto y tras un análisis poder obtener leyes, formulas, ecuaciones, gráficos y demás material que sea necesario para la dosificación del concreto; para su aplicación los autores generan un margen de seguridad amplio con la intención de asegurar a asegurar sus resultados y poder ser utilizado con diversos materiales con similares o cercanas características, es por esto que también los métodos tienen ciertas restricciones, condiciones y recomendaciones acerca de los materiales como las condiciones externas de la misma, con el objetivo que lograr obtener los resultados más cercanos posibles a los esperados.

Al elegir un diseño de mezcla debemos considerar que habrá un margen de error debido a diferentes factores como el clima, la región, tipo y calidad de componentes, adición de aditivos, etc. Por lo que estas tablas, curvas y demás instrumentos están sujetos a cambios si es que el lugar donde se realizara el concreto genera resultados muy lejanos de los requeridos.

En la actualidad aún siguen apareciendo nuevos diseños de mezcla propuestas por investigadores que buscan hacer una relación entre los componentes, el diseño y los resultados esperados de una manera física-matemática, lo que demuestra que aún no se ha podido obtener un diseño general que se aplique según el tipo y condicione de obra. “Los resultados confirman el hecho de que ni las mejores experiencias, cualquiera que sea su procedencia, deben llevarse a su aplicación sin un previo enfoque crítico, que evite el peligro de alcanzar resultados negativos, lo cual es extensivo a los métodos de diseño de las mezclas de hormigones.”²⁵

Con lo anterior tenemos distintos métodos de dosificación del concreto entre las más resaltantes y que se desarrollaran en la presente investigación son:

MÉTODOS CONVENCIONALES = Son los métodos de mayor aceptación y conocimiento público por su buen comportamiento y amplio margen de uso, donde se busca encontrar una dosificación de los materiales a partir de los datos esperados de asentamiento y resistencia a la compresión como es el caso de los métodos ACI, Walker y Modulo de Fineza.

MÉTODOS RACIONALES = También llamados granulométricos ya que estos basan su dosificación a partir la cantidad de cemento y por medio de curvas granulométricas ideales que cumplirían con los resultados esperados, aquí tenemos los métodos de Füller, Bolomey y Faury.

MÉTODOS PRÁCTICOS O EXPERIMENTALES = Estos métodos son una mezcla entre los diseños empíricos y prácticos, ya que se cuenta con tablas de correcciones elaboradas, pero también es necesario realizar ensayos experimentales a los componentes para obtener valores que solicita del diseño, aquí tenemos los métodos de O'Reilly y Porrero & Grases.

3.3. MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLA

3.3.1. MÉTODO ACI

El comité ACI (American Concrete Institute) es una organización formada en el año 1904 en Michigan, Estados Unidos, ante la necesidad de estándares, normas y recomendaciones para el

²⁵ (O'Reilly Díaz, Método para el diseño de hormigón de alto comportamiento, 1997, pág. 24)

diseño y la elaboración del concreto, cosa que en esos años solo se tenían referencias pero ninguna estándar y concreta para usarla; es que así un grupo de ingenieros se junta y crea esta organización liderada por primera vez por el ingeniero Richard Humphrey, llegando a generar en 1910 el primer código de construcción usando concreto con el nombre de “Regulaciones estándar de la construcción para el uso del hormigón armado”, es así que este comité formado por ingenieros e investigadores de todas las ramas de la construcción poco a poco han ido generando las normas y estándares que son aplicados a nivel mundial, siendo una organización muy reconocida que aun en estos años siguen investigación y actualizando sus resultados. El diseño de mezcla por el método ACI, es un procedimiento empírico en el cual mediante tablas propuestas que se han ido ajustando a lo largo de los años, se puede desarrollar una dosificación de los componentes que integran el concreto con dos tipos de agregados, considerando las características y propiedades de los mismos.

Este método es aplicable principalmente concretos de peso normal (no concreto ligero, ni concreto pesado), en condiciones distintas se puede siempre y cuando se verifique los resultados en muestras adicionales. El método ACI, tiene por fundamentos lograr cubrir las necesidades del concreto en cuanto a trabajabilidad, durabilidad, económica y resistencia.

3.3.2. MÉTODO DE WALKER

Este método se realizó bajo las investigaciones realizadas por el profesor norteamericano Stanton Walker, quien desarrollo una serie de tablas para poder realizar el diseño de mezcla, con el objetivo de encontrar el porcentaje del agregado fino más óptimo y eficiente en relación al volumen absoluto total del agregado considerando más variables importantes de los componentes de la mezcla; uno de sus motivos para desarrollar este método fue que noto que el diseño de ACI presentaba la misma cantidad de agregado grueso independiente de la resistencia requerida, cantidad de cemento y características del agregado fino, por lo que trato de ajustar los resultados para demostrar que este dato también variaba.

El profesor Stanton Walker realizo una serie de tablas en función a la forma y tamaño de los agregados ya que estas características podrían influir en la relación del agregado fino-grueso, así clasifico el agregado fino en tres categorías: fino, mediano y grueso según su granulometría y a los agregados grueso los clasifico en redondeado o angular según el tipo de forma y perfil del agregado, para cada uno de los dos casos se tiene cuatro alternativas de cantidad de cemento.²⁶

²⁶ (Lopez, 2015, pág. 1)

Para poder realizar el método de Walker, es necesario conocer los datos de los componentes tales como: Peso específico, grado de absorción, contenido de humedad, módulo de finura (agregado fino y grueso), tamaño nominal máximo, perfil del agregado, características del cemento, características del agua.

3.3.3. MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS

Las investigaciones del presente método de diseño de mezcla se realizaron en la universidad de Maryland, donde permitieron conocer una adecuada combinación de los agregados, cuando la granulometría y características de los mismos estén dentro de los límites que establece la norma ASTM C33.²⁷

El diseño de mezcla realizado bajo el método del módulo de fineza de la combinación de los agregados, tiene un procedimiento muy similar al del método de diseño de Walker, con la diferencia que este método desarrolla una nueva tabla y su respectiva ecuación, con la intención de obtener un adecuado y optimo porcentaje de intervención de los agregados fino y grueso, con respecto a su análisis granulométrico y su módulo de fineza, característica que describe a la finura y tamaño de los agregados.

3.3.4. MÉTODO DE FÜLLER

El método para realizar diseños de mezcla que se presenta a continuación fue diseñado bajo las investigaciones de Weymouth, W. Fuller y S. E. Thompson, quienes publicaron un documento llamado “The laws of proportioning concrete” en el año 1907, donde dieron a conocer un nuevo diseño de mezcla conforme a las teorías desarrolladas por los investigadores.

Este aporte sirvió como punto de comienzo de investigaciones para determinar métodos de diseños de mezcla en función a curvas granulométricas; el método que propusieron los investigadores trataba de una curva de gradación ideal de toda la masa (agregados más cemento), es decir tener una máxima densidad con un mínimo de vacíos lo que resulto en la siguiente ecuación, que tuvo un comportamiento elíptico:

$$\frac{(y - b)^2}{b^2} + \frac{(x - a)^2}{a^2} = 1$$

y = porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura “x”.

a, b = Constantes de los ejes de la elipse.

²⁷ (Laura Huanca, 2006, pág. 14)

Las constantes a y b que intervienen en la ecuación depende del tamaño máximo “D” y de la forma de los agregados, pudiéndose obtener los valores de la siguiente tabla:

Clase de Material	A	B
Agregados de canto rodado	0.164 D	28.6
Arena Natural y grava triturada	0.150 D	30.4
Arena y grava triturada	0.147 D	30.8

Tabla 3.1. Valores de las constantes a y b de la ecuación Füller – Thompson ²⁸

Sin embargo se necesitaba una gráfica donde se necesitara solo la gradación de los agregados, por lo que se consideró restar la cantidad de cemento a las porciones optimas, lo que generó una curva parabólica, llamada curva de Füller o parábola de Gessner, con lo que además se desarrolló la ecuación que describe una curva granulométrica continua para la composición optima de los agregados, lo que beneficia en la unión y adherencia entre las partículas.

$$P_d = 100 * d/D^m$$

El valor de “m” tiene que ver con el factor de forma, lo que a través de investigaciones de A.H.M. Andreasen y J. Anderson, se determinó que cuando “m” estaba alrededor de 0.50 se producían las máximas densificaciones, dependiendo del tipo de agregado²⁹, lo que termino en la conocida fórmula de Füller:

$$P_d = 100 \sqrt{d/D}$$

Pd (%)= Porcentaje en peso que pasa por la malla “d”.

d = Abertura de la malla en referencia

D = tamaño máximo del agregado grueso

m = 0.5, que corresponde al caso especial de la curva de Füller.

Este método como el de Bolomey se caracteriza por dar como dato la cantidad de cemento sin embargo se puede desarrollar este método bajo otro enfoque de resistencia. Para resultados eficaces se recomienda utilizar el método de Füller cuando: ³⁰

1. Los agregados no cumplan con la norma ASTM C33 (NTP 400.037)
2. La cantidad de cemento sea mayor a 300 kg por metro cubico de la mezcla.

²⁸ (Olaya, 2013, pág. 4)

²⁹ (Delgado Alamilla, Garnica Anguas, Villatoro Mendez, & Rodríguez Oropeza, 2006)

³⁰ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 123)

3. El agregado grueso tenga un tamaño máximo entre 20mm (3/4'') y 50 mm (2'')
4. La estructura no debe estar fuertemente armada.
5. De preferencia debe usarse agregado de forma redondeada.

3.3.4.1. ASTM C33 – ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA AGREGADOS

En esta norma aprobada por la ASTM (American Society for Testing and Materials), se define: “Los requisitos para la clasificación y la calidad de agregado fino y grueso (que no sea de peso ligero o agregado de peso pesado) para su uso en concreto”³¹, en resumen se refiere a la granulometría, módulo de finura y forma del agregado adecuados para utilizarlo en el concreto.

La norma evalúa la calidad del agregado y sus características, como también la forma adecuada en que debe ser adquirido, presentando información mínima necesaria que debe tener la orden de compra del proveedor de agregados, donde principalmente se refiere a las características y etiquetado, como consideraciones especiales del agregado tanto fino como grueso que puedan interferir en los resultados de la mezcla de concreto.

3.3.4.1.1. PARA EL AGREGADO FINO

- Debe ser compuesta por arena natural, arena triturada o la combinación de los mismos.
- Con respecto al análisis granulométrico, el agregado debe de cumplir con límites establecidos en el Capítulo IV, Análisis Granulométrico de la presente investigación.
- No debe pasar más del 45% del agregado en cualquier tamiz y quedar retenido en el siguiente.
- Los módulos de fineza no deben ser menores de 2,3 ni mayores a 3,1; si se tiene muchos pedidos el módulo de fineza no debe variar más de 0.20 a partir del módulo de finura base.
- El agregado fino que no cumpla con lo anterior será aceptado si existe antecedentes de un comportamiento adecuado del concreto compuesto por este agregado.
- El agregado debe estar libre de sustancias perjudiciales al concreto como impurezas orgánicas, o sustancias que provoque una expansión del concreto frente a los álcalis del cemento, para lo que se tiene una tabla de límites permisibles de sustancias dañinas.

3.3.4.1.2. PARA AGREGADO GRUESO

- El agregado grueso estará compuesto por grava, piedra triturada, grava triturada, escoria de alto horno enfriada al aire o concreto reciclado realizado con cemento hidráulico o combinación de estos. (ASTM C33)

³¹ (ASTM C33, pág. 1)

- De igual forma que el agregado fino, este no debe tener materiales nocivos al concreto, teniendo tablas de límites de sustancias permisibles en el agregado grueso, además asegurando no producir una reacción álcalis con el cemento cuando se vea expuesto a la humedad atmosférica permanente.
- Si se tiene antecedentes que el agregado tiene un comportamiento correcto en el concreto, puede ser utilizado bajo las mismas condiciones.
- La granulometría del agregado grueso debe cumplir con los límites establecidos en el cuadro del Capítulo IV, Análisis Granulométrico de la presente investigación, siendo estos rangos más amplios debido a que se trata de ajustar a todas las condiciones a nivel nacional, sin embargo, se podría realizar nuevos límites de granulometría en base a experiencias y tolerancias promedio de un agregado y una zona específica.

3.3.5. MÉTODO DE BOLOMEY

Desde que se empezó a desarrollar los diseños de mezcla se buscaba aquel que tenga una granulometría optima, que era la que tenía mayor compacidad es decir menor cantidad de vacíos, es así que Feret determino que esta compacidad máxima se obtenía cuando la granulometría era discontinua es decir cuando no había presencia de agregados de tamaño mediano, sin embargo, años más adelante Füller logro demostrar que donde se lograba un concreto más trabajable con menor cantidad de vacíos y por tanto la mayor compacidad era cuando se tenía granulometrías continuas.

En el año 1925, el profesor Bolomey en la universidad de Lausanna de Suiza, llevo hacer una mejora al método de Füller que ya había sido publicada; considerando al cemento como un agregado fino adicional y proponiendo una curva granulométrica continua teniendo en cuenta la consistencia del concreto y forma de los agregados; resultando en una mejor proporción de los agregados llegando a superar el problema de aspereza superficial y trabajabilidad deficiente que se obtenía con ciertos agregados aplicando el método de Füller. La ecuación desarrollada por Bolomey para realizar la curva fue la siguiente:

$$Y = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Dónde:

Y(%) = Porcentaje acumulado que pasa por la malla de abertura “d”.

d (mm) = Abertura de la malla en referencia

D (mm) = Tamaño máximo del agregado total

A = Coeficiente empírico que depende de la forma del agregado y consistencia del concreto (que representa la fracción de espacio no llenado por los agregados)

El procedimiento para la dosificación de componentes es igual al método de Füller, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones de mejora:

- Se considera tres tipos de agregados (fino, grueso y cemento)
- Se conoce la cantidad y porcentaje de cemento en el agregado global.
- El modulo granulométrico del cemento es cero
- Las curvas granulométricas que se utilizan para hallar los módulos de fineza teóricos de Bolomey no representan las curvas de Bolomey sino una modificación de esta.
- Mientras más cemento se utilice en la mezcla, menor cantidad de agregado fino tendrá hasta lograr una compacidad óptima.

El método de Bolomey y su respectiva curva tiene antecedentes de un buen desempeño especialmente cuando se trata de dosificación de concretos masivos como presas, muros de gravedad, vertederos, etc.

3.3.6. MÉTODO DE FAURY

En Francia el profesor Faury publicó en el año 1944 un nuevo método de diseño de mezcla basado en ensayos y pruebas realizadas por el autor considerando como las teorías antecesoras de los métodos de Füller, Bolomey y Caquot, de donde le surgió la idea de realizar un proporcionamiento de componentes del concreto en base a “(...) una nueva ley granulometría de tipo continuo que depende de la raíz quinta del tamaño del agregado $(\sqrt[5]{d})$ (...)”³², bajo esta ley se quiere obtener la dosificación de los componentes del concreto.

Faury determino que bajo esa nueva ley se podría desarrollar una gráfica granulométrica con un mínimo de vacíos o huecos (compacidad máxima del agregado), teniendo en cuenta las propiedades específicas de un concreto. En dicha grafica interviene el proporcionamiento de dos términos importantes definidos en su método siendo:

- Finos - medios = Tamaño menor a la mitad del Tamaño Máximo
- Gruesos = Tamaños mayores a la mitad Tamaño Máximo

Este método radica en una consideración de Faury sobre predominar la relación optima entre el tamaño del agregado y el encofrado (incluyendo la armadura presente), con una compacidad máxima y dejar en una segunda instancia al volumen del concreto en sí mismo, debido a esto Faury

³² (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 152)

incluye nuevos términos, ajenos a métodos anteriormente expuestos como radio medio, volumen de huecos y efecto pared, estos serán descritos más adelante en la presente investigación.

La investigación de Faury al ser sucesor de anteriores, desarrolla una mejora en la aplicabilidad siendo esta compatible con cualquier tipo de hormigón, por tener características de trabajabilidad y resistencia aceptable. Sin embargo su principal uso y donde mejor se desempeña en al ser utilizado en concreto prefabricados o post-tensado como viguetas, vigas, etc, donde se conocen los encofrados y tipo de armaduras, ya que estos son predominaste en el diseño, al tener características que son un limitante debido a su tamaño y forma, tratando en todo momento de evitar llegar a la situación que el concreto no llegue a llenar los lugares más difíciles como las esquinas o donde existe fuerte armadura de refuerzos de acero, casos que desencadenarían otros problemas como segregación o baja resistencia del concreto.

3.3.7. MÉTODO DE O'REILLY

El profesor Vitervo O'Reilly Díaz originario de Cuba y fallecido recientemente en el año 2015, fue un ingeniero civil con doctorado en Ciencias Técnicas, a lo largo de su vida tuvo cargos importantes en el ámbito de la ingeniería, y también se desempeñó en la enseñanza en Cuba y México.

El profesor O'Reilly, se percató que conforme pasan los años los países desarrollaban grandemente la industria de la construcción, lo que generaba excesivos consumos de cemento, debido a que los diseños de mezcla no se ajustaban a todas las características particulares de cada construcciones, muchos autores trataron de realizar mejoras a los diseños de mezcla antes planteados, pero resultaban en trabajos contradictorios que no llegaban a una conclusión en común.

Con sus altos conocimiento en el diseño de mezcla, y tras años de investigación, el profesor O'Reilly desarrollo una dosificación de mezcla con procedimientos totalmente diferentes a los anteriores que además de lograr un concreto con mejores características, le ahorro a Cuba un promedio anual de 200 mil toneladas de cemento.³³

El profesor vio que la mayoría de los agregados de Cuba y Latinoamérica no eran de buena calidad por sus características, afectando a la resistencia del concreto, obligando a consumir más cemento y por tanto generar un mayor costo, por lo que él determino que el proporcionamiento de los agregados no se debía realizar conforme a una curva granulometría ideal como los métodos antes

³³ (O'Reilly Díaz, Semblanza, 2015, pág. 49)

estudiados, sino que el diseño de mezcla debía estar relacionado íntimamente a las características del agregado y la consistencia de la mezcla.

“Por medio de un gran número de pruebas y mediciones realizadas en los laboratorios y en plantas de premezclado de varios países logramos comprobar, en primer lugar, que las mezclas de grava con una proporción considerable de granos inadecuados (16 hasta 31% de peso), no puede determinarse la proporción óptima de arena y grava basándonos en los métodos convencionales recomendados y empleados habitualmente.”³⁴

O'Reilly quería que su método fuera aplicado a nivel mundial, por lo que determinó que el componente que más variaba en el concreto a lo largo del mundo eran los agregados, lo que sería un limitante para su cometido. El método de Bolomey fue el primero que considero la importancia de la forma de los agregados en el desarrollo de un diseño de mezcla, creando valores para diferentes tipos de agregados y consolidaciones, es por eso que O'Reilly baso sus investigaciones en este método buscando principalmente:

- a) Lograr el máximo ahorro de cemento con las condiciones que se presenten.
- b) Elaborar un método con mayor precisión de contenido de cemento
- c) Obtener concretos más compactos que protejan al acero de refuerzo ante los efectos agresivos externos
- d) No generar principios de aplicación general, sino crear una metodología para lograr los objetivos con las condiciones propias de cada lugar y características propias de los componentes.

Para que fuera de uso internacional realizó sus ensayos y pruebas con los métodos experimentales más comunes de laboratorio y bajo las normas más difundidas internacionalmente, así como el uso del cono de Abrams en lugar del consistómetro VeBe. Al ser este método de naturaleza experimental, dichos ensayos se debe hacer con el mayor cuidado, para tener resultados confiables siendo estos aplicables solo a los determinados agregados y bajo determinadas condiciones.

“En resumen, es una metodología para que, con sus materiales, su tecnología y sus medios, cada cual diseñe su hormigón sin que medie ninguna imposición o condición preconcebida. De ahí su éxito en el mundo pues mantiene validez sean cuales fueren las condiciones climáticas o de otro tipo en las que se aplique”³⁵

³⁴ (O'Reilly Díaz, Método para el diseño de hormigón de alto comportamiento, 1997, págs. 19-20)

³⁵ (O'Reilly Díaz, Método O'Reilly de Dosificación del Hormigón, 1997, pág. 6)

Este método debido a su singularidad y eficacia ha sido desarrollado ampliamente en las universidades de Cuba; fue premiado y se ha divulgado a lo largo del mundo como México, Colombia, España, Bolivia y Brasil, siendo en el 2015 incluido por el grupo Español de Hormigón (GeHOR) como uno de los métodos más recomendables para concretos de alta resistencia.

Si bien hay antecedentes y el autor asegurara que el empleo del método produciría una reducción del contenido de cemento, existe también antecedentes donde se muestra que en comparación con el método ACI, y con cierto tipo de agregados de Guatemala, el método O'Reilly generaba más cemento ³⁶; esto debido a que este método es conveniente usarlo cuando se tenga agregados de mala calidad, por lo que al finalizar esta investigación, se determinara si los agregados típicos de Arequipa son compatibles con este método.

3.3.8. MÉTODO DE PORRERO & GRASES

El Dr. Joaquín Porrero Sampedro (1927/1992) nacido en la provincia de Asturias, España termina sus estudios en la Universidad de Oviedo en 1952, a partir de ahí trabaja como profesor de Química Inorgánica y como jefe de control de calidad en una fábrica de cementos, más adelante trabajaría en Chile por 11 años como Jefe de la sección de Investigación Química del IDIEM (Instituto de investigaciones y ensayos de Materiales).

En 1967, el profesor José Grases, director del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) conoce al profesor Porrero en una de sus conferencias en Chile, por lo que lo invita a Venezuela por 5 meses, donde realiza el laboratorio de cementos del IMME, además de dictar cursos y charlas al personal, debido a su gran apoyo por la investigación decide quedarse en Venezuela como profesor en la Facultad de ingeniería de la Universidad Central de Venezuela y Jefe de División de Estudios y Ensayo de materiales del IMME.

Con su gran interés en la investigación escribe artículos y ensayos referentes al concreto, los cuales llegan a tener una gran acogida en Venezuela y en el extranjero, siendo objeto de investigaciones y estudios, por lo que en 1975 comienza su tarea con la primera edición del Manual del Concreto Fresco, donde realiza notables investigaciones referentes a las características de los concretos en estado fresco; en 1990 ve la posibilidad de extender su investigación hacia las propiedades y características del concreto endurecido y su relación con el acero de refuerzo, el cual se ve paralizado 1992 tras su muerte. Sin embargo esta investigación es continuada por los profesores

³⁶ (Yoc Járez, 2007, pág. 77)

Carlos Ramos R. y José Grases G. por su conocimiento y cercanía al autor original, finalizándolo en el año 2014 con el nombre de Manual del Concreto Estructural.

Este método está sustentado en dos leyes fundamentales: la Ley Triangular y la ley de Abrams; además el diseño de mezcla está conforme a la norma COVENIN 1753 (Comisión Venezolana de Normas Industriales) equivalente a ASTM a nivel internacional. Se debe destacar que este método es especialmente válido para asentamientos entre 2.5 a 15 cm (1''-6'') y con resistencias a la compresión entre 180 y 430 kg/cm² a los 28 días de curado

Ley de Abrams = Esta ley determina que la relación agua/cemento está íntimamente involucrada a la resistencia a la compresión media, generando una ecuación desarrollada más adelante referente a factores de los materiales y sus características.

$$\bar{R} = \frac{M}{N^{\alpha}}$$

Ley triangular = Como se describe en la siguiente gráfica, existe una ley donde tres variables importantes en el diseño de mezcla (relación agua/cemento, trabajabilidad y dosis de cemento) son dependientes entre sí, es decir, si se modifica una, las otras dos también cambiarían, un ejemplo es al tratar de modificar la resistencia del concreto lo que involucraría un cambio en la relación agua/cemento y por tanto un cambio en la trabajabilidad o cantidad de cemento e incluso en ambas.

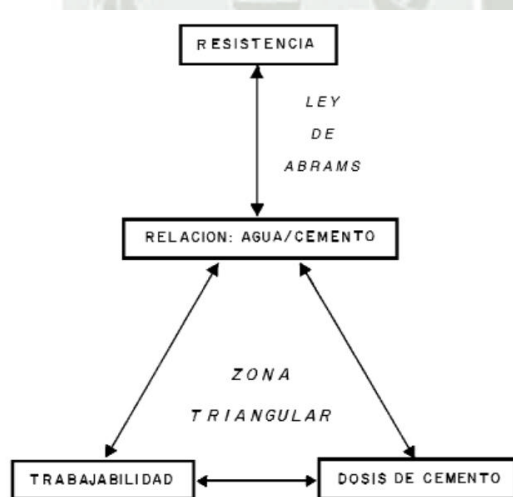


Fig. 3.1. Relaciones Básicas del concreto³⁷

Con esta ley se desarrolló una ecuación de Porrero & grases, la cual se analizara más adelante en la realización del propio diseño de mezcla.

$$C = \frac{k * T^n}{\alpha^m}$$

³⁷ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., 2014, pág. 39)

3.4. PARÁMETROS BÁSICOS

3.4.1. TRABAJABILIDAD

“La trabajabilidad es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con este puede ser: mezclado, manejado, transportado y colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue)”.³⁸

La trabajabilidad es importante en la fabricación del concreto ya que está relacionada con el proceso de colocación en la estructura debiendo desenvolverse correctamente y obtener resultados de calidad sin producirse cangrejas, segregaciones, etc.

Esta propiedad depende de la relación entre el cemento y cantidad de agua presente en la mezcla y en segundo lugar de los agregados: gradación, forma y textura; y en menor proporción del aire incluido en el concreto. Adicionalmente agentes internos y externos como la adición de aditivos, tiempo y método de mezclado, manejo del concreto, etc pueden afectar también los resultados.

Si al momento de realizar la colocación, la trabajabilidad no es la adecuada para la estructura, lo que comúnmente se hace en obra es agregar agua, siendo la peor solución adoptada, ya que con la intención de ganar trabajabilidad, el agua reduce considerablemente la resistencia, lo ideal para solucionar este problema es incrementar el mortero, así aseguramos la calidad del concreto.

3.4.2. DURABILIDAD

“Un concreto durable es aquel que puede resistir en forma satisfactoria las condiciones de servicio a que estará sujeto, tales como: la meteorización, la acción química y el desgaste.”³⁹

La durabilidad del concreto necesita ser la suficiente para resistir a lo largo del tiempo las condiciones externas que se presenten como son temperaturas altas, o muy bajas, abrasión, deshielo, congelamiento, ataques químicos y cloruros, calentamiento, sustancias químicas y orgánicas entre otros; como también las condiciones internas como son la reacción álcali-agregado, cambios de volumen, permeabilidad, etc. Para determinar la durabilidad de un concreto se debe considerar todas las condiciones a la que está expuesta no solo en la etapa de construcción sino a lo largo de su vida, por lo que se tiene que considerar el uso de cementos con características especiales y/o aditivos que benefician a la durabilidad del concreto.

³⁸ (Rivera López, 2006, pág. 83)

³⁹ (Rivera López, 2006, pág. 155)

3.4.3. RESISTENCIA

El diseño de mezcla busca dosificar los componentes para obtener una resistencia requerida, existen tipos de resistencia en el concreto como son las de tracción, flexión y la más importante, en la cual se avocara esta investigación siendo la resistencia a la compresión.

El concreto según su especificación técnica debe tener una resistencia mínima a compresión, esto depende del tipo de estructura a construir, por lo que en el diseño de mezcla es importante determinar la relación de agua/cemento, condición que está directamente relacionado a la resistencia resultante, adicionalmente para obtener una resistencia optima influye la colocación y compactación del concreto, además de un aspecto importante que es el curado, ya que con la hidratación adecuada del concreto en su tiempo de fraguado, asegura la resistencia final.

En construcción se realiza pruebas a los testigos de concreto para obtener sus características, estos resultados no serán iguales debido a que el concreto es un material heterogéneo, por lo que el desarrollo de las etapas del concreto en todos los casos será similar mas no igual aun siendo de la misma mezcla, sin embargo no puede haber una gran dispersión de datos resultante ya que esto significaría una mala toma de datos o de realización de concreto, por lo que se deben realizar tantas pruebas sean necesarias para obtener un dato promedio confiable.

3.4.4. ECONOMÍA

La economía es un aspecto importante en la realización de obras de concreto, ya que de este dependerá la viabilidad de muchos proyectos, esta radica en tres aspectos fundamentales: el costo de los materiales, equipo y mano de obra. Este aspecto no solo se debe considerar al costo inicial sino a lo largo de su vida útil.

“La economía en una mezcla de concreto se obtiene encontrando la combinación más apropiada entre los agregados disponibles, agua, cemento y cuando se requiera aditivos, utilizando la mínima cantidad de pasta (menos cemento) por unidad de volumen de concreto y que dé por resultado una mezcla que cumpla con los requisitos de manejabilidad, resistencia y durabilidad necesarias para una estructura determinada.”⁴⁰

Uno de los aspectos para conseguir un concreto económico es lograr conseguir una mezcla fluida y de alta trabajabilidad sin poner en riesgo la trabajabilidad y durabilidad deseada, ya que esto

⁴⁰ (Rivera López, 2006, pág. 105)

representa una relación alta de agua cemento, lo cual requiere un menor contenido de cemento y por tanto un menor costo por volumen de concreto, ya que este es el componente que tiene una mayor influencia en el costo total del concreto.

3.4.4.1. COSTO DE LOS MATERIALES

El costo del concreto, independiente del equipo, mano de obra y laboratorio donde se realizara las pruebas, dependerá de los componentes que conforman el mismo y sus costos unitarios, usualmente el económica radicara en función al costo del cemento, ya que tiene un costo por kilo de cemento mayor al de los agregados, quedando estos en un segundo lugar, exceptuando obras donde requieran un agregado especial u obras que se ubiquen en una zona lejana a las canteras de agregados, en los cuales influirán el costo del flete, y podría llegar a igualar o superar el costo del cemento. El agua tiene un costo mínimo en el análisis de costos.

Es necesario saber elegir el tipo y calidad de los materiales del concreto, buscando encontrar las mejores características que cumplan con los requerimientos de la estructura que se realizara.

3.4.4.2. EQUIPO Y MANO DE OBRA

El costo del equipo y mano de obra dependerá de la ubicación y magnitud de la obra, sin embargo están relacionadas con la trabajabilidad del concreto, ya que si el concreto tiene una buena trabajabilidad y se usa un buen equipo para su colocación y compactación, la mano de obra será menor que cuando se tenga un concreto no trabajable y con un equipo deficiente, donde requerirá un aumento en el costo de mano de obra.

3.5. PRINCIPALES ETAPAS DEL DISEÑO DE MEZCLA

3.5.1. RESISTENCIA PROMEDIO

La resistencia promedio es uno de los parámetros que utilizaremos para diseñar la mezcla de concreto, en la mayoría de métodos servirá de base para la dosificación. La intención de un diseño de mezcla es que después de realizarlo el resultado debe lograr obtener las propiedades requeridas con las que fue diseñado inicialmente, uno de estas propiedades de la resistencia a la compresión que se mide mediante pruebas normadas cuando el concreto esta estado endurecido.

La resistencia obtenida de las pruebas realizadas a testigos de concreto en sus diferentes edades, deben ser lo más cercana posible a las requeridas, para evitar problemas de calidad cuando son menores, o problemas de sobredimensionamiento que sacrifica la economía cuando los resultados son muy mayores a los esperados.

La resistencia de diseño lo obtenemos dependiendo del tipo, características e importancia de estructura a realizar y lo propone el proyectista en base a normas de resistencia mínima y en base a experiencia laboral propia, la resistencia de diseño será siempre menor que la resistencia promedio, que es con la que diseñamos la mezcla.

La diferencia entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño son conocidos como la desviación estándar y coeficiente de variación, que se podrá analizar en esta investigación.

3.5.1.1. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

El coeficiente de variación es un parámetro que nos determinara el nivel de diferencia entre los resultados de cada probeta ensayada a compresión con el resultado promedio de la misma serie de probetas. Este dato se obtiene con la siguiente formula:

$$v = \sqrt{(v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots)}$$

$$vi = \frac{Ds}{\bar{X}}$$

Dónde:

v = coeficiente de variación

$v_1, v_2, v_3, \dots$ = coeficiente de variación de cada ensayo

$\bar{X}$ = Promedio de la resistencia de “n” ensayos realizados (kg/cm²)

Ds = Desviación estándar (kg/cm²)

Para evaluar los resultados obtenidos, los coeficientes de variación se pueden clasificar según la siguiente tabla:

V (%)	UNIFORMIDAD DEL CONCRETO	CONDICIONES FRECUENTES EN QUE SE OBTIENE
0 – 5	Excelente	Condiciones de laboratorio
5 – 10	Muy bueno	Preciso control de materiales y dosif. por masa
10 – 15	Bueno	Buen control de los materiales y dosif. por masa
15 – 20	Mediano	Algún control de los materiales y dosif. por masa
20 – 25	Malo	Algún control de los materiales y dosif. por volumen
> 25	Muy malo	Ningún control de los materiales y dosif. por volumen

Tabla 3.2. Valores de coeficiente de variación y grado de uniformidad que puede esperarse en el concreto, bajo diferentes condiciones de producción.⁴¹

⁴¹ (Rivera López, 2006, pág. 124)

3.5.1.2. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La desviación estándar es definida como la raíz cuadrada de la varianza, para poder obtener resultados con la misma unidad que las variables, por lo que se puede definir a la desviación estándar o desviación típica como la dispersión de los valores de las muestras con respecto al promedio medio de las mismas. En el ámbito del concreto, donde se trabaja con muestras que se ensayaran a la resistencia de compresión, se puede determinar por dos métodos dependiendo de la situación:

MÉTODO 1

Cuando se haya realizado ensayos de resistencia a la compresión en los últimos 12 meses, y se cuente con los datos de por lo menos 30 ensayos consecutivos o en dos grupos, se puede hallar la desviación estándar con los datos obtenidos de estas.

Debido a esto cada empresa constructora o laboratorio tendrá su propia desviación estándar en su tiempo determinado, en función a sus tipos de materiales, métodos de mezclado, calidad de equipo y mano de obra entre otros factores que influirían en los resultados.

Para poder realizar la desviación estándar por este método, los ensayos realizados en los últimos 12 meses deben cumplir con lo siguiente:

- a) Los materiales y condiciones deben ser representativos y similares.
- b) Los resultados de los ensayos a compresión de las muestras deben haber alcanzado la resistencia de diseño f'_c requerida pudiendo tener el siguiente rango de variación:
 - 35 kg/cm² para resistencias de diseño hasta 280 kg/cm²
 - 70 kg/cm² para resistencias de diseño mayores a 280 kg/cm²
- c) Se debe haber realizado por lo menos 30 ensayos consecutivos o en dos grupos de ensayos consecutivos siempre sumando por lo menos 30 ensayos en total.

Considerando lo anterior, y teniendo un solo grupo de ensayo, se puede hallar la desviación estándar con la siguiente ecuación:

$$D_s = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

D_s = Desviación estándar (kg/cm²)

n = número de ensayos consecutivos de resistencia realizados

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = Resultado de resistencia de cada muestra (kg/cm²)

$\bar{X}$ = Promedio de la resistencia de “n” ensayos realizados (kg/cm²)

Si se cuenta con dos grupos consecutivos de ensayos realizados con una totalidad mínima de 30 ensayos de compresión, la desviación estándar se calculara mediante promedios estadísticos utilizando la siguiente ecuación:

$$\overline{Ds} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(Ds_1)^2 + (n_2 - 1)(Ds_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Dónde:

$\overline{Ds}$ = Promedio estadístico de las desviaciones estándar en 2 grupos (kg/cm²)

Ds₁, Ds₂ = Desviación estándar de cada grupo (Grupo 1 y grupo 2) (kg/cm²)

n₁, n₂ = Numero de ensayos realizados en cada grupo respectivamente

La desviación estándar tiene la característica de estar siempre del lado conservador, con el objetivo de abarcar la mayor cantidad de variaciones entre el concreto previamente realizado y de los cuales se tienen datos con el concreto que se espera realizar, para una desviación estándar confiable es necesario realizar el concreto con materiales y condiciones similares, siendo los más influyentes el cemento, agregados y adición de aditivos.

MÉTODO 2

Cuando un laboratorio o empresa constructora tenga las condiciones y materiales similares pero no cuente con un registro de 30 ensayos de compresión consecutivas, se puede obtener la desviación estándar de los resultados de 15 a 29 ensayos de compresión realizados en los últimos 45 días, que cumplan con los apartados a) y b) del método 1, en este caso la desviación estándar será modificado por el factor de corrección proporcionado en la siguiente tabla.

ENSAYOS	FACTOR DE CORRECCIÓN
Menos de 15	Usar Tabla 3.4.
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

Tabla 3.3. Factor de Corrección ⁴²

Mientras menor sea el numero datos de pruebas realizadas anteriormente, mayor será el factor de corrección, tratando de proteger la resistencia futura del concreto a realizar, en el caso contrario del tener muchos datos la confiabilidad de la desviación estándar llegara a la unidad, se recomienda que

⁴² (Rivva Lopez, 1992, pág. 55)

se realice con datos de 100 a más ensayos, sin embargo esto es muy difícil de conseguirlo, por lo que se determinó que con datos de 30 ensayos de resistencia a la compresión, resulta en una probabilidad de error de 1 en 100, lo cual es suficiente como para obtener resultados aceptables.

3.5.1.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (f'_{cr})

MÉTODO 1

La resistencia promedio requerida propuesto por ACI 318-99, tomando el sentido conservador y teniendo los datos de desviación estándar, se determinará con el resultado mayor de las siguientes ecuaciones:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34 Ds$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33 Ds - 35$$

Las ecuaciones anteriores se basaron en experiencias de campo anteriormente realizadas, de las que además se puede indicar que:

- d) La primera ecuación tiene una probabilidad de 1 en 100 de que el promedio de tres resultados de ensayos este por debajo de la resistencia de diseño especificada.
- e) La segunda ecuación tiene una probabilidad similar de 1 en 100 de que cada resultado de cada ensayo este 35 kg/cm² por debajo de la resistencia de diseño especificada.

A partir de las ecuaciones descritas anteriormente se desarrolló una tabla donde podemos hallar la resistencia promedio con los datos de resistencia de diseño y la desviación estándar, si se necesita un valor intermedio bastara con interpolar para obtener el resultado.

f'_c (kg/cm ²)	Ds (kg/cm ²)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	f'_{cr} (kg/cm ²)								
140	155	160	170	175	180	185	200	210	220
175	190	195	205	210	215	220	235	245	255
210	225	230	240	245	250	255	270	280	290
245	260	265	275	280	285	290	305	315	325
280	295	300	310	315	320	325	340	350	360
350	365	370	380	385	390	395	410	420	430

Tabla 3.4. Resistencia a la compresión Promedio ⁴³

⁴³ (Rivva Lopez, 1992, pág. 60)

MÉTODO 2

Cuando no se tenga datos o que estos sean insuficientes o no confiables para poder determinar la desviación estándar, se podrá hacer uso de la siguiente tabla para hallar la resistencia a la compresión promedio.

Resistencia de diseño $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia promedio $f'cr$ (kg/cm ²)
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Más de 350	$f'c + 98$

Tabla 3.5. Resistencia a la compresión promedio ⁴⁴

Esta tabla está basada en datos recopilados, usando las metodologías anteriormente descritas, con la adición de un factor de seguridad que aumente de resistencia, para tener la confiabilidad de obtener los resultados esperados.

MÉTODO 3

Apartados anteriores de coeficiente de variación, desviación estándar y resistencia promedio requerida están basadas en metodologías desarrolladas por la propuesta de ACI (American Concrete Institute); sin embargo, existe un tercer método menos conocido para hallar la resistencia promedio, basada en una tabla y ecuación propuesta por Comité Europeo del Concreto, siendo la siguiente:

$$f'cr = \frac{f'c}{1 - t * \frac{v}{100}}$$

Dónde:

$f'cr$ = Resistencia promedio (kg/cm²)

$f'c$ = Resistencia de diseño (kg/cm²)

v = coeficiente de variación promedio (%)

t = Coeficiente del número máximo de resultados obtenidos, inferiores a la resistencia de diseño especificada.

Los valores de “t” se obtienen de la siguiente tabla:

⁴⁴ (Rivva Lopez, 1992, pág. 57)

Número de muestras menos 1	Posibilidad de caer debajo del límite inferior		
	1 en 5	1 en 10	1 en 20
1	1.376	3.078	6.314
2	1.061	1.886	2.92
3	0.978	1.638	2.353
4	0.941	1.533	2.132
5	0.92	1.476	2.015
6	0.906	1.44	1.943
7	0.896	1.415	1.895
8	0.889	1.397	1.86
9	0.883	1.383	1.838
10	0.879	1.372	1.812
15	0.866	1.341	1.753
20	0.86	1.325	1.725
25	0.856	1.316	1.708
30	0.854	1.31	1.697
+30	0.842	1.282	1.645

Tabla 3.6. Valores de “t”⁴⁵

3.5.2. ASENTAMIENTO

Es la propiedad de la mezcla del concreto que define la consistencia del concreto, en función al grado de humedad contenida en la mezcla, esta se puede clasificar en:

Tipo de Mezcla	Asentamiento
Mezclas Secas	0 – 2’’ (0 a 50 mm)
Mezclas Plásticas	3 – 4’’ (75 a 100 mm)
Mezclas Fluidas	5 – 7’’ (mayor a 125 mm)

Tabla 3.7. Clasificación de la mezcla según su asentamiento⁴⁶

El asentamiento también está ligado a los demás componentes del concreto, tanto en sus propiedades como en sus características, como la composición química y de fineza del cemento; forma, textura y características de absorción, granulometría, porosidad etc, , si es que interviene un aditivo cualquiera que fuese, la temperatura y humedad del ambiente, entre otros factores. Si bien una buena consistencia ayuda a la colocación del concreto, esta no deber tener un asentamiento muy

⁴⁵ (Rivva Lopez, 1992, pág. 61)

⁴⁶ (Rivva Lopez, 1992, pág. 71)

alto porque puede traer consecuencias negativas al concreto como la exudación y segregación. El asentamiento debe estar definido en las especificaciones de la estructura a realizar, de no existir dicho dato, se puede calcular un asentamiento adecuado bajo los siguientes criterios:

1. Cuando sea una mezcla plástica, se puede determinar el tipo de consolidación a realizar según el asentamiento requerido.

TIPO DE CONSOLIDACIÓN	SLUMP REQUERIDO
Consolidación por vibración	3" - 4"
Consolidación por varillado	$\leq 5"$

Tabla 3.8. Tipo de consolidación según el nivel de asentamiento ⁴⁷

2. Según el tipo de estructura, propuesto por la norma ACI y se considera que la consolidación será por vibración.

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"
Concreto Superplástico	6"	8"
Concreto Plástico	4"	3"

*El asentamiento se puede incrementar en 1" si se usa un método diferente a la vibración.

Tabla 3.9. Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras

3.5.3. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)

Para comenzar esta sección es necesario definir dos conceptos básicos, según la norma ASTM C33 y la NTP 400.037:

TAMAÑO MÁXIMO = Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = Corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido, considerando las restricciones expuestas a más adelante.

⁴⁷ (Rivva Lopez, 1992, pág. 72)

El tamaño máximo nominal es un dato importante debido a que este es requerido en los diseños de mezcla y afectara a la dosificación de los componentes del concreto, en consecuencia también a las propiedades y características finales del mismo.

La obtención del tamaño máximo nominal según su definición se obtiene por medio de la prueba de granulometría sin embargo su elección no se limita a esa, sino también involucra la estructura donde actuara el concreto, ya que dependiendo del tamaño máximo normal de agregado grueso dependerá que el concreto tenga una buena trabajabilidad y pueda ser colocado sin problemas de vacíos y cangrejeras en toda la estructura incluyendo esquinas, ángulos y espacios entre barras.

“Las normas de diseño estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que pueda ser económicamente disponible, siempre que él sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.”⁴⁸

Esto es debido a que mientras mayor tamaño nominal máximo presente el agregado grueso con características bien graduadas, menor será el porcentaje de vacíos y del mortero.

La norma ACI, presenta restricciones del tamaño máximo nominal para evitar futuros problemas en la colocación de la estructura, debiendo ser el TMN menor a las siguientes consideraciones:

- a) Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados
- b) Un tercio del peralte de las losas
- c) Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzos, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

Existen también unas consideraciones similares brindadas por la EHE (Instrucción Española del Hormigón Estructural), que nos puede servir de ayuda al momento de elegir un TMN.

- a) 0.8 de la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre estas y el encofrado o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor de 45° con la dirección de hormigonado.
- b) 1.25 de la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección d hormigonado.
- c) 0.25 de la dimensión mínima de la pieza encofrada:
 - 0.33 si se encofra por una sola cara o se trata de elementos prefabricados en taller
 - 0.4 en el caso de losas nervadas (no en las nervaduras)

⁴⁸ (Rivva Lopez, 1992, pág. 69)

Como se mencionó, el objetivo del concreto es lograr satisfacer las necesidades de la estructura, por lo que sí se puede reducir o aumentar el valor del TMN si es que se comprueba que el agregado tendrá un comportamiento eficiente sin producir problemas en su colocación.

Como recomendación podemos tomar que “Cuando se deben seleccionar las proporciones de concreto cuya resistencia en compresión de diseño especificada sea igual o mayor de $f'_c = 350 \text{ kg/m}^2$, podrá obtenerse mejores resultados utilizando agregados de tamaño máximo nominal menor, los cuales permiten obtener resistencias más altas para una relación a/c dada.”⁴⁹

3.5.4. CANTIDAD DE AGUA

La cantidad de agua en la mezcla es importante ya que esta define la relación agua /cemento y la reacción que producen estas al mezclarse, produciendo finalmente características fundamentales como la consistencia y la resistencia. Comúnmente los diseños de mezclas nos dan proporciones de los agregados en estado seco, por lo que se tiene que realizar una corrección de absorción y contenido de humedad para que estos agregados no absorban o agreguen agua de la mezcla, modificando los resultados finales.

Para la elección de la cantidad de agua se presenta la siguiente tabla propuesta por el Comité ACI, donde nos da volúmenes de agua cuando el agregado está seco en función del TMN, asentamientos y si el concreto está o no incorporado por aire, lo cual lo ayuda a ser más trabajable reduciendo la cantidad de agua necesaria en la mezcla.

Asentamiento	Agua en lt/m^3 , para TMN agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	182	184	174	166	154	-

Tabla 3.10. Volumen de agua por m^3 ⁵⁰

⁴⁹ (Rivva Lopez, 1992, pág. 70)

⁵⁰ (Rivva Lopez, 1992, pág. 78)

La tabla anterior si bien es la más conocida y usada, los resultados no son definitivos ya que están basados en el TMN, sin considerar características adicionales como forma y textura de los agregados en general, por lo que al realizar el concreto puede que con las cantidades calculadas no llegue a los resultados esperados afectando el desarrollo del concreto. En obra según la experiencia del ingeniero y del personal a cargo se modifican las proporciones, hasta llegar a una consistencia trabajable y que cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad.

Existen antecedentes que demuestran que la cantidad de agua en la mezcla se reduce cuando el TMN del agregado grueso aumenta, y que cuando se tiene agregado grueso con textura rugosa y angular requiere más contenido de agua en la mezcla.

“Los valores indicados en la Tabla 3.10. Son los máximos a ser utilizados cuando se emplea agregado grueso angular razonablemente bien perfilado y graduado dentro de los límites propuestos por especificaciones aceptadas (ASTM C 33 y ITINTEC 400.037). El agregado grueso redondeado generalmente requiere 18 lt/m³ menos para concreto sin aire incorporado y 15 lt/m³ menos para concretos con aire incorporado”.⁵¹

Debido a lo anterior, el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de materiales de la UNI (Universidad Nacional de Ingeniería), desarrollo una nueva tabla, donde se considera la variable de forma y textura del agregado grueso; en esta tabla se desarrollan solo mezclas sin aire incorporado, y al igual que la tabla anterior esta debe ser ajustada.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen unitario de agua, expresado en lt/m ³ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados					
	1" a 2 "		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Tabla 3.11. Volumen unitario de agua por m³ - UNI⁵²

⁵¹ (Rivva Lopez, 1992, pág. 79)

⁵² (Rivva Lopez, 1992, pág. 79)

3.5.5. CONTENIDO DE AIRE

AIRE TOTAL = Es la cantidad real de aire presente en la mezcla, es decir la suma del aire atrapado más el aire incorporado.

AIRE ATRAPADO = También es conocido como aire natural, es el que está presente en la mezcla del concreto debido a los procedimientos propios de su fabricación, características físicas de los materiales y TMN del agregado. Estas burbujas de aire se caracterizan por tener un diámetro aproximado de 1 mm y tener un perfil irregular.

AIRE INCORPORADO = Es el aire que se agrega intencionalmente, para dar a la mezcla propiedades diferentes a las naturales, como una mayor capacidad de durabilidad al deshielo y congelación. Estas burbujas de aire se caracterizan por ser de diámetro pequeño entre 10 y 1000 micrones y tener un perfil esférico.

Para seleccionar el contenido de aire atrapado en la mezcla se usa la siguiente tabla de la norma ACI, donde nos da un porcentaje óptimo en función a los TMN del agregado grueso que cumpla con los requisitos de granulometría bien graduada del ASTM C33.

TMN del agregado Grueso	Aire atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Tabla 3.12. Contenido de aire atrapado

El incorporar aire mediante el uso de aditivos a la mezcla de concreto genera una reacción que desarrolla burbujas de aire del rango de 9% al 10% de la mezcla, lo que provoca que el concreto tenga una mayor resistencia ante acciones negativas cuando está expuesto a acciones de sales o agentes químicos. Sin embargo, esta también afecta a la resistencia del concreto ya que resultara ser una mezcla con más poros, por lo que la resistencia disminuirá conforme aumente el aire incorporado, adicionalmente se puede añadir lo siguiente: “(...) se aprecia especialmente en mezclas ricas, en las que la reducción en la resistencia puede llegar a ser hasta 5% por cada 1% de aire incorporado. Se ha observado que en mezclas pobres puede presentarse un pequeño incremento

en la resistencia final si se toma ventaja de los menores requisitos de agua que requieren las mezclas con aire incorporado.”⁵³

Si el concreto se presenta en condiciones climáticas que afecten su desarrollo, y se opta por trabajar con concreto con aire incorporado, se utilizara la siguiente tabla en función a su TMN y al tipo de condición al que está expuesto. “Su empleo es particularmente recomendable en todos los casos en que el hormigón va a estar sometido a la acción de la intemperie o climas artificiales fríos con temperatura extrema inferior a 4°C.”⁵⁴

TMN del agregado Grueso	Contenido de aire total (%)		
	Exposición Suave	Exposición Moderada	Exposición Severa
3/8"	4.5	6.0	7.5
1/2"	4.0	5.5	7.0
3/4"	3.5	5.0	6.5
1"	3.0	4.5	6.0
1 ½"	2.5	4.0	5.5
2"	2.0	3.5	5.0
3"	1.5	3.0	4.5
6"	1.0	2.5	4.0

Tabla 3.13. Contenido de aire incorporado y total

La selección del nivel de exposición se efectuara según las siguientes características:

Exposición Suave = No se considera la durabilidad a la congelación es decir cuando no se presente climas propensos a producir congelación en el concreto, se considerara cuando se requiera:

- Mayor trabajabilidad del concreto
- Mayor cohesión del concreto
- Mayor resistencia en concretos con bajo contenido de cemento

Exposición Moderada = Se utilizara en climas donde es probable que puede presentarse congelación por temporadas considerando también en los casos que el concreto:

- No este expuesto a la acción de agentes químicos agresivos y descongelantes.
- Tenga contacto no continuo con humedad o directamente agua antes de la congelación.
- Sea usado en estructuras típicas como vigas, losas, columnas que no estén en contacto con suelo húmedo.

⁵³ (Rivva Lopez, 1992, pág. 82)

⁵⁴ (Arcos D'Hainaut, 1976, pág. 87)

Exposición Severa = Se utilizara en los casos que el concreto:

- Este expuesto a la acción de agentes químicos agresivos y descongelantes.
- Tenga contacto continuo con humedad o directamente agua antes de la congelación.

La tabla 3.13. está realizada con una referencia empírica, por lo que se tiene una tolerancia del 1.5%, para el cálculo del verdadero contenido de aire incorporado, se puede realizar ensayos especificados en la Norma ASTM C138, C173 y C231, donde obtendremos el contenido de aire atrapado, y por diferencia con el contenido de aire total, podremos obtener la verdadera cantidad de aire incorporada.

3.5.6. RELACIÓN AGUA/CEMENTO

El factor de relación agua/cemento es el proporcionamiento que tiene un componente con respecto al otro, existen dos tipos de relaciones:

RELACIÓN A/C DE DISEÑO = Cuando se considera que el agregado no toma ni agrega ninguna porción de agua a la mezcla. Al final del proporcionamiento de los materiales, estos se corregirán teniendo en cuenta la humedad de los componentes.

RELACIÓN A/C EFECTIVA = Cuando se considera la cantidad de agua real usada en la mezcla teniendo en cuenta la porción adicional o negativa del agua por la humedad de los agregados.

Para la elección de la relación a/c existen dos criterios a considerar: en función a su resistencia a la compresión y en función a su durabilidad, la elección dependerá del diseño de mezcla y/o de las condiciones de la estructura, de no especificar estrictamente un de los criterios se debe escoger el menor de los dos valores, teniendo una tolerancia de ± 0.02 .

Cuando una relación agua/cemento es alta, requerirá menos agua para el proceso de hidratación, y el resto intervendrá en la mezcla de los componentes del concreto, logrando una mezcla trabajable; sin embargo al llegar el tiempo de fragua, los espacios ocupados por agua pasaran a ser poros capilares, lo que resultara en un concreto más poroso, y de menor resistencia.

“Relaciones $a/c < 0.4$ pueden resultar duras e inmanejables, sin embargo el agua estrictamente indispensable para la hidratación del cemento obedece a una relación $a/c = 0.30$, es decir, solo el 30% del agua empleada se destina al proceso de hidratación. En las relaciones $a/c > 0.30$ el agua restante es sobrante y solo sirve para aumentar la trabajabilidad del concreto.”⁵⁵

⁵⁵ (González Sandoval, 2004, pág. 45)

3.5.6.1. RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA

La elección de la relación agua/cemento se hace bajo el criterio de la resistencia a compresión ya que es una de las propiedades más importantes del concreto endurecido, y está relacionado directamente con la cantidad de cemento y agua presente en la mezcla.

Debido a que el concreto es una mezcla heterogénea, es difícil obtener una misma resistencia en pruebas realizadas a especímenes de concreto considerando un mismo factor de a/c; para obtener un diseño optimo lo recomendable es realizar con los materiales disponibles una serie de ensayos con diferentes dosificaciones con el propósito de obtener curvas a partir de los resultados obtenidos, para finalmente con datos como resistencia a la compresión, trabajabilidad y consistencia podamos obtener una relación a/c óptima.

MÉTODO 1

Cuando no se pueda obtener las curvas anteriormente descritas, se puede usar la siguiente tabla propuesto por el comité ACI para determinar la relación agua/cemento a partir de la resistencia requerida y el concreto con o sin con aire incorporado.

La tabla se diseñó tras realizar ensayos a probetas de 15x30 cm utilizando cemento portland Tipo I y materiales que cumplan con las normas ASTM-C33, logrando obtener resistencias requeridas a los 28 días después de un curado estándar de laboratorio, con esto los valores de la tabla son conservadores y aproximados para poder ser utilizado con diversos materiales. Para unos mejores resultados se debe tener en cuenta que la tabla fue realizada con un TMN entre $\frac{3}{4}$ a 1'', si este dato no está dentro del rango es necesario ajustar el factor agua/cemento: siendo que a menor TMN, la relación agua/cemento debe aumentar.

f'cr kg/cm ² (28 días)	Relación a/c en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Tabla 3.14. Relación agua/cemento por resistencia - ACI⁵⁶

⁵⁶ (Rivva Lopez, 1992, pág. 91)

MÉTODO 2

Debido a la anterior tabla, un grupo de investigadores de la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) desarrollaron una tabla del factor a/c en función del TMN, en base de pruebas de probetas de concreto ensayadas a 28 días en laboratorio, utilizando agregado grueso de perfil angular que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM C33, uso de cemento portland Tipo I, y considerando un concreto sin aire incorporado, por lo que presenta datos conservadores. En el caso que se use aire incorporado se debe ajustar los valores tomando en cuenta que por cada 1% de aire incorporado en el concreto, la resistencia promedio se reduce 5%.

f'_{cr} kg/cm ² (28 días)	Estimación de la relación agua/cemento en peso para agregado grueso del tamaño máximo nominal indicado		
	3/8 "	3/4 "	1 1/2 "
140	0.87	0.85	0.80
175	0.79	0.76	0.71
210	0.72	0.69	0.64
245	0.66	0.62	0.58
280	0.61	0.58	0.53
315	0.57	0.53	0.49
350	0.53	0.49	0.45

Tabla 3.15. Relación agua/cemento por resistencia NRMCA ⁵⁷

MÉTODO 3

El profesor Staton Walker en la universidad de Maryland desarrollo una tabla que permite obtener la relación agua/cemento a partir del contenido de aire total, esto es útil cuando se requiere corregir diseños de mezcla a los cuales se necesita incorporar aire.

f'_{cr} kg/cm ² (28 días)	Relación agua/cemento para diversos contenidos de aire total			
	2%	4%	6%	8%
140	0.76	0.71	0.67	0.60
175	0.67	0.62	0.58	0.51
210	0.6	0.55	0.51	0.45
245	0.53	0.49	0.45	0.37
280	0.49	0.45	0.4	0.33
315	0.45	0.4	0.36	0.29
350	0.40	-	-	-

Tabla 3.16. Relación agua/cemento por resistencia Walker ⁵⁸

⁵⁷ (Rivva Lopez, 1992, pág. 92)

MÉTODO 4

Se desarrolló también una tabla por The United States Bureau of Reclamation (USBR), donde en función a la relación agua/cemento y la opción de incorporar aire en la mezcla, se puede hallar directamente la resistencia a la compresión a los 28 días y la cantidad de cemento por m^3 , cuando se utiliza cemento tipo I y se realiza un curado estándar de laboratorio; la tabla tiene una restricción de TMN de hasta 1 ½ ".

Relación agua/cemento	Concreto sin aire incorporado		Concreto con aire incorporado	
	f'c	cemento kg/m ³	f'c	cemento kg/m ³
0.40	385	414	315	361
0.45	350	365	280	325
0.50	305	329	250	287
0.55	280	298	230	276
0.60	240	265	195	240
0.65	215	250	182	228
0.70	180	234	150	213
0.75	170	223	140	191

Tabla 3.17. Relación agua/cemento por resistencia USBR ⁵⁹

3.5.6.2. RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR DURABILIDAD

La durabilidad no depende enteramente del diseño de mezcla sino que está en función a las condiciones externas que afecten el concreto, debido a esto existe una gran variabilidad de condiciones que se pueden presentar, de los que son más representativos los siguientes: Congelamiento y deshielo, Acción de suelos y aguas sulfatas, Corrosión del acero de refuerzo.

El diseñar bajo el criterio de durabilidad involucra que se obtenga un factor de a/c bajo (alrededor de 0.4 a 0.5), para no solo cumplir con los criterios de resistencia especificados por el diseñador de estructuras, sino que cumpla también con los criterios de durabilidad dependiendo de las condiciones en que se presente, esto acarrea un problema ya que con un bajo factor a/c conlleva a una resistencia alta, lo cual incluye el uso de mayor cantidad de cemento acrecentando costo de obra y obteniendo un acabado superficial imperfecto. La norma ACI presenta tablas en función a los diferentes casos que se presenten.

⁵⁸ (Rivva Lopez, 1992, pág. 93)

⁵⁹ (Rivva Lopez, 1992, pág. 94)

EXPOSICIÓN A CONGELACIÓN Y DESHIELO

El concreto que este expuesto en algún momento de su vida a congelación y deshielo debe tener una alta resistencia a la compresión o contener aire incorporado para tener un bajo porcentaje de porosidad capilar, es decir que se tiene que lograr que el concreto sea lo máximo impermeable posible, para asegurar su durabilidad.

“Se recomienda que el contenido mínimo de cemento en mezclas de concreto expuestas a procesos de congelación y deshielo, o a la acción de sales descongelantes, no sea menor de 340 kg/m³, debiendo el cemento cumplir con los requisitos de las normas ASTM C150 o ASTM C595.”⁶⁰

La tabla indica una relaciona a/c máxima para agregados de peso normal en ciertas condiciones e indica resistencias mínimas de compresión cuando se usa agregados livianos debido a que es difícil determinar la absorción de los agregados, lo que resulta en una relación a/c muy variable.

Condiciones de exposición	Relación a/c máxima, en concretos con agregados de peso normal	Resistencia en compresión mínima en concretos con agregados livianos
<u>Concreto de baja permeabilidad</u>		
Expuesto al agua dulce	0.50	260
Expuesto al agua de mar o aguas solubles	0.45	
Expuesto a la acción de aguas cloacales	0.45	
<u>Concretos expuestos a procesos de congelación y deshielo en condiciones húmedas</u>		
Sardineles, cunetas secciones delgadas	0.45	300
Otros elementos	0.50	
Protección contra la corrosión del concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salubres, neblina o rocío de estas aguas	0.40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45	300

* La resistencia f'_c no deberá ser menor de 245 kg/cm² por razones de durabilidad

Tabla 3.18. Condiciones especiales de exposición⁶¹

EXPOSICIÓN AL ATAQUE DE SULFATOS

Dentro de los componentes del cemento Portland se encuentra presente el aluminato tricalcico y la cal, estos son dos elementos que pueden reaccionar químicamente con sulfatos de sodio, sulfatos de calcio y sulfatos de magnesio, que se encuentra presentes en los suelos, aguas freáticas y agua de

⁶⁰ (Rivva Lopez, 1992, pág. 97)

⁶¹ (Rivva Lopez, 1992, pág. 101)

mar, formando así el sulfoaluminato, que en el concreto genera un gel expansivo que aumenta el volumen del concreto endurecido, logrando su agrietamiento y destrucción. Es por eso que ante el ataque de sulfatos se utiliza el cemento tipo V por su bajo contenido de aluminato tricalcico.

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua, presente en el suelo como SO % en peso	Sulfato en agua como SO ppm	Cemento Tipo	Relación w/c máxima, en peso. En concretos con agregado de peso normal
Despreciable	0.00 - 0.10	0 – 150	-	-
Moderada	0.10 - 0.20	150 – 1500	II, IP, IPM	0.50
Severa	0.20 - 2.00	1500 -10000	V	0.45
Muy Severa	sobre 2.00	sobre 10 000	V + Puzolana	0.45

Tabla 3.19. Concreto expuesto a soluciones de sulfatos ⁶²

CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

La corrosión del acero se produce debido a la concentración de ion cloruro soluble en el agua que está en contacto con el concreto endurecido. Se puede dar de dos formas, la primera es mediante los agregados, ya que estos pueden presentar cloruros de sodio por su capacidad de absorción, lo cual se puede solucionar lavando los agregados antes de utilizarlos, y la segunda forma es mediante el uso de agua de mar, el cual presenta concentración de cloruros que sobrepasan los límites establecidos.

La tabla de límites de ion cloruro corresponde al código ACI “Building code Requirements for Reinforced Concrete”, basados en ensayos de cloruros solubles en agua, sin embargo una manera de ampliar y combatir los márgenes, es el uso de epoxy o zinc como recubrimiento del acero de refuerzo, ya que estos lo protegen de los agentes externos.

Elemento	Máximo ion cloruro soluble en el agua en el concreto, expresado como % en peso del concreto
Concreto pretensado	0.06
Concreto armado expuesto a la acción de cloruros	0.15
Concreto armado que deberá estar seco o protegido de la humedad durante su vida	1.00
Otras construcciones de concreto armado	0.30

Tabla 3.20. Contenido máximo de ion cloruro ⁶³

⁶² (Rivva Lopez, 1992, pág. 102)

3.5.7. CONTENIDO DE CEMENTO

Como se mencionó anteriormente el cemento definirá la economía del concreto, debido a su costo superior ante otros componentes que intervienen; la cantidad del cemento como la elección del tipo dependerá del nivel de resistencia que se requiera, por lo que primero se debe realizar un análisis estructural e identificar las condiciones externas que afecten al concreto.

Si se conoce el factor de agua/cemento y la cantidad de agua presente en la mezcla, el cálculo de la cantidad de cemento por unidad de metro cubico se realiza mediante una sencilla operación, además si se indica una cantidad de cemento mínimo o mediante otros métodos se obtiene otra valor, se debe escoger el que tenga mayor contenido de cemento para satisfacer todos los requisitos.

3.5.8. SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS

Lograr obtener una cantidad de proporción óptima de agregados se cumplirá cuando se tenga una cantidad mínima de pasta que cumpla con las propiedades requeridas de diseño. El método de selección de proporcionamiento dependerá del método de diseño, sin embargo se debe resaltar la importancia de las características de los agregados ya que estos influirán en los resultados del concreto.

Una granulometría eficaz para usar en el concreto es la combinación del agregado grueso y fino con el objetivo de que con un correcto proporcionamiento estos llenen la mayor cantidad de espacios vacíos entre las partículas, obteniendo una mayor resistencia, cohesividad y trabajabilidad. Mientras que las partículas finas tengan más proporción en la mezcla, esta resultada con mayor trabajabilidad y la carencia del agregado fino resultara en un concreto con deficiencias y dificultades en la compactación, además de una mayor tendencia hacia la segregación del agregado grueso y exudación del concreto.

3.5.8.1. SELECCIÓN DE AGREGADO GRUESO

Dependiendo del método a usar, estas involucraran diversas características de los agregados gruesos como TMN, granulometría, forma y textura de las partículas, siendo el que considerare más variables del agregado, el más exacto en los cálculos del peso del mismo.

3.5.8.2. SELECCIÓN DE AGREGADO FINO

El agregado fino es el que dará la trabajabilidad y grado de cohesión en la mezcla, siempre se ha tratado de determinar el porcentaje de intervención del agregado fino en el volumen total, sin

⁶³ (Rivva Lopez, 1992, pág. 103)

embargo es muy difícil porque las características del agregado grueso y demás componentes siempre serán distintos, por lo que se determina que la relación de agregados es la más óptima cuando requiere menor cantidad de pasta sin sacrificar la resistencia del concreto.

3.5.9. AJUSTES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

Al momento de realizar la mezcla del concreto, los agregados generalmente se encuentra en condición humedad, es decir que al dosificar el peso de los agregados habrá un porcentaje del agua dentro de los poros. Pueden existir 3 casos:

- Que ambos agregados aporten agua a la mezcla
- Que un agregado aporte agua a la mezcla, y el otro tome agua de la mezcla
- Que ambos agregados tomen agua de la mezcla

Sin embargo los distintos diseños de mezcla obtienen datos de los agregados en estado seco, debido a que el contenido de humedad del agregado es muy variable conforme al clima, condiciones de exposición, lugar, etc. Debido a esto los resultados obtenidos por los diseños, no son los resultados finales, sino que se debe de ajustar con los datos de humedad del agregado. Antes de ver los tipos de correcciones que se debe definir ciertos términos de condición de humedad en el agregado:

SECO = Se da cuando sus poros internos como superficialmente no contiene agua, esta es una condición teórica ya que solo se da cuando es secado al horno o se encuentre en condiciones climáticas muy altas.

SEMI-SECO = También es conocido como secado al aire, se da cuando la superficie del agregado está seco pero sus poros internos están parcialmente con agua debido a la humedad del ambiente, se identifica porque es menor que la absorción del agregado.

SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO = Se cuándo la superficie del agregado está seca, pero sus poros internos están totalmente llenos de agua, es la condición ideal ya que no aportan ni toman agua de la mezcla.

HÚMEDO O SATURADO = Se presenta cuando tanto la superficie como todos los poros internos de los agregados tienen presencia de agua, esta condición podría aportar una cantidad adicional de agua a la mezcla, por lo que es necesario realizar una corrección de humedad.

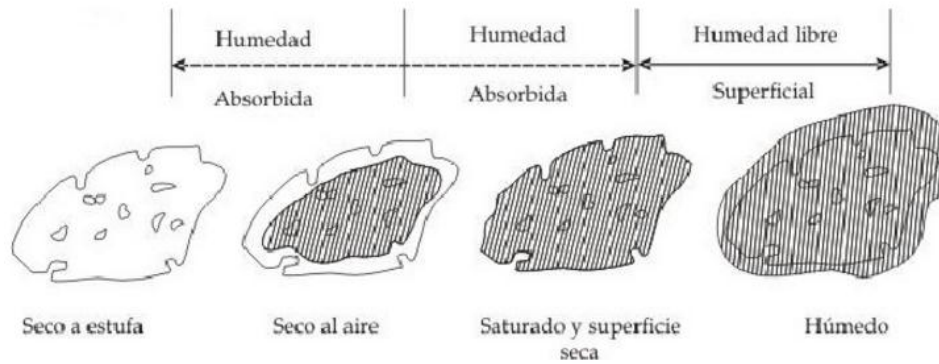


Fig. 3.2. Condiciones de humedad de los agregados ⁶⁴

3.5.9.1. CORRECCIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD

Los agregados al estar en contacto con la humedad natural del ambiente, la absorben para llenar sus vacíos y superficie con agua, por lo que es necesario realizar una corrección a los agregados multiplicando sus pesos secos por la unidad más el contenido de humedad en forma decimal:

$$W_{\text{corregido A.G.}} = (\% \text{Humedad A.G.} + 1) W_{\text{seco A.G.}}$$

$$W_{\text{corregido A.F.}} = (\% \text{Humedad A.F.} + 1) W_{\text{seco A.F.}}$$

3.5.9.2 CORRECCIÓN POR CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

También es llamado el aporte del agua de cada agregado a la mezcla, por lo que se necesita hacer una corrección a la cantidad de agua de diseño, multiplicando los pesos secos de los agregados por la humedad superficial, donde se necesita los valores del porcentaje de absorción y de humedad para las siguientes ecuaciones:

$$\text{Aporte A.G.} = (\% \text{Humedad A.G.} - \% \text{Absorción A.G.}) * W_{\text{seco A.G.}}$$

$$\text{Aporte A.F.} = (\% \text{Humedad A.F.} - \% \text{Absorción A.F.}) * W_{\text{seco A.F.}}$$

$$\text{Aporte de los Agregados} = \text{Aporte A.G.} + \text{Aporte A.F.}$$

$$\text{Agua corregida} = \text{Cant. de agua} - \text{Aporte de los Agregados}$$

3.5.9.3. HUMEDAD SUPERFICIAL

Es la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción, cuando es positiva el agregado aporta un porcentaje de agua a la mezcla y cuando es negativo el agregado toma agua de la mezcla, haciéndolo menos trabajable que el esperado, sin embargo estos valores de la cantidad de agua se pueden ajustar, a fin de obtener resultados eficientes.

⁶⁴ (Mego Zapata, pág. 9)

CAPÍTULO 4. PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO Y MÉTODOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS

Para poder realizar los diseños de mezcla y su respectiva dosificación, se requiere conocer de las propiedades y características de los componentes del concreto, por lo que se realizara ensayos y pruebas respectivamente normadas, para obtener las propiedades de los elementos que intervienen en la mezcla.

4.1. PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES

4.1.1. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

En esta investigación se optó por utilizar agregados proveniente de la Cantera “La Poderosa”, debido a que es uno de los agregados más usados y representativos de Arequipa en distintas obras y de diferente nivel de importancia, su frecuente uso radica en el buen comportamiento y características que posee, datos que son demostrados en diferentes investigaciones.

4.1.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico es un ensayo para determinar la representación numérica de la gradación o distribución volumétrica de las partículas que forman los agregados en estado seco a través de mallas o tamices granulométricos normados que van en orden de mayor a menor tamaño de abertura. Las normas que indican el procedimiento y consideraciones del ensayo son:

- NTP 400.012. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global
- ASTM C-136. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates.

4.1.1.1.1. AGREGADO FINO

La cantidad representativa de agregado fino seco mínimo para poder realizar este ensayo es de 300 gr.

Se procederá a realizar el ensayo teniendo los tamices normados continuos en orden decreciente (mayor abertura arriba y menor abajo), y siguiendo las recomendaciones de la norma se utilizara el agitador de tamices, maquina automática que provoca una ligera inclinación, con un movimiento hacia arriba a una velocidad de 150 veces por minuto girando

un sexto de revolución por cada 25 golpes⁶⁵ (aproximadamente por 3 minutos), luego se procede a pesar la cantidad retenida en cada malla utilizada.



Ilustración 4.1. Agitador de Tamices – Granulometría Agregado Fino

La norma ASTM C33 (NTP 400.037), nos brinda los límites granulométricos adecuados para el agregado fino, con lo que se podrá determinar su la calidad comparándolo con las curvas granulométricas resultantes.

Tamiz (ASTM E 11)		Porcentaje que pasa
9.5 mm	3/8 in	100
4.75 mm	Nro 4	95 a 100
2.36 mm	Nro 8	80 a 100
1.18 mm	Nro 16	50 a 85
600 um	Nro 30	25 a 60
300 um	Nro 50	5 a 30
150 um	Nro 100	0 a 10

Tabla 4.1. Requisitos de gradación del Agregado Fino – ASTM⁶⁶



Ilustración 4.2. Granulometría del Agregado Fino

⁶⁵ (NTP 400.012, 2001, pág. 7)

⁶⁶ (ASTM C33)

ENSAYO N°1

AGREGADO FINO - ENSAYO 1					
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1/2"	12.7	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	2.90	0.60%	0.60%	99.40%
# 4	4.75	5.00	1.04%	1.65%	98.35%
# 8	2.36	51.00	10.63%	12.28%	87.72%
# 16	1.18	74.70	15.58%	27.86%	72.14%
# 30	0.60	75.20	15.68%	43.54%	56.46%
# 50	0.30	99.50	20.75%	64.28%	35.72%
# 100	0.15	89.70	18.70%	82.99%	17.01%
# 200	0.075	55.60	11.59%	94.58%	5.42%
Recipiente		26.00	5.42%	100.00%	0.00%
		479.60	100.00%		

Cuadro 4.1. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N°1

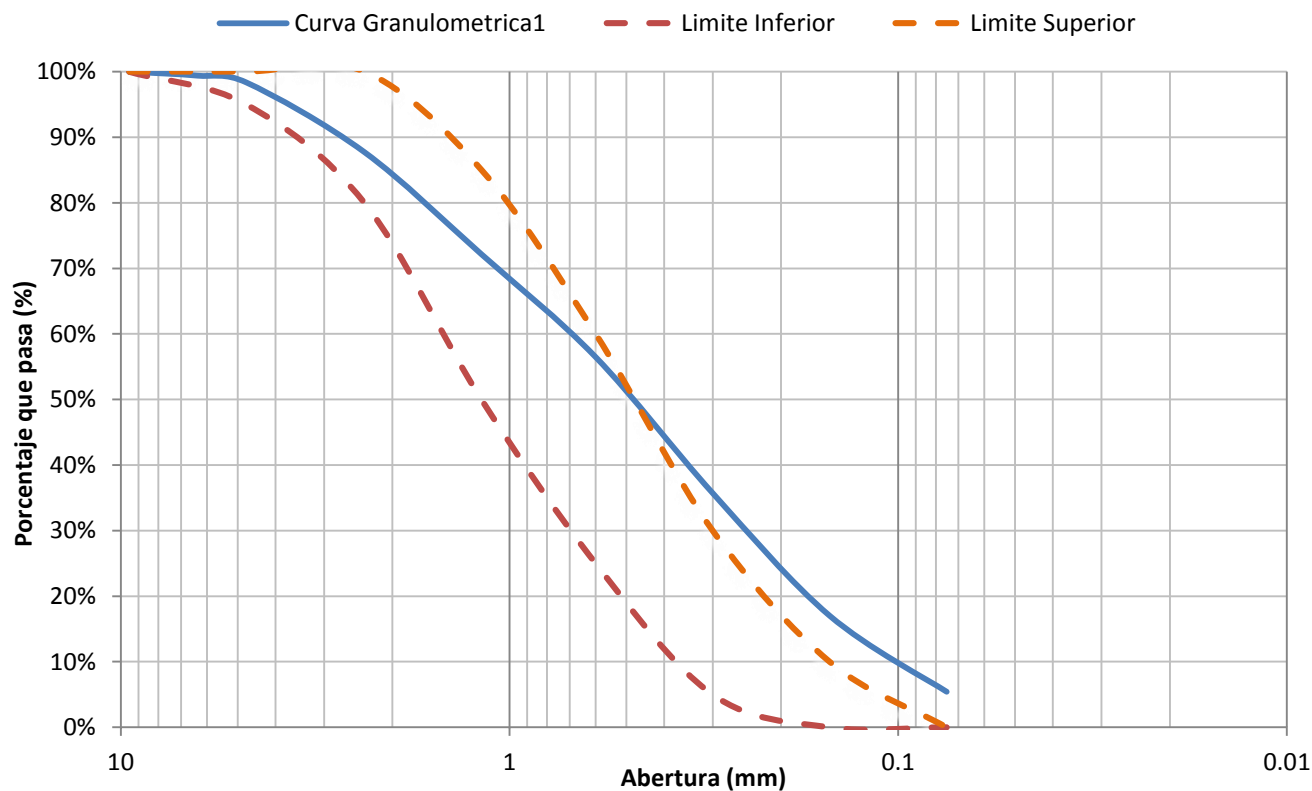


Fig. 4.1. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°1

ENSAYO N°2

AGREGADO FINO - ENSAYO 2					
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1/2"	12.7	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	3.20	0.67%	0.67%	99.33%
# 4	4.75	8.50	1.77%	2.44%	97.56%
# 8	2.36	50.50	10.54%	12.99%	87.01%
# 16	1.18	79.70	16.64%	29.63%	70.37%
# 30	0.60	91.30	19.06%	48.69%	51.31%
# 50	0.30	90.30	18.86%	67.55%	32.45%
# 100	0.15	76.40	15.95%	83.50%	16.50%
# 200	0.075	52.60	10.98%	94.49%	5.51%
Recipiente		26.40	5.51%	100.00%	0.00%
		478.90	100.00%		

Cuadro 4.2. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N°2

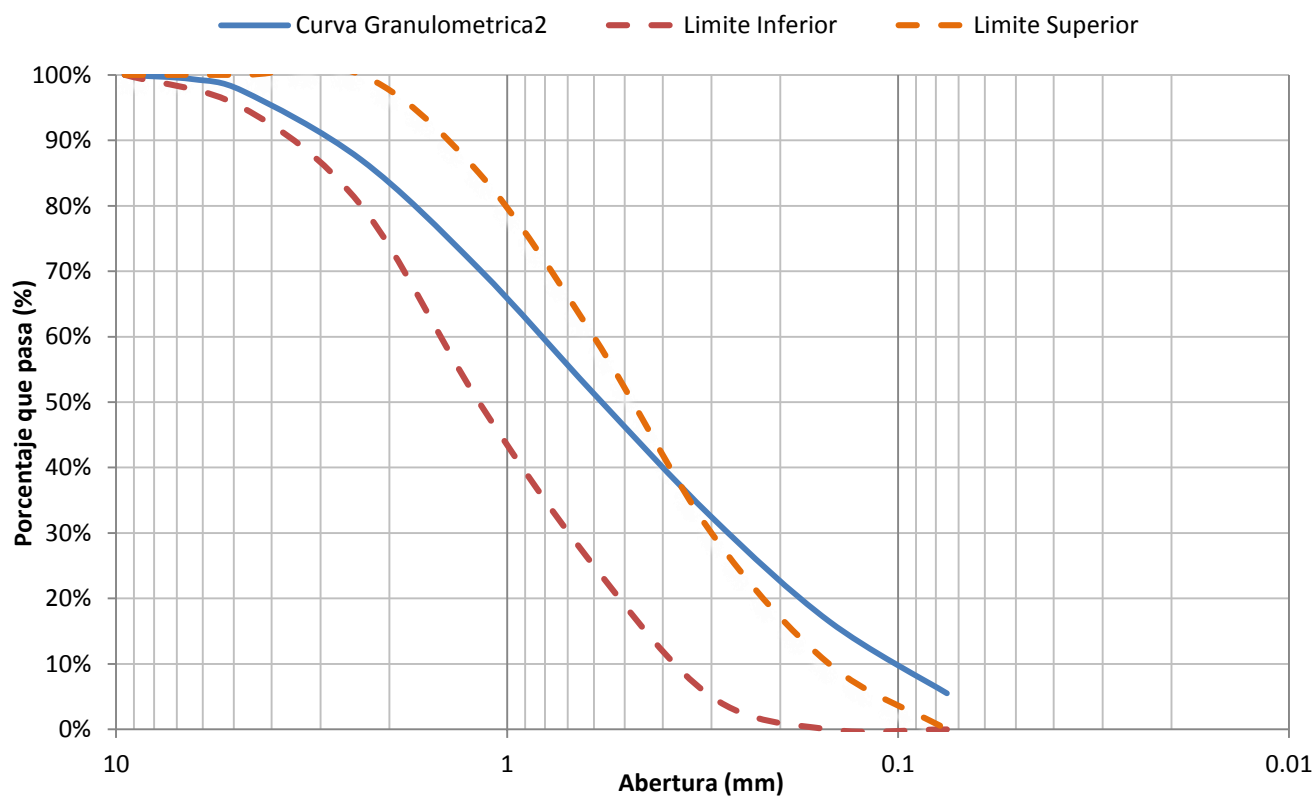


Fig. 4.2. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°2

ENSAYO N°3

AGREGADO FINO - ENSAYO 3					
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1/2"	12.7	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	10.00	1.47%	1.47%	98.53%
# 4	4.75	10.00	1.47%	2.94%	97.06%
# 8	2.36	65.00	9.56%	12.50%	87.50%
# 16	1.18	115.00	16.91%	29.41%	70.59%
# 30	0.60	115.00	16.91%	46.32%	53.68%
# 50	0.30	125.00	18.38%	64.71%	35.29%
# 100	0.15	115.00	16.91%	81.62%	18.38%
# 200	0.075	75.00	11.03%	92.65%	7.35%
Recipiente		50.00	7.35%	100.00%	0.00%
		680.00	100.00%		

Cuadro 4.3. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N°3

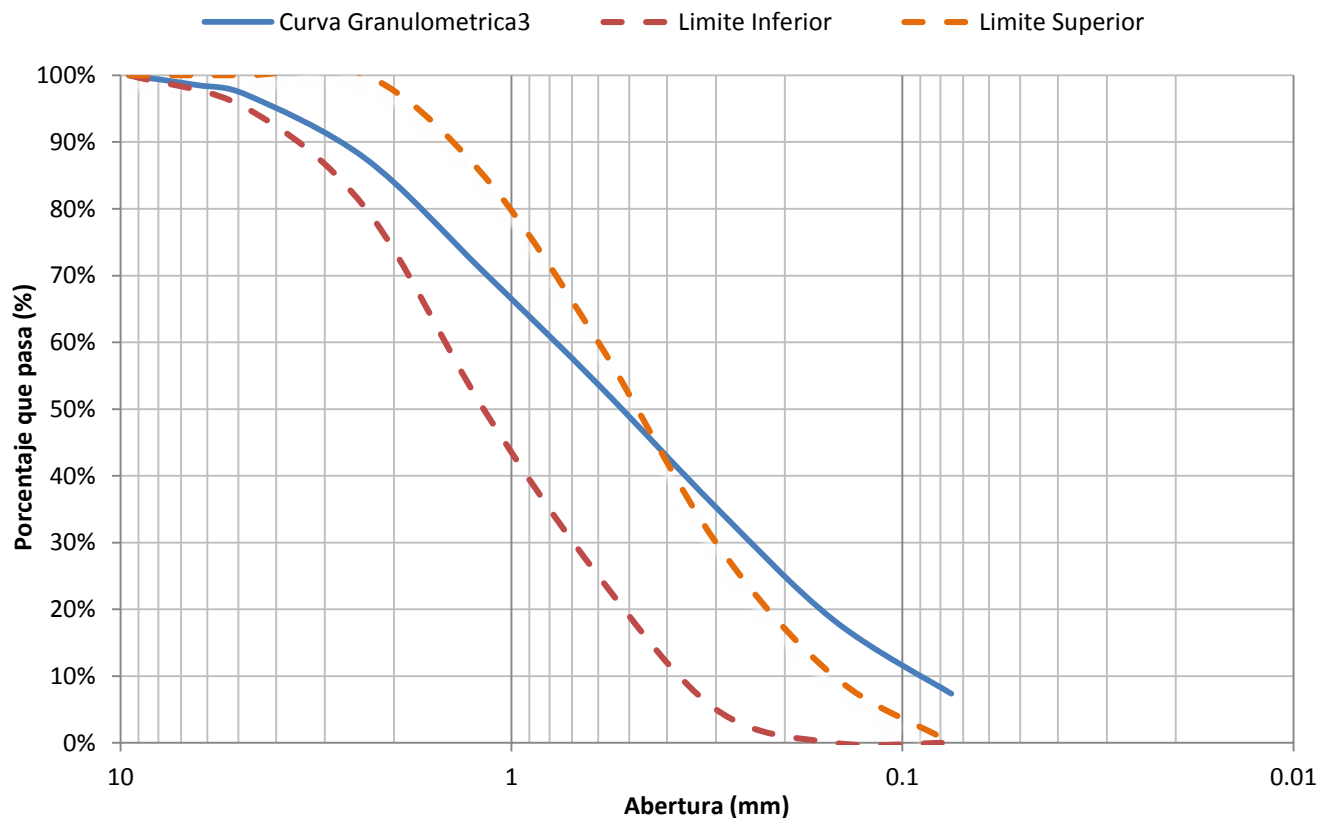


Fig. 4.3. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°3

CURVA GRANULOMÉTRICA PROMEDIO DEL AGREGADO FINO

AGREGADO FINO – PROMEDIO							
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	% Retenido 1	% Retenido 2	% Retenido 3	% Retenido Prom.	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8"	12.7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.525	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	0.60%	0.67%	1.47%	0.91%	0.91%	99.09%
# 4	4.75	1.04%	1.77%	1.47%	1.43%	2.34%	97.66%
# 8	2.36	10.63%	10.54%	9.56%	10.25%	12.59%	87.41%
# 16	1.18	15.58%	16.64%	16.91%	16.38%	28.97%	71.03%
# 30	0.60	15.68%	19.06%	16.91%	17.22%	46.18%	53.82%
# 50	0.30	20.75%	18.86%	18.38%	19.33%	65.51%	34.49%
# 100	0.15	18.70%	15.95%	16.91%	17.19%	82.70%	17.30%
# 200	0.075	11.59%	10.98%	11.03%	11.20%	93.90%	6.10%
Recipiente		5.42%	5.51%	7.35%	6.10%	100.00%	0.00%
					100.00%		

Cuadro 4.4. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Promedio

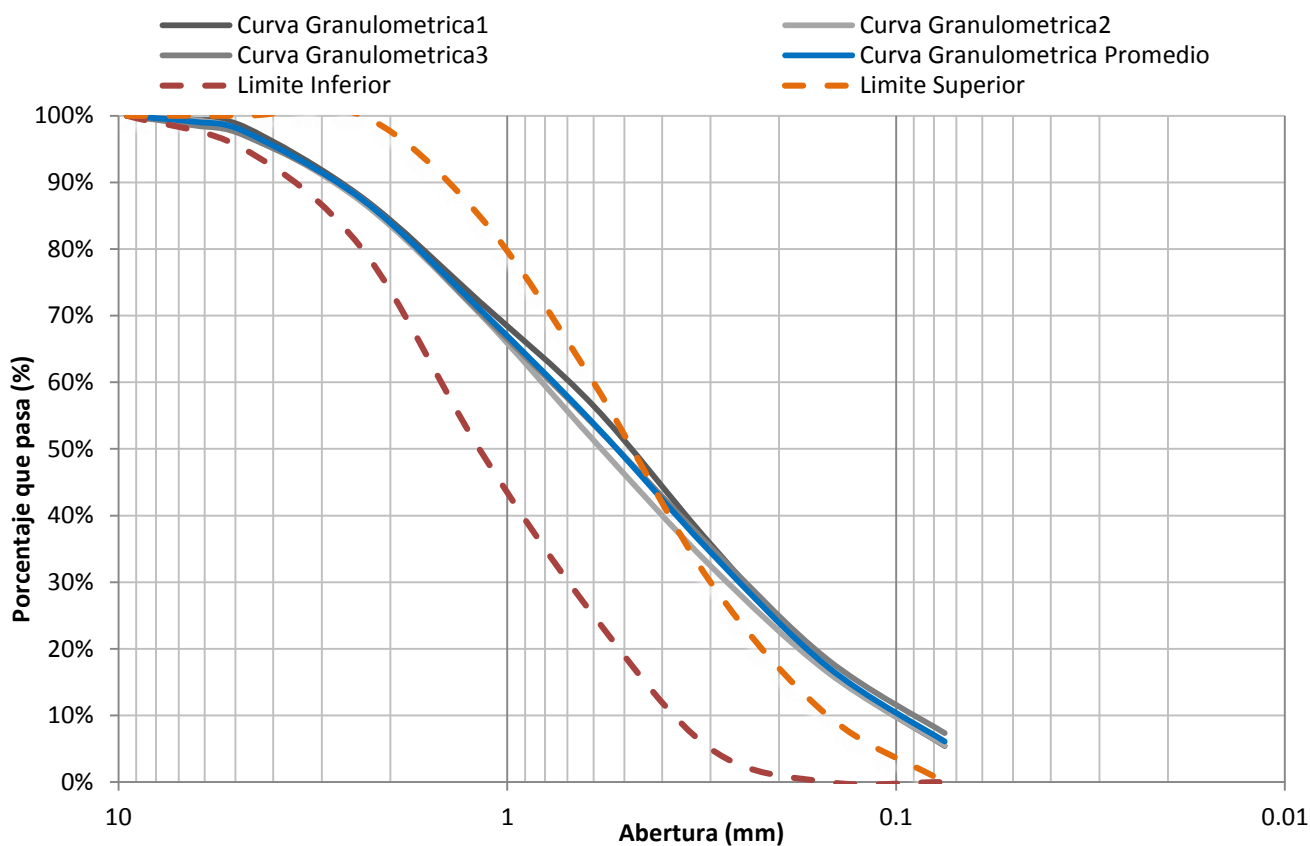


Fig. 4.4. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo Promedio

MÓDULO DE FINEZA

También es conocido como módulo de Finura, es un valor que nos da una idea de las características del agregado sobre su grosor y finura. Para el agregado fino existen ciertos aspectos a considerar:

- El módulo de fineza no debe ser menor que 2.3 ni mayor a 3.1
- La variación del módulo de fineza no debe ser más de 0.2 con respecto a módulo de fineza base
- El rango normal del módulo de finura fluctúa entre 2.5 a 3

También se propone recomendaciones del uso del módulo de finura para distintos tipos de concreto:

Módulo de Finura	Tipo de Concreto
2.2 – 2.8	Concreto de buena trabajabilidad y reducida segregación
2.8 – 3.2	Concreto de alta resistencia

Tabla 4.2. Recomendación del uso del concreto con el módulo de finura del agregado fino

El tener partículas de arena muy finas fuera del rango mencionado generaría un consumo mayor de cemento y agua o por el contrario tener un perfil muy grueso generaría mezclas con poca cohesión y poco manejables, por lo que de no cumplir con los rangos mencionados es posible utilizar el agregado fino cuando se realiza anteriormente pruebas para determinar la combinación óptima con el agregado grueso.

El módulo de fineza del agregado fino se calcula con la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y 6" entre 100 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$M.F._{AF} = \frac{\sum \%Ret. Acum (\#100, \#50, \#30, \#16, \#8, \#4, 3/8'', 3/4'', 1\frac{1}{2}'', 3'' \text{ y } 6'')}{100}$$

ENSAYO N°1

$$M.F._{AF1} = \frac{0 + 1.65 + 12.28 + 27.86 + 43.54 + 64.28 + 82.99}{100} = \frac{232.6}{100}$$

$$M.F._{AF1} = 2.326$$

Ideal para concreto con buena trabajabilidad y reducida segregación

ENSAYO N°2

$$M.F_{AF2} = \frac{0 + 2.44 + 12.99 + 29.63 + 48.69 + 67.55 + 83.50}{100} = \frac{244.8}{100}$$

$$M.F_{AF2} = 2.448$$

Ideal para concreto con buena trabajabilidad y reducida segregación

ENSAYO N°3

$$M.F_{AF3} = \frac{0 + 2.94 + 12.5 + 29.41 + 46.32 + 64.71 + 81.62}{100} = \frac{237.5}{100}$$

$$M.F_{AF3} = 2.375$$

Ideal para concreto con buena trabajabilidad y reducida segregación

MODULO DE FINEZA PROMEDIO

$$M.F_{AF PROM} = \frac{M.F_{AF1} + M.F_{AF2} + M.F_{AF3}}{3}$$

$$M.F_{AF PROM} = \frac{2.326 + 2.448 + 2.375}{3}$$

$$M.F_{AF PROM} = 2.383$$

Ideal para concreto con buena trabajabilidad y reducida segregación

4.1.1.1.2. AGREGADO GRUESO

Para poder realizar el análisis granulométrico debemos escoger una cantidad representativa mínima de muestra seca en función al tamaño máximo nominal, el cual se presenta en la siguiente tabla 4.3 establecida en la norma NTP 400.012.

Teniendo la muestra representativa seca se procederá a utilizar el equipo tamizador de agregado grueso, máquina que permite un zarandeo de agregado, para lograr que las partículas caigan y se distribuyan a lo largo de los tamices colocados de mayor a menor tamaño, el procedimiento dura alrededor de 5 minutos. Es necesario soltar los tornillos de ajuste de las mallas granulométricas antes y después de usar la máquina para evitar daños en la misma.

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Tabla 4.3. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global ⁶⁷



Ilustración 4.3. Agitador de Tamices – Granulometría Agregado Grueso

⁶⁷ (NTP 400.012, 2001, pág. 5)



Ilustración 4.4. Granulometría del Agregado Grueso

De igual manera que el caso anterior, el agregado grueso también cuenta con límites granulométricos propuestas por la norma ASTM C33, para determinar la calidad del mismo, estos límites granulométricos dependen del tamaño máximo nominal, donde se debe verificar que grafica se ajusta más a la curva granulométrica calculada por los ensayos.

En este caso teniendo un TMN de 1'', se toma el tamaño Nro 5 del cuadro propuesto por la norma ASTM C33, el cual se puede ver a continuación encaja adecuadamente con la curva granulométrica resultante del agregado grueso.

Nro. del tamaño del agregado	Tamaño nominal (Tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (Porcentaje en masa)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	300 μ m
		4 in.	3 ½ in.	3 in.	2 ½ in.	2 in.	1 ½ in.	1 in.	¾ in.	1/2 in.	3/8 in.	No. 4	No. 8	No. 16	No. 50
1	90 a 37.5 mm (3 ½ a 1 ½ in.)	100	90 – 100	-	25 – 60	-	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-	-	-
2	63 a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ in.)	-	-	100	90 – 100	35 – 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-	-	-
3	50 a 25.0 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 – 100	35 - 70	0 – 15	-	0 – 5	-	-	-	-	-
357	50 a 4.75 mm (2 in. a No. 4)	-	-	-	100	95 – 100	-	35 - 70	-	10 - 30	-	0 - 5	-	-	-
4	37.5 a 19.0 mm (1 ½ a ¾ in.)	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	-	0 – 5	-	-	-	-
467	37.5 a 4.75 mm (1 ½ a No. 4)	-	-	-	-	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 – 30	0 - 5	-	-	-
5	25.0 a 12.5 mm (1 a ½ in.)	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 – 10	0 – 5	-	-	-	-
56	25.0 a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 – 15	0 - 5	-	-	-
57	25.0 a 4.75 mm (1 in. a No. 4)	-	-	-	-	-	100	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5	-	-
6	19.0 a 9.5 mm (¾ a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	-	-	-
67	19.0 a 4.75 mm (¾ a No. 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-
7	12.5 a 4.75 mm (½ a No. 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	-	-
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 in. a No. 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 – 5	-
89	9.5 a 1.18 mm (3/8 in. a No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	5 - 30	0 - 10	0 – 5
9	4.75 a 1.18 mm (No. 4 a No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 - 100	10 - 40	0 - 10	0 – 5

Tabla 4.4. Requisitos de gradación del Agregado Grueso – ASTM⁶⁸

⁶⁸ (ASTM C33)

ENSAYO N°1

AGREGADO GRUESO - ENSAYO 1					
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	Pasante
2 ½"	63.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 ½"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	1129.00	9.13%	9.13%	90.87%
¾"	19.05	6266.00	50.68%	59.81%	40.19%
½"	12.7	4373.00	35.37%	95.17%	4.83%
⅜"	9.525	475.00	3.84%	99.01%	0.99%
¼"	6.35	116.00	0.94%	99.95%	0.05%
# 4	4.75	6.00	0.05%	100.00%	0.00%
# 8	2.36	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
# 16	1.18	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Recipiente		0.00	0.00%	100.00%	0.00%
		12365.00	100.00%		

Cuadro 4.5. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N°1

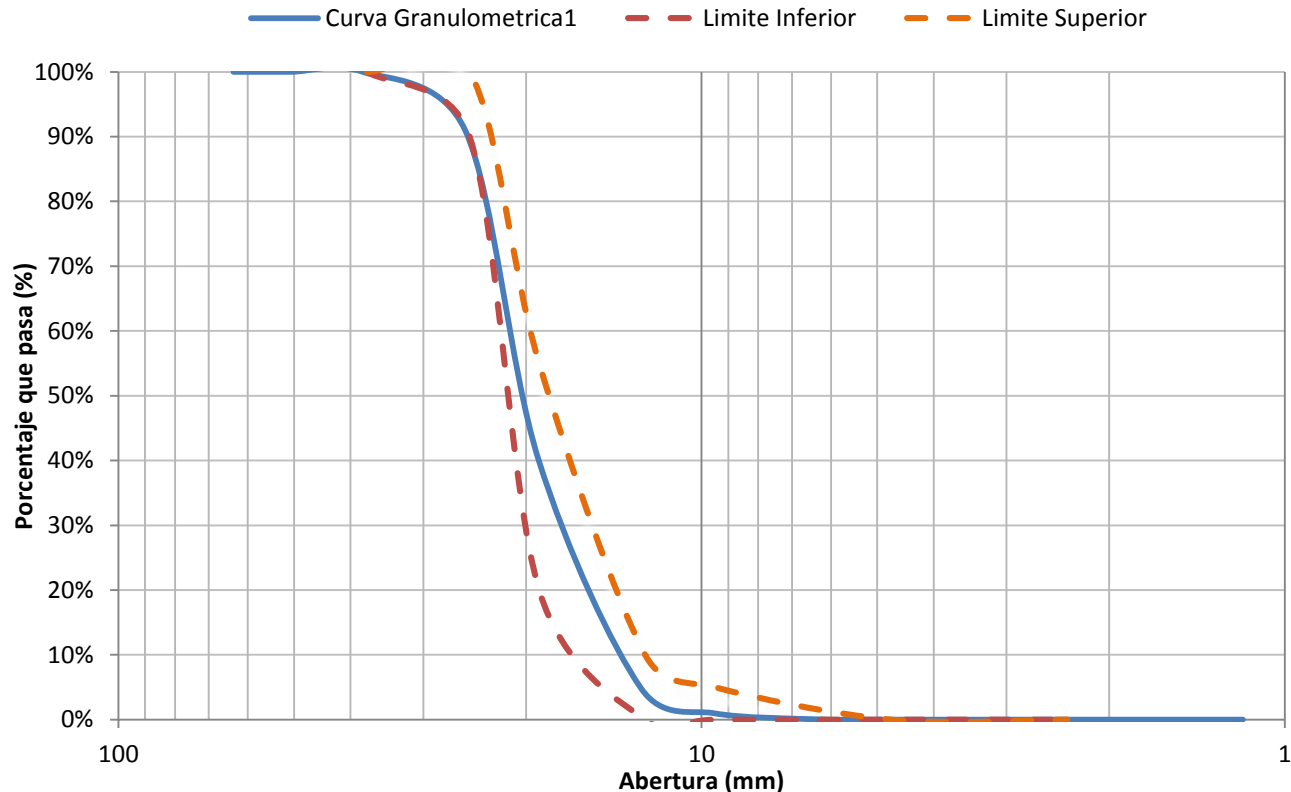


Fig. 4.5. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°1

ENSAYO N°2

AGREGADO GRUESO - ENSAYO 2					
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	Pasante
2 ½"	63.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 ½"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	1069.00	9.14%	9.14%	90.86%
¾"	19.05	5827.00	49.84%	58.99%	41.01%
½"	12.7	4112.00	35.17%	94.16%	5.84%
⅜"	9.525	498.00	4.26%	98.42%	1.58%
¼"	6.35	167.00	1.43%	99.85%	0.15%
# 4	4.75	18.00	0.15%	100.00%	0.00%
# 8	2.36	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
# 16	1.18	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Recipiente		0.00	0.00%	100.00%	0.00%
		11691.00	100.00%		

Cuadro 4.6. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N°2

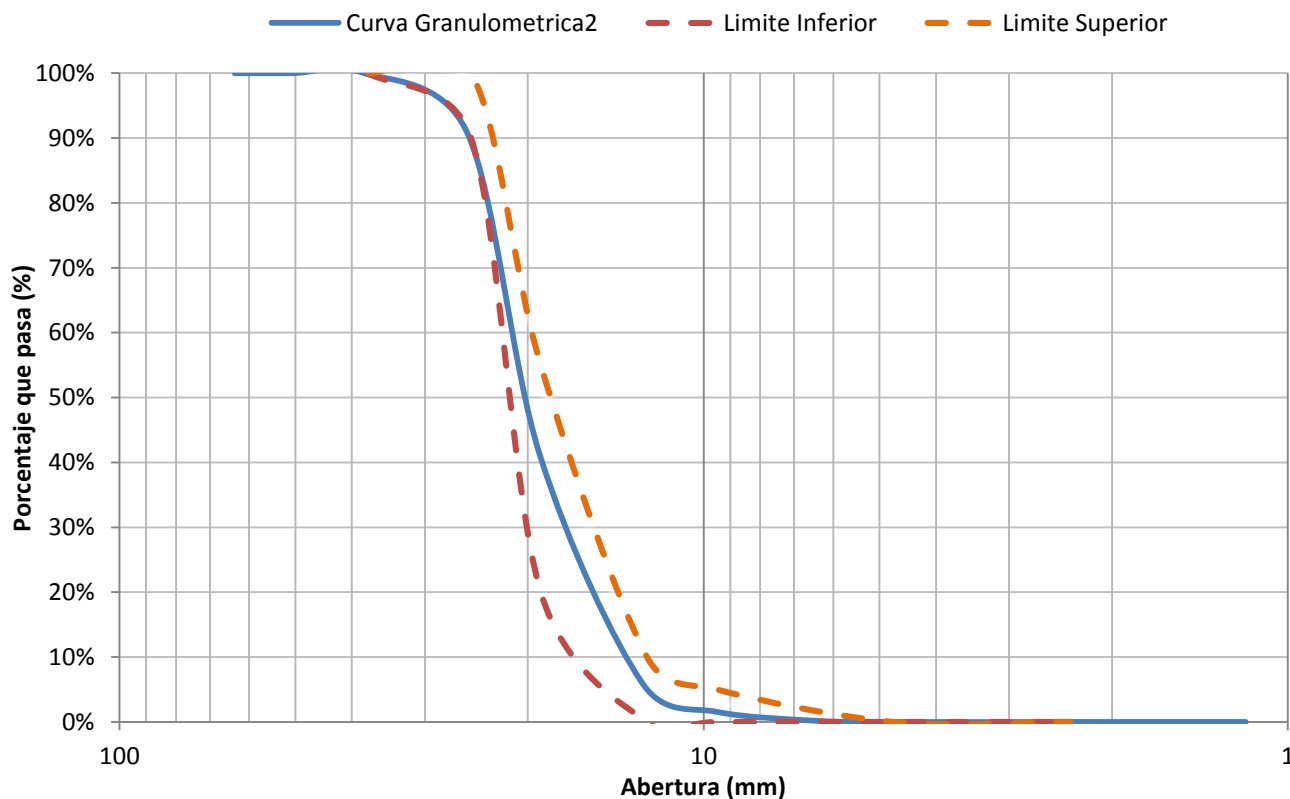


Fig. 4.6. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°2

ENSAYO N°3

AGREGADO GRUESO - ENSAYO 3					
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	Pasante
2 ½"	63.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 ½"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	1068.00	9.98%	9.98%	90.02%
¾"	19.05	4942.00	46.17%	56.15%	43.85%
½"	12.7	3880.00	36.25%	92.40%	7.60%
⅜"	9.525	541.00	5.05%	97.45%	2.55%
¼"	6.35	248.00	2.32%	99.77%	0.23%
# 4	4.75	25.00	0.23%	100.00%	0.00%
# 8	2.36	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
# 16	1.18	0.00	0.00%	100.00%	0.00%
Recipiente		0.00	0.00%	100.00%	0.00%
		10704.00	100.00%		

Cuadro 4.7. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N°3

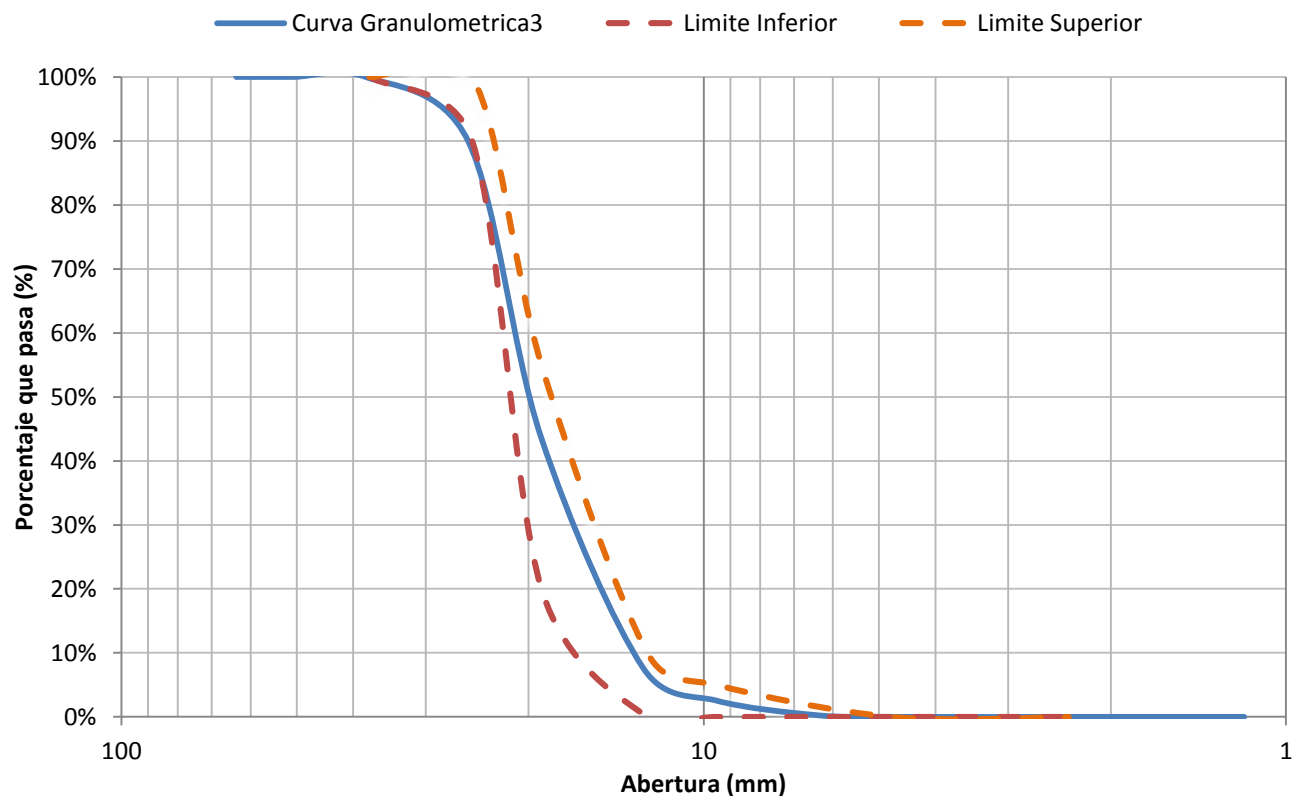


Fig. 4.7. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°3

CURVA GRANULOMÉTRICA PROMEDIO DEL AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO – PROMEDIO							
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	% Retenido 1	% Retenido 2	% Retenido 3	% Retenido Prom.	% Retenido Acumulado	% Pasante
2 ½"	63.5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 ½"	37.5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	9.13%	9.14%	9.98%	9.42%	9.42%	90.58%
¾"	19.05	50.68%	49.84%	46.17%	48.90%	58.31%	41.69%
½"	12.7	35.37%	35.17%	36.25%	35.60%	93.91%	6.09%
⅜"	9.525	3.84%	4.26%	5.05%	4.39%	98.29%	1.71%
¼"	6.35	0.94%	1.43%	2.32%	1.56%	99.85%	0.15%
# 4	4.75	0.05%	0.15%	0.23%	0.15%	100.00%	0.00%
# 8	2.36	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%
# 16	1.18	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%
Recipiente		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%
					100.00%		

Cuadro 4.8. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Promedio

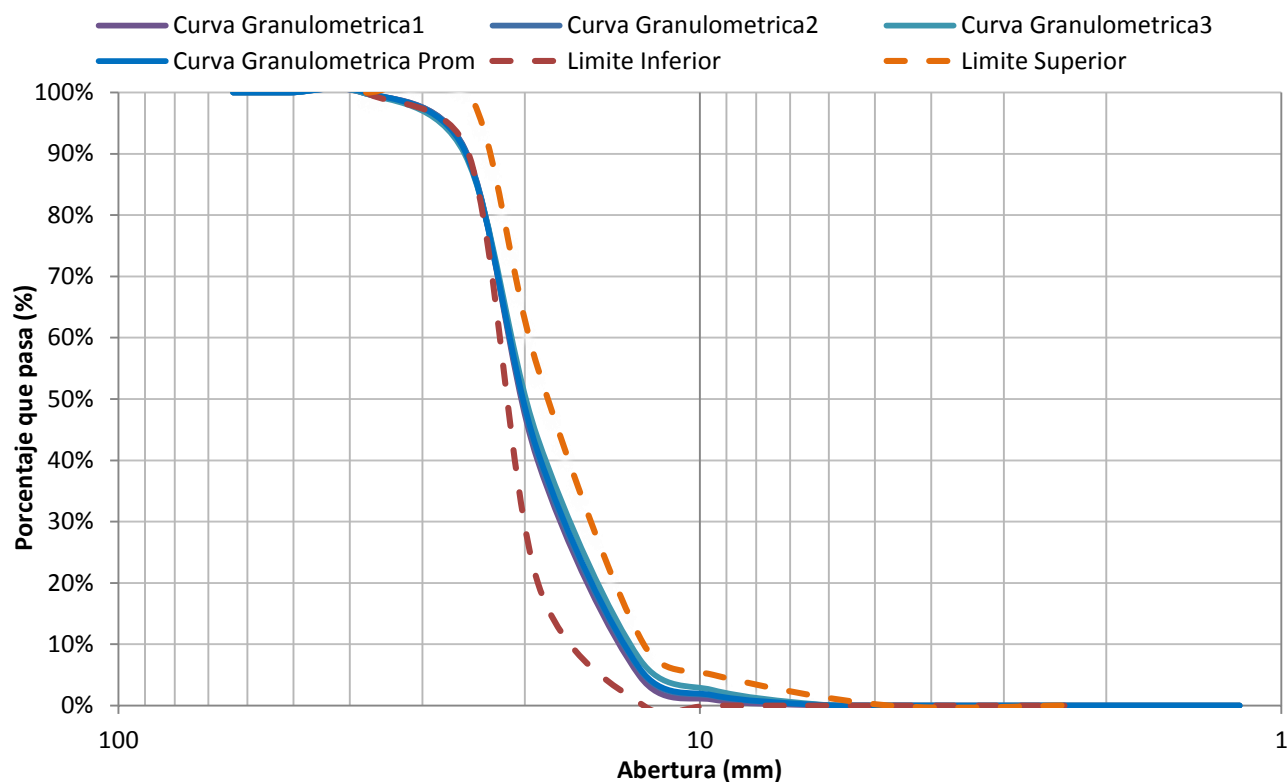


Fig. 4.8. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo Promedio

MÓDULO DE FINEZA

El módulo de fineza del agregado grueso se calcula con la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y 6" entre 100 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$M.F._{AG} = \frac{\sum \%Ret. Acum (\#100, \#50, \#30, \#16, \#8, \#4, 3/8'', 3/4'', 1 \frac{1}{2}'', 3'' \text{ y } 6'')}{100}$$

ENSAYO N°1

$$M.F._{AG1} = \frac{0 + 59.81 + 99.01 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100} = \frac{758.8}{100}$$

$$M.F._{AG1} = 7.588$$

ENSAYO N°2

$$M.F._{AG2} = \frac{0 + 58.99 + 98.42 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100} = \frac{757.4}{100}$$

$$M.F._{AG2} = 7.574$$

ENSAYO N°3

$$M.F._{AG3} = \frac{0 + 56.15 + 97.45 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100} = \frac{753.6}{100}$$

$$M.F._{AG3} = 7.536$$

MÓDULO DE FINEZA PROMEDIO

$$M.F._{AG PROM} = \frac{M.F._{AG1} + M.F._{AG2} + M.F._{AG3}}{3}$$

$$M.F._{AG PROM} = \frac{7.588 + 7.574 + 7.536}{3}$$

$$M.F._{AG PROM} = 7.566$$

También Se identificare el TMN y TM de acuerdo a sus definiciones antes mencionadas y tras la revisión de cuadro promedio del agregado grueso se tiene lo siguiente:

TAMAÑO MÁXIMO (TM)= 1 1/2"

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN) = 1 "

4.1.1.2 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO

Es la propiedad de los agregados que determinan el peso real de la mezcla, se obtiene tras una división del peso total de las partículas entre el volumen total (sin considerar los espacios vacíos). Las normas que describen el procedimiento para hallar el peso específico seco, saturado superficialmente seco, aparente y absorción a las 24 horas son los siguientes

- NTP 400.022. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
- ASTM C-128. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.

El valor del peso específico sirve como referencia de la calidad del agregado, siendo este un valor alto cuando el agregado tiene un buen comportamiento y de un valor bajo cuando el agregado es deficiente, absorbente o presenta características débiles.

PROCEDIMIENTO

- Se escoge una muestra representativa de aproximadamente 1000 gr. de agregado fino seco (en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta llegar a una masa constante).
- La muestra seca se coloca en un recipiente impermeable y se cubre totalmente con agua durante 24 horas.



Ilustración 4.5. Agregado Fino reposando en agua por 24 horas

- Pasado este tiempo, se saca el agregado fino y se deja secar en una superficie plana hasta que las partículas no se adhieran marcadamente entre sí.
- Se procede a realizar la prueba de absorción, colocando el agregado fino en el molde cónico que será golpeado en la superficie suavemente al dejar caer un apisonador (barra de metal) distribuidas uniformemente 25 veces. Cada golpe debe comenzar aproximadamente 5mm encima del borde del molde cónico.



Ilustración 4.6. Prueba de Absorción del Agregado Fino

- Seguido se limpiara los excesos salientes de los costados y se levantara el molde verticalmente. Si el agregado aún está en estado húmedo la consistencia será firme y sin derrumbes manteniendo su forma inicial, de ser así se seguirá secando y repitiendo esta prueba hasta que al levantar el molde cónico, el agregado quede en forma cónica sin llegar a desmoronarse, este es el indicador de que el agregado fino alcanzo una condición saturada superficialmente seca.



Ilustración 4.7. Prueba de Absorción del Agregado Fino en condición saturada superficialmente seca

- Se pesara un picnómetro o fiola graduada vacía y posteriormente se colocara 500 gr. De la muestra de agregado fino superficialmente seca obtenido anteriormente, y se añadirá agua hasta casi alcanzar la marca de 500 ml.
- Se realizaran giros circulares para eliminar todas las burbujas de aire presentes en la muestra, se dejara reposar por 15 minutos o hasta que las partículas se asienten y se completara el agua hasta la marca de 500 ml, se deja reposar por una hora para luego pesar el picnómetro o fiola.



Ilustración 4.8. Ensayo de Peso específico del Agregado Fino

- Para finalizar se sacara el agregado fino de la fiola y se colocara en un recipiente con peso conocido más la muestra, y se secara en un horno de 110 ± 5 °C, por 24 horas para luego dejar enfriar a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ horas y pesar la muestra seca.

Del procedimiento anterior se pueden obtener los siguientes datos al realizar la prueba tres veces para un resultado de mayor confiabilidad.

AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
P2	Peso del Picnómetro vacío	gr.	160
V	Volumen del Picnómetro	ml.	500
Wss 1	Peso de muestra SSS 1	gr.	500
Wss 2	Peso de muestra SSS 2	gr.	500
Wss 3	Peso de muestra SSS 3	gr.	500
P1 1	Peso del picnómetro + agua + muestra 1	gr.	952
P1 2	Peso del picnómetro + agua + muestra 2	gr.	954
P1 3	Peso del picnómetro + agua + muestra 3	gr.	950
Va 1	Agua añadida al picnómetro 1	gr.	292
Va 2	Agua añadida al picnómetro 2	gr.	294
Va 3	Agua añadida al picnómetro 3	gr.	290
Wo 1	Peso de muestra seca 1	gr.	485.2
Wo 2	Peso de muestra seca 2	gr.	487.7
Wo 3	Peso de muestra seca 3	gr.	486.9

Cuadro 4.9. Prueba de peso específico del agregado fino

CÁLCULOS

4.1.1.2.1. PESO ESPECIFICO DE MASA (Pem)

También es conocido como gravedad específica normal o nominal, es la relación entre el peso de las partículas del agregado con el volumen unitario del material permeable (incluye poros permeables e impermeables naturales del agregado).

$$Pem = \frac{Wo}{(V - Va)}$$

Donde Va se determina de la siguiente manera:

$$Va = P1 - P2 - Wss$$

Dónde:

Wo (gr) = Peso de la muestra seca

V (ml) = Volumen del picnómetro (500 ml)

Va (cm³) = Peso o volumen del agua añadida al picnómetro

P1 = Peso del picnómetro + muestra + agua hasta la marca

P2 = Peso del picnómetro vacío

Wss (gr) = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (500 gr)

PESO ESPECIFICO DE MASA			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
Pem 1	Peso específico 1	gr/cm3	2.333
Pem 2	Peso específico 2	gr/cm3	2.367
Pem 3	Peso específico 3	gr/cm3	2.319
Pem	PESO ESPECIFICO DE MASA PROM	gr/cm3	2.340

Cuadro 4.10. Peso específico de masa del agregado fino

4.1.1.2.2. PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)

Es la relación entre el peso total de las partículas del agregado con el volumen unitario del agregado cuando todos sus poros internos están llenos de agua, después de ser sumergido 24 horas en agua.

$$SSS = \frac{Wss}{V - Va} * 100$$

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
SSS 1	Peso específico SSS 1	gr/cm3	2.404
SSS 2	Peso específico SSS 2	gr/cm3	2.427
SSS 3	Peso específico SSS 3	gr/cm3	2.381
SSS	PESO ESPECÍFICO SSS PROM	gr/cm3	2.404

Cuadro 4.11. Peso específico saturado superficialmente seco del agregado fino

4.1.1.2.3. PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pea)

Conocido como gravedad específica aparente o relativa, es la relación entre el peso de las partículas del agregado con el volumen unitario de la porción impermeable del agregado.

$$Pea = \frac{W_o}{(V - V_a) - (W_{ss} - W_o)} * 100$$

PESO ESPECÍFICO APARENTE			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
Pea 1	Peso específico aparente 1	gr/cm3	2.511
Pea 2	Peso específico aparente 2	gr/cm3	2.518
Pea 3	Peso específico aparente 3	gr/cm3	2.473
Pea	PESO ESPECÍFICO APARENTE PROM	gr/cm3	2.501

Cuadro 4.12. Peso específico aparente del agregado fino

4.1.1.2.3. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado cuando ha sido sumergido 24 horas, se expresa en porcentaje del peso seco.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W_{ss} - W_o}{W_o} * 100$$

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
%Abs1	Porcentaje de Absorción 1	%	3.050%
%Abs1	Porcentaje de Absorción 2	%	2.522%
%Abs1	Porcentaje de Absorción 3	%	2.690%
%Abs	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	2.754%

Cuadro 4.13. Porcentaje de absorción del agregado fino

4.1.1.3 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO

Las normas que describen el procedimiento para hallar el peso específico seco, saturado superficialmente seco, aparente y absorción a las 24 horas son los siguientes.

- NTP 400.021 “Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso”
- ASTM C-127 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate”

El valor del peso específico sirve como referencia de la calidad del agregado, siendo este un valor alto cuando el agregado tiene un buen comportamiento y de un valor bajo cuando el agregado es deficiente, absorbente o presenta características débiles.

Las normas anteriores no son aplicables para agregados ligeros debido a que cuando es sumergido 24 horas en agua, no se puede asegurar que todos los poros del agregado se llenen de agua.

PROCEDIMIENTO

- Escoger una muestra mínima representativa de acuerdo a la siguiente tabla especificada en la norma. En este caso al ser el TMN 1'', la muestra mínima para realizar el ensayo es de 4 kg.

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso mínimo de la Muestra de Ensayo kg (lb)
12.5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19.0 (3/4)	3 (6,6)
25.0 (1)	4 (8,8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 ½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

Tabla 4.5. Peso mínimo de la muestra de ensayo ⁶⁹

⁶⁹ (NTP 400.021, 2002, pág. 5)

- Tamizar la muestra escogida de agregado grueso por el tamiz #4, toda partícula que pase será descartada del ensayo.
- Se lavara el agregado para eliminar material fino como polvo u otras impurezas superficiales. Se secara la muestra en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta llegar a un peso constante y se dejara el agregado en lapso de 1 a 3 horas a temperatura ambiente hasta que sea cómoda al tacto.
- Seguido se sumergirá el agregado en agua por un lapso de 24 horas (± 4 horas).



Ilustración 4.9. Agregado Grueso reposando en agua 24 horas

- Se sacara la muestra de agregado del agua para colocarla en una superficie plana, y con la ayuda de un paño absorbente se llegara a una condición de saturado superficialmente seco, que se notara cuando el agregado pierda el brillo superficial. Luego se obtiene el peso del agregado en esta condición.



Ilustración 4.10. Agregado Grueso en estado saturado y estado saturado superficialmente seco

- Se pesa la canastilla de alambre sumergida en agua, para luego agregarle la muestra de agregado saturado superficialmente seco y sumergirlo procurando moverlo para eliminar el aire atrapado entre las partículas, y se pesa la muestra saturada en agua.



Ilustración 4.11. Prueba de ensayo de peso específico del Agregado Grueso

- Se deja secar la muestra en un horno con temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta conseguir una masa constante, luego se deja enfriar de 1 a 3 horas, para pesarlo en condición seca.

Del procedimiento anterior se pueden obtener los siguientes datos al realizar la prueba tres veces para un resultado de mayor confiabilidad.

AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
P2	Peso de la canastilla sumergida en agua	Gr	590
Wss 1	Peso de muestra SSS 1	Gr	5000
Wss 2	Peso de muestra SSS 2	Gr	5000
Wss 3	Peso de muestra SSS 3	Gr	5000
	Peso de canastilla + muestra sumergida 1	Gr	3765
	Peso de canastilla + muestra sumergida 2	gr	3755
	Peso de canastilla + muestra sumergida 3	gr	3759
Wsa 1	Peso de la muestra sumergida en agua 1	gr	3175
Wsa 2	Peso de la muestra sumergida en agua 2	gr	3165
Wsa 3	Peso de la muestra sumergida en agua 3	gr	3169
Wo 1	Peso de muestra seca 1	gr	4976.2
Wo 2	Peso de muestra seca 2	gr	4971.3
Wo 3	Peso de muestra seca 3	gr	4975.8

Cuadro 4.14. Prueba de peso específico del agregado grueso

CÁLCULOS

4.1.1.3.1. PESO ESPECÍFICO DE MASA (Pem)

$$Pem = \frac{Wo}{(W_{ss} - W_{sa})} * 100$$

Dónde:

Wo (gr) = Peso de la muestra seca

Wss (gr) = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

Wsa (gr) = Peso de la muestra sumergida en agua

PESO ESPECÍFICO DE MASA			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
Pem 1	Peso específico 1	gr/cm ³	2.727
Pem 2	Peso específico 2	gr/cm ³	2.709
Pem 3	Peso específico 3	gr/cm ³	2.718
Pem	PESO ESPECÍFICO DE MASA PROM	gr/cm³	2.718

Cuadro 4.15. Peso específico de masa del agregado grueso

4.1.1.3.2. PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)

$$SSS = \frac{W_{ss}}{W_{ss} - W_{sa}} * 100$$

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
SSS 1	Peso específico SSS 1	gr/cm ³	2.740
SSS 2	Peso específico SSS 2	gr/cm ³	2.725
SSS 3	Peso específico SSS 3	gr/cm ³	2.731
SSS	PESO ESPECÍFICO SSS PROM	gr/cm³	2.732

Cuadro 4.16. Peso específico saturado superficialmente seco del agregado grueso

4.1.1.3.3. PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pea)

$$Pea = \frac{W_o}{W_o - W_{sa}} * 100$$

PESO ESPECÍFICO APARENTE			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
Pea 1	Peso específico aparente 1	gr/cm3	2.763
Pea 2	Peso específico aparente 2	gr/cm3	2.752
Pea 3	Peso específico aparente 3	gr/cm3	2.754
Pea	PESO ESPECÍFICO APARENTE PROM	gr/cm3	2.756

Cuadro 4.17. Peso específico aparente del agregado grueso

4.1.1.3.4. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W_{ss} - W_o}{W_o} * 100$$

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
%Abs1	Porcentaje de Absorción 1	%	0.478%
%Abs1	Porcentaje de Absorción 2	%	0.577%
%Abs1	Porcentaje de Absorción 3	%	0.486%
%Abs	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	0.514%

Cuadro 4.18. Porcentaje de absorción del agregado grueso

El peso específico que se utiliza en el cálculo de diseño de mezcla es el “Peso específico de masa” debido a que este considera los poros permeables e impermeables naturales del agregado, ya que en el momento de la mezcla de los componentes el agregado primero se satura, es decir que primero se llenan de agua todos sus poros permeables y el agua sobrante es la que reaccionara con el cemento.⁷⁰

⁷⁰ (Rivera López, 2006, pág. 64)

4.1.1.4 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

El ensayo para determinar el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y del fino así como el porcentaje de vacíos en los agregados se encuentra en las siguientes normas:

- NTP 400.017 AGREGADOS. Método de Ensayo para determinar el peso Unitario del agregado
- ASTM C-29 Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate
- MTC E-203 Peso unitario y Vacíos de los agregados

4.1.1.4.1. PESO UNITARIO SUELTO

El peso unitario determinara la cantidad de material seco que entra suavemente en un recipiente, este es importante porque con este dato podemos conocer el consumo de agregados por metro cubico, además representa a los agregados en el momento de su transporte y almacenamiento los cuales estarán en estado suelto.

PROCEDIMIENTO

- Para realizar el ensayo se necesita una muestra representativa aproximadamente de 125% a 200% de la cantidad necesaria para llenar el molde. La selección del molde se escogerá de acuerdo a la siguiente tabla de recomendación especificada en la norma NTP 400.017. Con los componentes utilizados se usara el envase de medida $1/3 p^3$ para el agregado grueso ($TMN = 1''$) y de $1/10 p^3$ para el agregado fino.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DE LA MEDIDA	
Mm	Pulgadas	L (m^3)	p^3
12.5	$\frac{1}{2}$	2.8 (0.0028)	1/10
25.0	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	$1 \frac{1}{2}$	14.0 (0.014)	$\frac{1}{2}$
75.0	3	28.0 (0.028)	1
112.0	$4 \frac{1}{2}$	70.0 (0.070)	$2 \frac{1}{2}$
150.0	6	100.0 (0.100)	$3 \frac{1}{2}$

Tabla 4.6. Capacidad de la medida ⁷¹

⁷¹ (NTP 400.017, 1999, pág. 8)

- El agregado fino y grueso se colocara en el horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para que este en estado seco con masa constante.
- Con una cuchara se colocara cuidadosamente el agregado fino o grueso a una altura no mayor de 50 mm (2'') por encima de la parte superior del molde.
- Con una barra usada como regla, se eliminara el sobrante del agregado.
- Se pesa del agregado en el molde, para determinar el peso unitario suelto.



Ilustración 4.12. Prueba de Peso unitario suelto del Agregado Fino y Grueso

CÁLCULOS

$$P.U. \text{ Suelto} = \frac{G - T}{V}$$

Dónde:

$G \text{ (kg/m}^3\text{)} = \text{Peso del agregado más el molde}$

$T \text{ (kg/m}^3\text{)} = \text{Peso del molde}$

$V \text{ (m}^3\text{)} = \text{Volumen del molde}$

AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT.
T	Peso del molde	gr.	1604
V	Volumen del molde	p ³	1/10
V	Volumen del molde	cm ³	2831.685
G1	Peso del agregado + molde 1	gr.	5595
G2	Peso del agregado + molde 2	gr.	5586
G3	Peso del agregado + molde 3	gr.	5592
	Peso del agregado 1	gr.	3991
	Peso del agregado 2	gr.	3982
	Peso del agregado 3	gr.	3988
	PROMEDIO	gr.	3987
P.U. SUELTO		gr/cm ³	1.408
P.U. SUELTO		kg/m ³	1407.996

Cuadro 4.19. Peso Unitario Suelto del agregado fino

AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT.
T	Peso del molde	gr.	5193
V	Volumen del molde	p ³	1/3
V	Volumen del molde	cm ³	9438.951
G1	Peso del agregado + molde 1	gr.	18092
G2	Peso del agregado + molde 2	gr.	18058
G3	Peso del agregado + molde 3	gr.	17983
	Peso del agregado 1	gr.	12899
	Peso del agregado 2	gr.	12865
	Peso del agregado 3	gr.	12790
	PROMEDIO	gr.	12851
P.U. SUELTO		gr/cm ³	1.362
P.U. SUELTO		kg/m ³	1361.521

Cuadro 4.20. Peso Unitario Suelto del agregado grueso

4.1.1.4.2. PESO UNITARIO COMPACTADO

El peso unitario compactado determinara la cantidad de partículas que pueden entrar en un determinado molde, cuando este es sometido a fuerzas externas de compactación que logra un acomodamiento de partículas.

Este dato es importante en el diseño de mezclas ya que determina el volumen absoluto de los agregados en la mezcla de concreto, que recibe un proceso de compactación durante su colocación en obra.

PROCEDIMIENTO

- Para realizar el ensayo se necesita una muestra representativa aproximadamente de 125% a 200% de la cantidad necesario para llenar el molde. La selección del molde se determinara de la misma manera que peso unitario suelto.
- El agregado fino y grueso se colocara en el horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para que este en estado seco con masa constante.
- Se colocara el agregado a un tercio del total del recipiente, este se nivelara con las manos y se apisonara con una barra compactadora de acero con punta semiesférica de $5/8''$ de diámetro y de 60 cm de longitud, realizando 25 golpes sin que choque la base del molde. La segunda capa se colocara de la misma manera apisonándolo con 25 golpes, sin llegar a penetrar la capa anterior.
- Para finalizar se coloca la última capa hasta que se rebalse y se compacta con 25 golpes, después se usa la misma barra como regla para eliminar los excesos de agregado.
- Se mide el peso del agregado en el molde, para determinar el peso unitario compactado



Ilustración 4.13. Prueba de Peso unitario compactado del Agregado Fino



Ilustración 4.14. Prueba de Peso unitario compactado del Agregado Grueso

CÁLCULOS

$$P.U. Compactado = \frac{G - T}{V}$$

Dónde:

G (kg/m³) = Peso del agregado más el molde

T (kg/m³) = Peso del molde

V (m³) = Volumen del molde

AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
T	Peso del molde	Gr	1604
V	Volumen del molde	p ³	1/10
V	Volumen del molde	cm ³	2831.685
G1	Peso del agregado + molde 1	Gr	6259
G2	Peso del agregado + molde 2	Gr	6265
G3	Peso del agregado + molde 3	Gr	6295
	Peso del agregado 1	Gr	4655
	Peso del agregado 2	Gr	4661
	Peso del agregado 3	Gr	4691
	PROMEDIO	Gr	4669
P.U. COMPACTADO		gr/cm ³	1.649
P.U. COMPACTADO		kg/m ³	1648.842

Cuadro 4.21. Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
T	Peso del molde	Gr	5193
V	Volumen del molde	p ³	1/3
V	Volumen del molde	cm ³	9438.951
G1	Peso del agregado + molde 1	Gr	19716
G2	Peso del agregado + molde 2	Gr	19937
G3	Peso del agregado + molde 3	Gr	19712
	Peso del agregado 1	Gr	14523
	Peso del agregado 2	Gr	14744
	Peso del agregado 3	Gr	14519
	PROMEDIO	Gr	14595
P.U. COMPACTADO		gr/cm ³	1.546
P.U. COMPACTADO		kg/m ³	1546.288

Cuadro 4.22. Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

4.1.1.4.3. CONTENIDO DE VACÍOS

El contenido de vacíos es el espacio libre que existe entre las partículas de los agregados y se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{ Vacios} = \frac{(S * W) - P.U.}{S * W} * 100$$

Dónde:

P.U. (kg/m³) = Peso unitario suelto o compactado

S (kg/m³) = Peso específico del agregado fino o grueso

W (kg/m³) = Densidad del agua 998 kg/m³

AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
P.U.S	Peso unitario Suelto	kg/m ³	1407.996
P.U.C	Peso unitario Compactado	kg/m ³	1648.842
S	Peso específico del agregado	kg/m ³	2.340
W	Densidad del agua	kg/m ³	998
% VACIOS (P.U. SUELTO)			39.70%
% VACIOS (P.U. COMPACTADO)			29.38%

Cuadro 4.23. Porcentaje de vacíos del Agregado Fino

AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
P.U.S	Peso unitario Suelto	kg/m ³	1361.521
P.U.C	Peso unitario Compactado	kg/m ³	1546.288
S	Peso específico del agregado	kg/m ³	2.718
W	Densidad del agua	kg/m ³	998
% VACIOS (P.U. SUELTO)			49.80%
% VACIOS (P.U. COMPACTADO)			42.99%

Cuadro 4.24. Porcentaje de vacíos del Agregado Grueso

4.1.1.5. CANTIDAD DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ #200

Este ensayo nos permitirá saber la estabilidad de los agregados con respecto a su porcentaje de partículas finas que pasan el tamiz #200, estas partículas que se encuentran en la superficie de los agregados son perjudiciales para las propiedades requeridas del concreto o mortero.

En la norma ASTM C33 y NTP 400.37, sobre las especificaciones de los agregados, determinan un límite de porcentaje recomendado de partículas finas que pasan el tamiz #200, de la siguiente manera:

- Agregado fino: hasta 3% - 5%
- Agregado grueso: hasta 1%
- Agregado grueso triturado: hasta 1.5%

Las normas que describe el procedimiento para determinar el porcentaje de partículas que pasan el tamiz #200, son los siguientes:

- NTP 400.018 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (Nº 200) por lavado en agregados.
- ASTM C-117. Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing

PROCEDIMIENTO

El procedimiento es aplicable a ambos agregados fino y grueso por separado.

- Se escogerá una muestra representativa seca de agregado, de acuerdo con la siguiente tabla de pesos mínimos especificada en la norma NTP 400.018.

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, gr
4,75 mm (No 4) o más pequeño	300
9.5 mm (3/8 pulg.)	1 000
19 mm (3/4 pulg.)	2 500
37.5 mm (1 ½ pulg.) o más grande	5 000

Tabla 4.7. Cantidad mínima de muestra.⁷²

- Una vez obtenida la muestra seca a utilizar, se colocara en un recipiente con agua hasta cubrirla totalmente, se agitara el recipiente a fin de que el agua penetre entre todas las partículas.
- Se elimina el agua con las partículas disueltas en suspensión a través de dos mallas consecutivas (#200 y #16), para evitar la pérdida de partículas mayores a 75 μm .
- Se repite el proceso hasta que el agua después de ser agitada con el agregado quede totalmente clara. Luego se añadirá el agregado retenido en las mallas al agregado total ensayado.
- Se colocara el agregado en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta conseguir una masa constante, una vez conseguido se pesa el agregado en condición seca.



Ilustración 4.15. Prueba de Cantidad de Finos que pasan la Malla #200 - Agregado Fino

⁷² (NTP 400.018, 2002, pág. 4)



Ilustración 4.16. Prueba de Cantidad de Finos que pasan la Malla #200 - Agregado Grueso

CÁLCULOS

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

Dónde:

A (%) = Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz #200 por vía húmeda.

P₁ (gr) = Peso seco de la muestra antes del ensayo

P₂ (gr) = Peso seco de la muestra después del ensayo

4.1.1.5.1. AGREGADO FINO

AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
P ₁ 1	Peso seco de la muestra antes del ensayo 1	gr.	400.00
P ₁ 2	Peso seco de la muestra antes del ensayo 2	gr.	400.00
P ₁ 3	Peso seco de la muestra antes del ensayo 3	gr.	400.00
P ₂ 1	Peso seco de la muestra después del ensayo 1	gr.	386.20
P ₂ 2	Peso seco de la muestra después del ensayo 2	gr.	385.00
P ₂ 3	Peso seco de la muestra después del ensayo 3	gr.	388.30
A ₁	Porcentaje de material más fino que #200	%	3.45%
A ₂	Porcentaje de material más fino que #200	%	3.75%
A ₃	Porcentaje de material más fino que #200	%	2.93%
A	% DE MATERIAL MÁS FINO QUE #200	%	3.38%

Cuadro 4.25. Porcentaje de material que pasa el tamiz #200 – Agregado Fino

4.1.1.5.2. AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCIÓN		UNID	CANT
P ₁ 1	Peso seco de la muestra antes del ensayo 1	Gr	4000.00
P ₁ 2	Peso seco de la muestra antes del ensayo 2	Gr	4000.00
P ₁ 3	Peso seco de la muestra antes del ensayo 3	Gr	4000.00
P ₂ 1	Peso seco de la muestra después del ensayo 1	Gr	3998.00
P ₂ 2	Peso seco de la muestra después del ensayo 2	Gr	3998.90
P ₂ 3	Peso seco de la muestra después del ensayo 3	Gr	3998.30
A ₁	Porcentaje de material más fino que #200	%	0.05%
A ₂	Porcentaje de material más fino que #200	%	0.03%
A ₃	Porcentaje de material más fino que #200	%	0.04%
A	% DE MATERIAL MÁS FINO QUE #200	%	0.04%

Cuadro 4.26. Porcentaje de material que pasa el tamiz #200 – Agregado Grueso

4.1.1.6. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN E IMPACTO (MAQUINA DE LOS ÁNGELES)

Con este ensayo podemos determinar el porcentaje promedio de la degradación (abrasión, desgaste, impacto y trituración) de los agregados gruesos que se obtiene tras un proceso de trituración del agregado grueso con esferas metálicas normadas en la máquina de los Ángeles.

- NTP 400.019. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.
- ASTM C-131 Standard test method for resistance to degradation of small size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine.

PROCEDIMIENTO

- Se escogerá una carga adecuada para el tipo de agregado según su gradación, con las tablas recomendadas de la norma NTP 400.019.

GRADACIÓN	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 4.8. Tipo de carga según la gradación del agregado ⁷³

- Se escogerá una muestra de aproximadamente 5000 gr de agregado grueso seco, que será tamizado a través de las siguientes mallas granulométricas dependiendo del nivel de Gradación escogido (se escoge al que más se asemeje, para luego nivelarlo hasta los valores de la tabla).

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2 pulg)	25.0 mm (1 pulg)	1250 ± 25	-	-	-
25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	1250 ± 25	-	-	-
19.0 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9.5 mm (3/8 pulg)	6.3 mm (1/4 pulg)	-	-	2500 ± 10	-
6.3 mm (1/4 pulg)	4.75 mm (Nº 4)	-	-	2500 ± 10	-
4.75 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	-	-	-	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla 4.9. Gradación de las muestras de ensayo ⁷⁴

- Una vez obtenido el agregado necesario en cada malla conforme a la tabla anterior, se juntara el agregado con las bolas de acero en la máquina de los Ángeles que realizará revoluciones a una velocidad de 30 rpm a 33 rpm por 500 revoluciones. Una vez finalizado se retira el agregado y se tamiza a través de la malla #12 (1.70 mm), el pasante se descartara y se pesara el agregado retenido por esta malla.

⁷³ (NTP 400.019, 2002, pág. 4)

⁷⁴ (NTP 400.019, 2002, pág. 5)



Ilustración 4.17. Máquina de abrasión de los Ángeles



Ilustración 4.18. Prueba de Abrasión – Agregado Grueso

CÁLCULOS

$$B = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

Dónde:

A (%) = Porcentaje de la resistencia a la abrasión por la Máquina de los Ángeles

P₁ (gr) = Peso seco de la muestra antes del ensayo

P₂ (gr) = Peso seco de la muestra tamizado por la malla #12 después del ensayo

AGREGADO GRUESO			
	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT.
P ₁ 1	Peso seco de la muestra antes del ensayo 1	gr.	5000.00
P ₁ 2	Peso seco de la muestra antes del ensayo 2	gr.	5000.00
P ₁ 3	Peso seco de la muestra antes del ensayo 3	gr.	5000.00
P ₂ 1	Peso seco de la muestra después del ensayo 1	gr.	4155.00
P ₂ 2	Peso seco de la muestra después del ensayo 2	gr.	4052.00
P ₂ 3	Peso seco de la muestra después del ensayo 3	gr.	4130.00
A ₁	Porcentaje de resistencia a la abrasión 1	%	16.90%
A ₂	Porcentaje de resistencia a la abrasión 2	%	18.96%
A ₃	Porcentaje de resistencia a la abrasión 3	%	17.40%
A	% DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	%prom	17.75%

Cuadro 4.27. Resistencia a la abrasión del agregado grueso

4.1.1.7. PORCENTAJE DE HUMEDAD

El ensayo determina el porcentaje total de humedad evaporable del agregado fino y grueso. En la norma la definición de humedad evaporable incluye a la humedad presente en los poros y superficialmente. Las normas que describen el procedimiento son las siguientes:

- NTP 339.185. AGREGADOS, Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- ASTM C566. Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying

PROCEDIMIENTO

- Se debe escoger una muestra representativa de los agregados, y con un peso mínimo siguiendo la recomendación de la norma NTP 339.185.

Tamaño Máximo Nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4.75 (No. 4)	0.5
9.50 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
25.0 (1)	4.0
37.5 (1 1/2)	6.0
50.0 (2)	8.0
63.0 (2 1/2)	10.0
75.0 (3)	13.0
90.0 (3 1/2)	16.0
100.0 (4)	25.0
150.0 (6)	50.0

Tabla 4.10. Tamaño de la muestra de agregado ⁷⁵

- Para el caso del agregado grueso se seguirá el peso mínimo correspondiente a su TMN de 1'' (4 kg.), mientras que para el agregado fino se usara una muestra mínima representativa de aproximadamente 500 gr.

⁷⁵ (NTP 339.185, 2013, pág. 5)

- Se pesaran las muestras obtenidas anteriormente (muestras húmedas), en un recipiente resistente al calor.
- Se dejara secar las muestras, en un horno con una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta que la masa sea constante (generalmente de 16 a 24 horas)
- Se sacara del horno y se dejara enfriar, para poder pesar las muestras secas.

CÁLCULOS

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(H - S)}{S} * 100$$

Dónde:

H (gr) = Peso del agregado natural (muestra húmeda).

S (gr) = Peso del agregado en estado seco (muestra seca).

Debido a que las condiciones de humedad dependen del factor ambiental que es variable en el tiempo; este ensayo es necesario hacerlo el día de realización de cada mezcla de concreto.

Solo para fines comparativos, se puede determinar un promedio de los porcentajes de humedad obtenidos a lo largo de la realización de los diseños de mezcla, en los meses de noviembre, diciembre del año 2017 y enero del año 2018, en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María.

AGREGADO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
% de Humedad	0.13%	1.14%

Tabla 4.11. Porcentaje de humedad promedio

4.1.2. PROPIEDADES DEL CEMENTO

Esta investigación trata de obtener resultados utilizando materiales típicos de la provincia de Arequipa, por lo que se decidió optar por el uso del cemento TIPO IP – ALTA DURABILIDAD, de la marca de CEMENTOS YURA S.A. por ser este el más representativo de Arequipa.

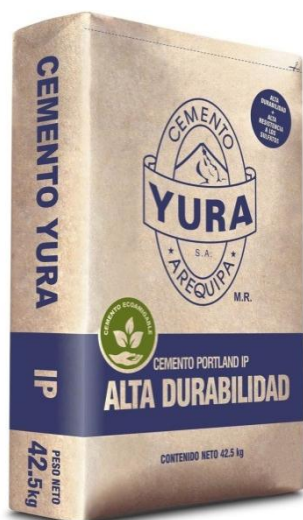


Fig. 4.9. Cemento Tipo IP - Alta Durabilidad - Yura

Cementos Yura S.A. es la empresa líder en Arequipa debido a que su planta de producción se encuentra en la misma ciudad, además específicamente el tipo IP es promocionado como “su mejor cemento” debido a que esta hecho en base de Clinker de alta calidad, con una adición de Puzolana de natural origen volcánico, y realizado bajo un proceso de fabricación de última generación.

Este cemento además de tener buenas características comprobadas con la certificación ISO 9001 de calidad de concreto, innova con ser ecoamigable al cumplir con la certificación ISO 14001 de gestión ambiental, por reducir en su fabricación el CO₂ (Dióxido de carbono) que afecta al medio ambiente negativamente con el efecto invernadero.

El cemento tipo IP de Cementos Yura cumple con las normas establecidas por reglamento para cementos adicionados siendo las siguientes:

- NTP 334.090. CEMENTOS. Cementos Portland Adicionados. Requisitos
- ASTM C-595 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements

Entre las propiedades de este cemento tenemos las siguientes:

- Mejor resistencia por su contenido Puzolánico
- La puzolana al reaccionar con el hidróxido de calcio produce más silicato de calcio lo cual ocupa los espacios vacíos (menos poros) mejorando su impermeabilidad, por lo que es capaz de proteger estructuras metálicas de la corrosión.
- Se demostró que la resistencia al ataque de los sulfatos es mayor que el cemento tipo V.
- Mejor resistencia a la acción del intemperismo, ataques químicos y otros.
- Disminuye la reacción álcali-sílice de los agregados
- Debido a la reacción de la puzolana con el hidróxido de calcio genera menos calor de hidratación lo que previene la contracción y fisuración del concreto.

Las propiedades del cemento TIPO IP – ALTA DURABILIDAD de la marca CEMENTOS YURA S.A. tiene las siguientes características, especificadas en su ficha técnica.

REQUISITOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP		Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595	
MgO (%)	1.99		6.00 Máx.	
SO ₃ (%)	1.75		4.00 Máx.	
Perdida por ignición (%)	2.14		5.00 Máx.	
REQUISITOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP		Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595	
Peso específico (gr/cm ³)	2.85		-	
Expansión en autoclave (%)	0		0.80 Máx.	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170		45 Mín.	
Fraguado Vicat final (minutos)	270		420 Máx.	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Kgf/cm ²	Mpa	Kgf/cm ²	Mpa
1 días	104	10	-	-
3 días	199	20	133 Mín.	13
7 días	247	24	204 Mín.	20
28 días	342	34	255 Mín.	25
60 días	397	39	-	-
RESISTENCIA A LOS SULFATOS	CEMENTO IP		-	
% Expansión a los 14 días	0.018		-	

Tabla 4.12. Características Técnicas del cemento Portland Tipo IP – Cementos Yura.⁷⁶

4.1.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO

Con este ensayo se determinara la resistencia a la compresión del mortero, que está relacionada con la cohesión y adhesión de la pasta de cemento con las partículas del agregado fino, por lo que dependerá también de la calidad y características de los mismos. Esta es una de las principales propiedades del cemento ya que de esta dependerá la aceptación del mismo, por tener uso en la construcción de elementos estructurales como componente de relleno o ligante, también puede servir para recubrimientos sin ninguna función estructural. Las normas que especifican el procedimiento de este ensayo son las siguientes:

⁷⁶ (Cementos Yura S.A., 2014, pág. 1)

- MTC E 609. Compresión de morteros de Cemento Hidráulico (Cubos de 50 mm)
- ASTM C109. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

PROCEDIMIENTO

- Se preparara la muestra de mortero, con la unión del cemento y agregado fino utilizado en la investigación en proporciones de 1:1, 1:2, y 1:3, (mínimo 3 muestras de cada proporción), cada mezcla debe llegar a una fluidez de 110 ± 5 con la adición del agua. (aproximadamente con un 70% de agua)
- Se añadirá el agua con el cemento por 30 segundos, luego se agregara la arena en 15 segundos y se mezclara otros 15 segundos, luego mezclar con una velocidad más rápida por 30 segundos.
- Se prepararan moldes cúbicos de 2'' (5 cm) de lado, que serán cubiertas en sus caras interiores por una capa de grasa lubricante ligera y una capa de vaselina, donde se colocara la mezcla en dos partes (capas).
- En cada capa, con una barra de borde recto (cuadrada o rectangular) se apisonara 32 veces distribuidos en 8 apisonamientos por lado, siguiendo la dirección perpendicular a la anterior, se realizará lo mismo con la segunda capa hasta que la mezcla sobresalga para finalmente limpiar y nivelar el borde con una regla.
- Se dejara fraguar por un día para luego desmoldarlo; después de esto las muestras cubicas se sumergirán en agua con cal para su respectivo curado por el lapso de 28 días según el requerimiento impuesto por el diseño de mezcla de O'Reilly.
- Se secara superficialmente las muestras cubicas y se ensayara en una máquina de compresión, (ningún resultado debe tener una diferencia mayor del 8.7% del valor promedio de lo contrario dicha muestra será descartada) usando las caras que estuvieron en contacto con la superficie del molde.

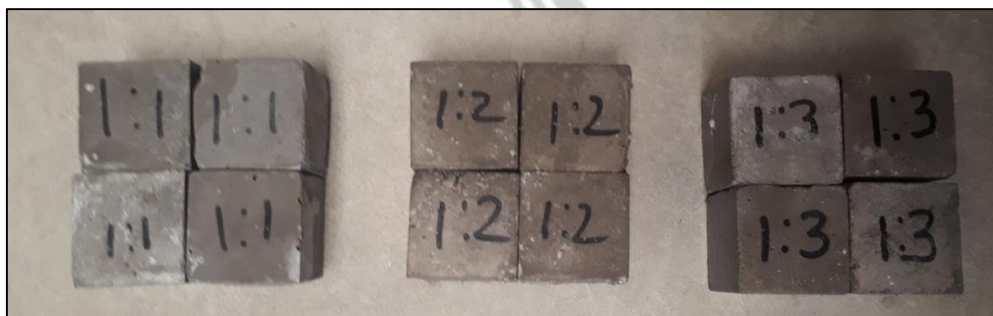


Ilustración 4.19. Cubos de mortero para determinar la resistencia a la compresión.

CÁLCULOS

Para calcular la resistencia a la compresión se usa la siguiente ecuación:

$$f_m = P/A$$

Dónde:

f_m (kg/cm²) = Resistencia a la compresión

P (N) = Carga máxima total

A (cm²) = Área promedio de superficies contrarias de carga

Muestra	Proporción Cemento : Arena	Área 1 (cm ²)	Área 2 (cm ²)	Área Promedio (cm ²)	Fuerza Máxima (kgf)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kgf/cm ²)
1	1 : 1 (1)	24.74	24.76	24.750	11367	459.27	471.14
2		24.67	24.68	24.675	11565	468.69	
3		24.62	24.64	24.630	11658	473.33	
4		24.81	24.79	24.800	11985	483.27	
1	1 : 2 (2)	24.46	24.52	24.490	7600	310.33	324.72
2		24.65	24.68	24.665	7702	312.26	
3		24.75	24.76	24.755	8255	333.47	
4		24.80	24.80	24.800	8502	342.82	
1	1 : 3 (3)	24.80	24.80	24.800	3076	124.03	126.01
2		24.64	24.66	24.650	2918	118.38	
3		24.68	24.68	24.680	3201	129.70	
4		24.74	24.74	24.740	3264	131.93	

Cuadro 4.28. Resistencia a la Compresión del Mortero en diferentes proporciones

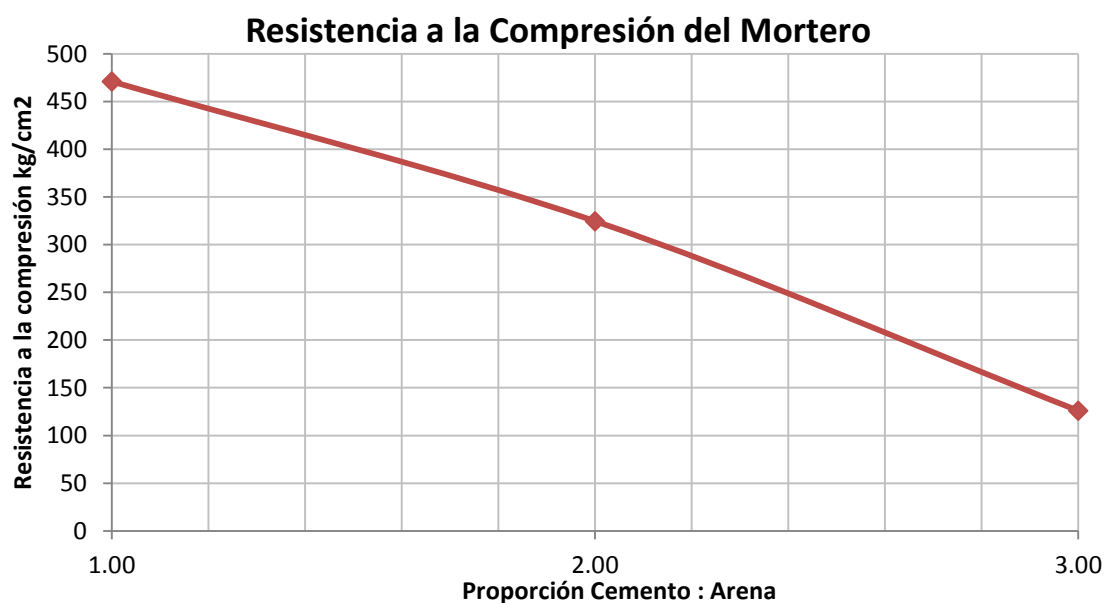


Fig. 4.10. Resistencia a la Compresión del Mortero en diferentes proporciones

4.1.3. PROPIEDADES DEL AGUA

El agua que se utilizara en esta investigación será agua potable que cumple la regla empírica de ser apta para el concreto cuando es apta para el consumo humano.

Existen 7 fuentes de distribución de agua con una producción de 4 293 833 m³ mensuales, donde la más importante es la represa de la Tomilla que está a cargo de la empresa pública SEDAPAR bajo el manejo de los municipios distritales; esta represa capta agua y realiza una proceso de potabilización, para eliminar todo tipo de impurezas y materias orgánicas o químicas presentes hasta que sea apta para el consumo humano.

La importancia de la represa La Tomilla radica en que esta abastece el 84 % del total de agua en los distritos de Hunter, Socabaya, Mariano Melgar, Miraflores, Alto Selva Alegre, Tiabaya, Sachaca, Cayma, partes del Cercado, Miraflores, José Luis Bustamante y Rivero Paucarpata y Yanahuara. Las normas que indican las recomendaciones de uso del agua son las siguientes:

- NTP 339.088. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos
- ASTM C-1602 Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete

Estas se pueden resumir en un cuadro indicado donde especifica los límites máximos permisibles de sustancias ajenas al agua, que pueden estar presentes sin que produzca un efecto negativo en el concreto.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE
Sólidos en suspensión (Residuo insoluble)	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 ppm máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	6000 ppm máximo
Cloruros (ion Cl ⁻)	1000 ppm máximo
Ph	5 a 8 ppm máximo

Tabla 4.13. Límites permisibles para el agua de mezcla⁷⁷

⁷⁷ (NTP 339.088, 2002, pág. 9)

4.1.4. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

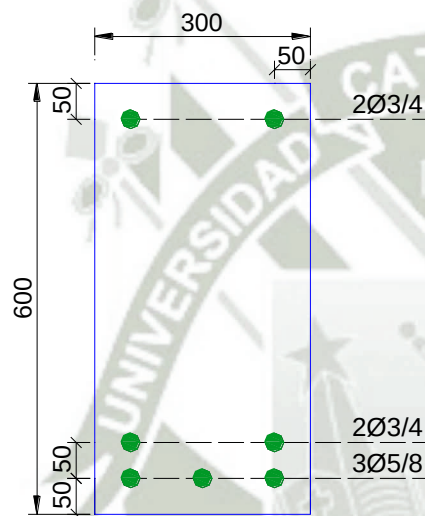
PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO	UNID	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	CEMENTO TIPO IP	AGUA
TMN		1"	-	-	-
Módulo de Fineza		7.566	2.383	-	-
Peso Especifico	kg/m ³	2.718	2.340	2.85	1.00
Porcentaje de Absorción	%	0.51%	2.75%	-	-
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1361.521	1407.996	-	-
Peso unitario Compactado	kg/m ³	1546.288	1648.842	-	-
Contenido de Vacíos - P.U. Suelto	%	49.80%	39.70%	-	-
Contenido de Vacíos - P.U. Compactado	%	42.99%	29.38%	-	-
Resistencia a la Abrasión	%	17.75%	-	-	-
Impurezas orgánicas		NO PRESENTA	NO PRESENTA	-	-
Porcentaje más fino que la Malla #200	%	0.04%	3.38%	-	-
Porcentaje de Humedad	%	0.13%	1.14%	-	-

Cuadro 4.29. Resumen de las propiedades de los componentes del concreto

4.2. DESARROLLO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS

A continuación se desarrollara detenidamente los procedimientos de dosificación de todos los diseños de mezcla propuestos siendo ACI, Walker, Modulo de Fineza, Füller, Bolomey, Faury, O'Reilly y Porrero & Grases.

Para uniformizar los requerimientos de los diseños, todos estos trabajarán en función a la siguiente Viga Estructural doblemente reforzada de 30x60 cm y con los siguientes requerimientos para llegar a una dosificación de 1 m³, con las resistencias de f'_c 175, 210 y 280 kg/cm², por ser las más comunes y tratando de buscar una comparación entre estas, además deben de cumplir un asentamiento de 4'' teniendo un TMN de 1''.



VIGA 30X60cm

Dosificación para 1 m³ de concreto

$F'_c = 175, 210 \text{ y } 280 \text{ kg/cm}^2$

Asentamiento = 4''

TMN = 1'' = 25.4 mm

Ilustración 4.20. Requerimientos iniciales y perfil de una viga estructural (mm)

Considerando las restricciones sobre el tamaño máximo nominal indicadas en el Capítulo III apartado 3.5.3. se hace el siguiente análisis:

Condición 1 = Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados

$$25.4 \text{ mm} < \frac{1}{5} (300 \text{ mm}) = 60 \text{ mm} \text{ OK}$$

Condición 2 = Un tercio del peralte de las losas. En este caso la condición no aplica por tratarse de una viga, sin embargo, considerando una losa de peralte de 25cm esta condición se sigue cumpliendo.

$$25.4 \text{ mm} < \frac{1}{3} (250 \text{ mm}) = 83.34 \text{ mm} \text{ OK}$$

Condición 3 = Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras. Siendo este la resta del lado menor (300 mm) menos el recubrimiento de 50 mm por cada lado.

$$25.4 \text{ mm} < \frac{3}{4}(200 \text{ mm}) = 150 \text{ mm} \text{ OK}$$

4.2.1. MÉTODO ACI

4.2.1.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

La selección de la resistencia promedio se realizara según lo indicado en el Capítulo III apartado 3.5.1. de la presente investigación, que al no tener datos previos para obtener una desviación estándar, se escogerá la resistencia promedio requerida de la Tabla 3.5.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 (} f'c + 70) \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (} f'c + 84) \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (} f'c + 84) \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.1.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

La selección del asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que coincide dentro de los rangos de asentamientos propuesto por el Comité ACI en el Capítulo III apartado 3.5.2. de la presente investigación, utilizando la Tabla 3.9.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.1.3. SELECCIÓN DEL TMN

La selección del Tamaño máximo nominal es un dato del análisis granulométrico realizado sin embargo este debe de cumplir también con lo indicado en el Capítulo III apartado 3.5.3. de la presente investigación

$$\text{TMN} = 1''$$

4.2.1.4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

La selección del volumen unitario de agua se realizara según lo indicado en el Capítulo III apartado 3.5.4. de la presente investigación, utilizando la Tabla 3.10. Establecida por la norma ACI.

Teniendo en cuenta el TMN = 1" y el asentamiento requerido = 4", la cantidad de agua necesaria en la mezcla para las diferentes resistencias es la siguiente:

$$\text{Cant. de agua} = 193 \text{ lt/m}^3$$

4.2.1.5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

La selección del contenido de aire se realizara según lo indicado en el Capítulo III apartado 3.5.5. de la presente investigación, utilizando la Tabla 3.12. y Tabla 3.13, dependiendo de la condición de aire incorporado en la mezcla.

En esta investigación se decidió no trabajar con aire incorporado, para así poder obtener las características esenciales de cada método, por lo que se utilizara la Tabla 3.12 sobre contenido de aire atrapado.

$$\text{Cont. de aire} = 1.5 \%$$

4.2.1.6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La selección de la relación a/c se realizara según lo indicado en el Capítulo III apartado 3.5.6. de la presente investigación, según sea el caso de diseño por resistencia o durabilidad. En esta investigación no se considera que el concreto estará afecto a condiciones externas que afecten sus propiedades, por lo que se utilizara la tabla 3.14 definida por la Norma ACI, interpolando sus datos para obtener un resultado óptimo de relación entre el agua y el cemento, factor clave en el diseño de mezcla.

$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ ($f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$)		$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$)		$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ($f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$)	
$f'cr$	a/c	$f'cr$	a/c	$f'cr$	a/c
250	0.62	300	0.55	400	0.43
245	0.628	294	0.558	364	0.466
200	0.70	250	0.62	350	0.48

$$a/c = 0.628$$

$$a/c = 0.558$$

$$a/c = 0.466$$

4.2.1.7. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL CEMENTO

En esta apartado se determinara la cantidad de cemento expresado en kg/m^3 o bolsas/ m^3 ; para calcularlo basta con realizar una sencilla operación con los datos anteriormente hallados de tablas.

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen unitario de agua (lt/m}^3\text{)}}{\text{Relacion agua/cemento}}$$

Considerando que una bolsa de cemento contiene 42.5 kg, se puede determinar la cantidad de cemento necesaria por bolsas.

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{0.628} = 307.32 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{307.32 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 7.23 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{0.558} = 345.63 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{345.63 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 8.13 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{0.466} = 414.16 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{414.16 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 9.75 \text{ bolsas/m}^3$$

4.2.1.8. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL AGREGADO GRUESO

La siguiente tabla proporcionada por ACI, nos permite saber un coeficiente b/bo a partir del TMN del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino, esta relación es la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del mismo en kg/m³.

TMN del Agregado Grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de fineza del agregado fino (b/bo)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 4.14. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen del concreto ⁷⁸

⁷⁸ (Laura Huanca, 2006, pág. 13)

Multiplicando el coeficiente b/b_o por el peso unitario compactado obtendremos el peso seco del agregado grueso que debe usarse en la mezcla de concreto.

$$\text{Peso seco del A. G.} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{b}{b_o} * (\text{Peso unitario compactado del A. grueso} \left(\frac{kg}{m^3} \right))$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C=175, 210 y 280 Kg/cm²

Teniendo en cuenta que TMN = 1" , el módulo de fineza del agregado fino = 2.383 y el peso unitario compactado del agregado grueso = 1546.288 kg/m³, se interpolara la tabla anteriormente mostrada para obtener resultados exactos, y poder así tener el peso seco del agregado grueso. Como se puede notar la cantidad de agregado grueso es independiente de la resistencia requerida del concreto, mas solo se basa en las características físicas granulométricas de los agregados que intervienen.

Mod. Fineza AF.	b/b _o
2.40	0.710
2.383	0.712
2.20	0.730

$$b/b_o = 0.712$$

$$\text{Peso seco del A. G.} = 0.712 * 1546.288 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco del A. G.} = 1100.49 \text{ kg/m}^3$$

4.2.1.9. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS DE LOS COMPONENTES

Como se conoce el peso en kg y peso específico del aire, agua, cemento y agregado grueso, se puede calcular los volúmenes de los componentes.

$$\text{Volumen del aire. (m}^3\text{)} = \frac{\% \text{ Aire}}{100}$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua}}{\text{Peso especif. del agua} \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del cemento (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso especif. del cemento (kg/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Volumen del A. G. (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A. G. (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso especif. del A. G. (kg/m}^3\text{)}}$$

Se puede notar que los componentes de aire, agua, y agregado grueso mantendrán sus resultados, independientemente de la resistencia requerida.

$$Volumen\ del\ aire.\ (m^3) = \frac{1.5\ \%}{100} = 0.015\ m^3$$

$$Volumen\ del\ agua\ (m^3) = \frac{193\ lt/m^3}{1000\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 0.193\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.\ G.\ (m^3) = \frac{1100.49\ kg/m^3}{2718\ kg/m^3} = 0.405\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Volumen\ del\ cemento\ (m^3) = \frac{307.32\ kg/m^3}{2850\ kg/m^3} = 0.108\ m^3$$

$$TOTAL = 0.015 + 0.193 + 0.405 + 0.108 = 0.721\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Volumen\ del\ cemento\ (m^3) = \frac{345.63\ kg/m^3}{2850\ kg/m^3} = 0.121\ m^3$$

$$TOTAL = 0.015 + 0.193 + 0.405 + 0.121 = 0.734\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Volumen\ del\ cemento\ (m^3) = \frac{414.16\ kg/m^3}{2850\ kg/m^3} = 0.145\ m^3$$

$$TOTAL = 0.015 + 0.193 + 0.405 + 0.145 = 0.758\ m^3$$

4.2.1.10. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL AGREGADO FINO

El volumen del agregado fino se calculara como al diferentica de la unidad de los volúmenes de los otros componentes.

$$Volumen\ del\ A.\ F.\ (m^3) = 1 - (Vol.\ aire + Vol.\ agua + Vol.\ cemento + Vol.\ A.\ G.)$$

El peso del agregado fino se calculara multiplicando su volumen por su peso específico.

$$Peso\ seco\ del\ A.\ F.\ \left(\frac{kg}{m^3}\right) = Vol.\ A.\ F.\ (m^3) * Peso\ especif.\ del\ A.\ F.\ (kg/m^3)$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen del A.F.} = 1 - 0.721 = 0.279 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco del A.F.} = 0.279 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco del A.F.} = 653.51 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen del A.F.} = 1 - 0.734 = 0.266 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco del A.F.} = 0.266 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco del A.F.} = 622.05 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Volumen del A.F.} = 1 - 0.758 = 0.242 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco del A.F.} = 0.242 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco del A.F.} = 565.79 \text{ kg/m}^3$$

4.2.1.11. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad para evitar errores de cálculo.

4.2.1.12. AJUSTE POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

Considerando los valores de porcentaje de absorción y de humedad de los agregados se procede a realizar el ajuste por humedad y absorción de los agregados según lo descrito en el Capítulo III apartado 3.5.9. de la presente investigación. Luego se presentan los pesos corregidos:

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	193.00	0.193	207.77	0.208
Cemento	307.32	0.108	307.32	0.108
A.G.	1100.49	0.405	1101.92	0.405
A.F.	653.51	0.279	660.96	0.282
TOTAL	2254.32	1.000	2277.98	1.018

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	193.00	0.193	207.27	0.207
Cemento	345.63	0.121	345.63	0.121
A.G.	1100.49	0.405	1101.92	0.405
A.F.	622.05	0.266	629.15	0.269
TOTAL	2261.18	1.000	2283.97	1.018
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	193.00	0.193	206.36	0.206
Cemento	414.16	0.145	414.16	0.145
A.G.	1100.49	0.405	1101.92	0.405
A.F.	565.79	0.242	572.24	0.248
TOTAL	2273.40	1.000	2294.68	1.017

4.2.1.13. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Para finalizar es común presentar la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa) para 1m³.

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
307.32	1101.92	660.96	207.77
1.00	3.59	2.15	28.73

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
345.63	1101.92	629.15	207.27
1.00	3.19	1.82	25.49

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
414.16	1101.92	572.24	206.36
1.00	2.66	1.38	21.18

4.2.2. MÉTODO DE WALKER

4.2.2.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

El profesor Stanton Walker desarrollo en los laboratorios de la Universidad de Maryland, Estados Unidos, un método cuando se tiene datos anteriores para hallar la resistencia promedio en función a dos coeficientes:

V = Coeficiente de variación y un coeficiente

J = Coeficiente del número de veces que los ensayos no alcanzan la resistencia de diseño especificada.

Este segundo coeficiente depende de la importancia de la obra, si es que es una construcción con muchas exigencias y de gran importancia se podría escoger una muestra de ensayo de cada cien, sin embargo si es una construcción simple se puede tomar la primera columna de una muestra de ensayo cada diez.

V Coef. de Variac.	J							
	Para una muestra de ensayo de diez por debajo del porcentaje de la resistencia de diseño especificada				Para una muestra de ensayo en cien por debajo del porcentaje de la resistencia de diseño especificada			
	100 %	90 %	80 %	70 %	100 %	90 %	80 %	70 %
5	1.07	-	-	-	1.13	1.02	-	-
10	1.15	1.03	-	-	1.30	1.17	1.04	-
12	1.18	1.06	-	-	1.39	1.25	1.11	-
15	1.24	1.11	1.00	-	1.54	1.39	1.23	1.08
18	1.30	1.17	1.04	-	1.73	1.55	1.38	1.21
20	1.35	1.21	1.08	-	1.88	1.69	1.50	1.31
25	1.47	1.33	1.18	1.03	2.41	2.16	1.92	1.68

Tabla 4.15. Resistencia promedio – Porcentaje de la resistencia especificada – Método Walker ⁷⁹

La resistencia promedio estará dada con la siguiente ecuación:

$$f'_{cr} = f'_c * J$$

Dónde:

f'_{cr} = Resistencia promedio requerida

f'_c = Resistencia de diseño

J = Coeficiente del número de veces que los ensayos no alcanzan la resistencia de diseño.

⁷⁹ (Rivva Lopez, 1992, pág. 62)

Al no contar con datos previos y no tener un coeficiente de variación, la selección de la resistencia promedio se realizara de la misma manera que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 (f'c + 70)} \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.2.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.2.3. SELECCIÓN DEL TMN

El Tamaño máximo nominal es un dato del análisis granulométrico realizado anteriormente que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{TMN} = 1''$$

4.2.2.4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

La cantidad de agua a escoger seguirá lo indicado en el Capítulo III apartado 3.5.4. de la presente investigación, pudiendo utilizarse la Tabla 3.10 o la Tabla 3.11, siendo esta última que tradicionalmente se escoge.

Teniendo en cuenta el TMN = 1" y el asentamiento requerido = 4", la cantidad de agua necesaria en la mezcla para las diferentes resistencias es la siguiente:

$$\text{.Cant. de agua} = 197 \text{ lt/m}^3$$

4.2.2.5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

La selección del contenido de aire seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$\text{Cont. de aire} = 1.5 \%$$

4.2.2.6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La selección de la relación agua/cemento seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$(f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2)$$

$f'cr$	a/c
250	0.62
245	0.628
200	0.70

$$a/c = 0.628$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$(f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2)$$

$f'cr$	a/c
300	0.55
294	0.558
250	0.62

$$a/c = 0.558$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$(f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2)$$

$f'cr$	a/c
400	0.43
364	0.466
350	0.48

$$a/c = 0.466$$

4.2.2.7. DETERMINACIÓN DEL FACTOR CEMENTO

Para determinar el factor de cemento, se aplica la siguiente formula

$$FC \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen unitario de agua (lt/m}^3\text{)}}{\text{Relación agua/cemento}}$$

Considerando que una bolsa de cemento contiene 42.5 kg, se puede determinar la cantidad de cemento necesaria por bolsas, para posteriores cálculos en este método de Walker.

$$FC \text{ (Bls/m}^3\text{)} = \frac{FC \text{ (Kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}}$$

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$FC = \frac{197 \text{ lt/m}^3}{0.628} = 313.69 \text{ kg/m}^3$$

$$FC = \frac{313.69 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 7.38 \text{ bls/m}^3$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$FC = \frac{197 \text{ lt/m}^3}{0.558} = 352.79 \text{ kg/m}^3$$

$$FC = \frac{352.79 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 8.30 \text{ bls/m}^3$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$FC = \frac{197 \text{ lt/m}^3}{0.466} = 422.75 \text{ kg/m}^3$$

$$FC = \frac{422.75 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 9.95 \text{ bls/m}^3$$

4.2.2.8. DETERMINACIÓN DE VOLUMENES ABSOLUTOS (CEMENTO, AGUA Y AIRE)

Como se conoce el peso en kg, y el peso específico del aire, agua y cemento, se puede calcular los volúmenes de cada componente.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{\% \text{ Aire}}{100}$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua (Lts/m}^3\text{)}}{\text{Peso Especif. del agua (lts/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{FC \text{ (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso Especif. del cemento (kg/m}^3\text{)}}$$

Para conocer el volumen absoluto de estos componentes del concreto, basta con sumar sus volúmenes (m³).

$$Vol. abs. (aire, agua y cemento)(m^3) = Vol. aire + Vol. agua + Vol. cemento$$

Los componentes de aire y agua permanecerán constantes, independientes de la resistencia requerida.

$$Vol. del aire = \frac{1.5 \%}{100} = 0.015 m^3 \quad Vol. del agua = \frac{197 \text{ lt}/m^3}{1000 (kg/m^3)} = 0.197 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Volumen del cemento (m^3) = \frac{313.69 \text{ kg}/m^3}{2850 \text{ kg}/m^3} = 0.110 m^3$$

$$Vol. abs. (aire, agua y cemento) = 0.015 + 0.197 + 0.110 = 0.322 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Volumen del cemento (m^3) = \frac{352.79 \text{ kg}/m^3}{2850 \text{ kg}/m^3} = 0.124 m^3$$

$$Vol. abs. (aire, agua y cemento) = 0.015 + 0.197 + 0.124 = 0.336 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Volumen del cemento (m^3) = \frac{422.75 \text{ kg}/m^3}{2850 \text{ kg}/m^3} = 0.148 m^3$$

$$Vol. abs. (aire, agua y cemento) = 0.015 + 0.197 + 0.148 = 0.360 m^3$$

4.2.2.9. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GLOBAL

Ya que conocemos el volumen de los componentes cemento, agua y aire, solo nos falta conocer el volumen de los agregados (fino y grueso), que se puede hallar mediante una sencilla resta, sabiendo que el todo del volumen es la unidad.

$$Vol. de agregado global (m^3) = 1 - Vol. abs. (aire, agua y cemento)$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Vol. de agregado global = 1 - 0.322 = 0.678 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Vol. de agregado global = 1 - 0.336 = 0.664 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Vol. de agregado global = 1 - 0.360 = 0.640 m^3$$

4.2.2.10. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE AGREGADO FINO

La siguiente tabla fue desarrollada por Walker en el Laboratorio de Ensayos de Materiales, donde podemos obtener interpolando valores el porcentaje de agregado fino %A.F. con respecto al volumen total de agregados, cuando no se emplea aire incorporado, con los datos de TMN, Modulo de fineza, perfil del agregado grueso y cantidad de bolsas cemento utilizado en la mezcla.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Agregado Redondeado				Agregado Angular			
	Factor cemento expresado en sacos por metro cubico				Factor cemento expresado en sacos por metro cubico			
	5	6	7	8	5	6	7	8
Agregado Fino - Modulo de Fineza de 2.3 a 2.4								
3/8"	60	57	54	51	69	65	61	58
1/2"	49	46	43	40	57	54	51	48
3/4"	41	38	35	33	48	45	43	41
1"	40	37	34	32	47	44	42	40
1 1/2 "	37	34	32	30	44	41	39	37
2"	36	33	31	29	43	40	38	36
Agregado Fino - Modulo de Fineza de 2.6 a 2.7								
3/8"	66	62	59	56	75	71	67	64
1/2"	53	50	47	44	61	58	55	53
3/4"	44	41	38	36	51	48	46	44
1"	42	39	37	35	49	46	44	42
1 1/2 "	40	37	35	33	47	44	42	40
2"	37	35	33	32	45	42	40	38
Agregado Fino - Modulo de Fineza de 3.0 a 3.1								
3/8"	74	70	66	62	84	80	76	73
1/2"	59	56	53	50	70	66	62	59
3/4"	48	46	43	40	57	54	51	48
1"	47	44	41	38	55	52	49	46
1 1/2 "	44	41	38	36	52	49	46	44
2"	42	38	36	34	49	46	44	42

Tabla 4.16. Determinación del porcentaje del Agregado Fino – Método Walker ⁸⁰

Considerando un Módulo de Fineza del agregado fino de 2.383 y un perfil de agregado angular se obtiene lo siguiente para las diferentes resistencias:

⁸⁰ (Laura Huanca, 2006, pág. 16)

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$F.C. = 7.38 \text{ bolsas/m}^3$$

F.C.	% A.F.
8.00	40.0
7.381	41.24
7.00	42.0

$$\% A. F. = 41.24 \%$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$F.C. = 8.301 \text{ bolsas/m}^3$$

F.C.	% A.F.
9.00	38.0
8.301	39.40
8.00	40.0

$$\% A. F. = 39.40 \%$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$F.C. = 9.95 \text{ bolsas/m}^3$$

F.C.	% A.F.
10.00	36.0
9.947	36.11
9.00	38.0

$$\% A. F. = 36.11 \%$$

4.2.2.11. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO

Conociendo el porcentaje de participación del agregado fino en el volumen absoluto de los agregados, se puede hallar el porcentaje de participación del agregado grueso con una simple ecuación:

$$\%A. G. = 100\% - \%A. F.$$

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$\%A. G. = 100\% - 41.24\%$$

$$\% A. G. = 58.76 \%$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$\%A. G. = 100\% - 39.40\%$$

$$\% A. G. = 60.60 \%$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\%A. G. = 100\% - 36.11\%$$

$$\% A. G. = 63.89 \%$$

4.2.2.12. DETERMINACIÓN DE VOLUMENES ABSOLUTOS DE AGREGADOS

El volumen del agregado grueso y fino en m^3 se puede conocer por el porcentaje de incidencia de los agregados (A.F. % y A.G. %) en el volumen absoluto de los agregados.

$$Volumen \text{ del } A. F. (m^3) = Vol. \text{ de agregado global } (m^3) * \%A. F.$$

$$Volumen \text{ del } A. G. (m^3) = Vol. \text{ de agregado global } (m^3) * \%A. G.$$

Solo para comprobar los cálculos de porcentajes de los agregados, estos deben sumar 100%. Y para comprobar los cálculos los cálculos del volumen de los agregados la sumatoria de ambos debe corresponder al volumen de los agregados globales antes hallado.

$$\%A. G. + \%A. F. = 100\%$$

$$Volumen \text{ } A. G. (m^3) + Volumen \text{ } A. F. (m^3) = Vol. \text{ de agregado global } (m^3)$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

$$Volumen \text{ del } A. F. = 0.684 \text{ m}^3 * 41.24 \% = 0.280 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ del } A. G. = 0.684 \text{ m}^3 * 58.76 \% = 0.398 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Volumen\ del\ A.F. = 0.671\ m^3 * 39.40\ \% = 0.262\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.G. = 0.671\ m^3 * 60.60\ \% = 0.403\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Volumen\ del\ A.F. = 0.647\ m^3 * 36.11\ \% = 0.231\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.G. = 0.647\ m^3 * 63.89\ \% = 0.409\ m^3$$

4.2.2.13. DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS

Para hallar el peso en kilogramos por metro cubico, solo basta con multiplicar los volúmenes de dichos componentes de agregados por su respectivo peso específico.

$$W_{seco\ A.F.}\ (kg/m^3) = Volumen\ A.F.\ (m^3) * Peso\ Especif.\ A.F.$$

$$W_{seco\ A.G.}\ (kg/m^3) = Volumen\ A.G.\ (m^3) * Peso\ Especif.\ A.G.$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$W_{seco\ A.F.} = 0.280\ m^3 * 2340\ kg/m^3 = 654.18\ kg/m^3$$

$$W_{seco\ A.G.} = 0.398\ m^3 * 2718\ kg/m^3 = 1082.76\ kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$W_{seco\ A.F.} = 0.262\ m^3 * 2340\ kg/m^3 = 612.35\ kg/m^3$$

$$W_{seco\ A.G.} = 0.403\ m^3 * 2718\ kg/m^3 = 1094.07\ kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$W_{seco\ A.F.} = 0.231\ m^3 * 2340\ kg/m^3 = 540.44\ kg/m^3$$

$$W_{seco\ A.G.} = 0.409\ m^3 * 2718\ kg/m^3 = 1110.87\ kg/m^3$$

4.2.2.14. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO SECO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad para evitar errores de cálculo.

4.2.2.15. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Considerando los valores de porcentaje de absorción y de humedad de los agregados se procede a realizar el ajuste por humedad y absorción de los agregados según lo descrito en el Capítulo III apartado 3.5.9. de la presente investigación.

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	197.00	0.197	211.72	0.212
Cemento	313.69	0.110	313.69	0.110
A.G.	1082.76	0.398	1084.17	0.399
A.F.	654.18	0.280	661.64	0.283
TOTAL	2247.64	1.000	2271.22	1.018
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	197.00	0.197	211.08	0.211
Cemento	352.79	0.124	352.79	0.124
A.G.	1094.07	0.403	1095.49	0.403
A.F.	612.35	0.262	619.33	0.265
TOTAL	2256.21	1.000	2278.69	1.018
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	197.00	0.197	209.99	0.210
Cemento	422.75	0.148	422.75	0.148
A.G.	1110.87	0.409	1112.32	0.409
A.F.	540.44	0.231	546.60	0.234
TOTAL	2271.06	1.000	2291.66	1.016

4.2.2.16. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Para finalizar es común presentar la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa).

F'C	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
175	313.69	1084.17	661.64	211.72
	1.00	3.46	2.11	26.68
210	352.79	1095.49	619.33	211.08
	1.00	3.11	1.76	25.43
280	422.75	1112.32	546.60	209.99
	1.00	2.63	1.29	21.11

4.2.3. MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS

4.2.3.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Al no contar con datos previos y no tener un coeficiente de variación, la selección de la resistencia promedio se realizara de la misma manera que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 } (f'c + 70) \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 } (f'c + 84) \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 } (f'c + 84) \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.3.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.3.3. SELECCIÓN DEL TMN

El Tamaño máximo nominal es un dato del análisis granulométrico realizado anteriormente que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{TMN} = 1''$$

4.2.3.4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

La cantidad de agua escogida seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$\text{Cant. de agua} = 193 \text{ lt/m}^3$$

4.2.3.5. SELECCIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

La selección del contenido de aire seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$\text{Cont. de aire} = 1.5 \%$$

4.2.3.6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La selección de la relación a/c seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$(f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2)$$

f'cr	a/c
250	0.62
245	0.628
200	0.70

$$a/c = 0.628$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$(f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2)$$

f'cr	a/c
300	0.55
294	0.558
250	0.62

$$a/c = 0.558$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$(f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2)$$

f'cr	a/c
400	0.43
364	0.466
350	0.48

$$a/c = 0.466$$

4.2.3.7. DETERMINACIÓN DEL FACTOR CEMENTO

Para determinar el factor de cemento, se aplica la siguiente formula:

$$FC (kg/m^3) = \frac{\text{Volumen unitario de agua (lt/m}^3\text{)}}{\text{Relación agua/cemento}}$$

Considerando que una bolsa de cemento contiene 42.5 kg, se puede determinar la cantidad de cemento necesaria por bolsas.

$$FC (bolsas/m^3) = \frac{\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}}$$

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$FC = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{0.628} = 307.32 \text{ kg/m}^3$$

$$FC = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{0.558} = 345.63 \text{ kg/m}^3$$

$$FC = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{0.466} = 414.16 \text{ kg/m}^3$$

$$FC = \frac{307.32 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 7.23 \text{ bls/m}^3$$

$$FC = \frac{345.63 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 8.13 \text{ bls/m}^3$$

$$FC = \frac{414.16 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 9.75 \text{ bls/m}^3$$

4.2.3.8. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS (AIRE, AGUA Y CEMENTO)

Como se conoce el peso en kg, y el peso específico del cemento agua y aire, se puede calcular los volúmenes de cada componente.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{\% \text{ Aire}}{100}$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua (Lt/m}^3\text{)}}{\text{Peso Especif. del agua (lts/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{FC (kg/m^3)}{\text{Peso Especif. del cemento (kg/m}^3\text{)}}$$

Para conocer el volumen absoluto de estos componentes del concreto, basta con sumar sus volúmenes (m³).

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento) (m}^3\text{)} = \text{Vol. aire} + \text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento}$$

Los componentes de aire y agua permanecerán constantes, independientes de la resistencia requerida.

$$\text{Vol. del aire} = \frac{1.5 \%}{100} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. del agua} = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.193 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{307.32 \text{ kg/m}^3}{2850 \text{ kg/m}^3} = 0.108 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento)} = 0.015 + 0.193 + 0.108 = 0.316 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{345.63 \text{ kg/m}^3}{2850 \text{ kg/m}^3} = 0.121 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento)} = 0.015 + 0.193 + 0.121 = 0.329 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{414.16 \text{ kg/m}^3}{2850 \text{ kg/m}^3} = 0.145 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento)} = 0.015 + 0.193 + 0.145 = 0.353 \text{ m}^3$$

4.2.3.9. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GLOBAL

Ya que conocemos el volumen de los componentes cemento, agua y aire, solo nos falta conocer el volumen de los agregados (fino y grueso), que se puede hallar mediante una sencilla resta, sabiendo que el todo del volumen es la unidad.

$$\text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)} = 1 - \text{Vol. abs. (aire, agua y cemento)}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1 - 0.316 = 0.684 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1 - 0.329 = 0.671 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1 - 0.353 = 0.647 \text{ m}^3$$

4.2.3.10. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE AGREGADO FINO

La siguiente tabla fue desarrollada de manera empírica cuando se utiliza agregado grueso de perfil angular y con una correcta granulométrica, con el propósito de obtener un valor óptimo de módulo de fineza de la combinación de los agregados con respecto al TMN y a la cantidad de cemento expresados en bolsas.

Existe antecedente que indican que este método resulta en mezclas un poro sobre arenosas, las cuales son ideales para pavimentos y estructuras ciclópeas, sin embargo se puede aumentar los datos de la tabla en un orden de 0.2 por condiciones de colocación.

TMN del agregado Grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados el cual da las mejores condiciones de trabajabilidad para distintos contenidos de cimento en bolsas/m ³ (m)			
	6	7	8	9
3/8 ”	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2 ”	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4 ”	4.96	5.04	5.11	5.19
1”	5.26	5.34	5.41	5.49
1 ½ ”	5.56	5.64	5.71	5.79
2 ”	5.86	5.94	6.01	6.09
3 ”	6.16	6.24	6.31	6.39

Tabla 4.17. Módulo de fineza de la combinación de agregados ⁸¹

Para hallar el porcentaje de intervención del agregado fino en el agregado global en unidades de porcentaje, se debe utilizar la siguiente ecuación desarrollada en este método, obteniendo el valor de “m” de la tabla 4.4 anteriormente descrita.

$$r_f(\%) = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} * 100$$

Dónde:

$r_f(\%)$ = porcentaje del agregado fino con respecto al agregado global %AF.

m_g = Modulo de fineza del agregado grueso

m_f = Módulo de fineza del agregado fino

m = Módulo de fineza de la combinación de los agregados (Tabla 4.17.)

Considerando un Módulo de Fineza del agregado fino de 2.383 y para el agregado grueso de 7.566 se obtiene lo siguiente para las diferentes resistencias:

$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

F.C. = 7.23 bolsas/m³

F.C.	M.F.C.
8.00	5.41
7.23	5.356
7.00	5.34

$m = 5.356$

$$r_f = \frac{7.566 - 5.356}{7.566 - 2.383} * 100$$

$r_f = 42.64 \%$

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

F.C. = 8.13 bolsas/m³

F.C.	M.F.C.
9.00	5.49
8.13	5.421
8.00	5.41

$m = 5.421$

$$r_f = \frac{7.566 - 5.421}{7.566 - 2.383} * 100$$

$r_f = 41.39 \%$

$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

F.C. = 9.75 bolsas/m³

F.C.	M.F.C.
10.00	5.57
9.75	5.550
9.00	5.49

$m = 5.550$

$$r_f = \frac{7.566 - 5.550}{7.566 - 2.383} * 100$$

$r_f = 38.90 \%$

⁸¹ (Torre Castillo, 2004)

4.2.3.11. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO

Conociendo el porcentaje de participación del agregado fino en el volumen absoluto de los agregados, se puede hallar el porcentaje de participación del agregado grueso con una simple ecuación:

$$\%A.G. = 100\% - r_f(\%).$$

DISEÑO DE MEZCLA

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$\%A.G. = 100\% - 42.64\%$$

$$\% A.G. = 57.36 \%$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$\%A.G. = 100\% - 41.39\%$$

$$\% A.G. = 58.61 \%$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\%A.G. = 100\% - 38.90\%$$

$$\% A.G. = 61.10 \%$$

4.2.3.12. DETERMINACIÓN DE VOLUMENES ABSOLUTOS DE AGREGADOS

El volumen del agregado grueso y fino en m^3 se puede conocer por el porcentaje de incidencia de los agregados (A.F. % y A.G. %) en el volumen absoluto de los agregados.

$$Volumen \text{ del A.F. } (m^3) = Vol. \text{ de agregado global } (m^3) * r_f(\%)$$

$$Volumen \text{ del A.G. } (m^3) = Vol. \text{ de agregado global } (m^3) * \%A.G.$$

Solo para comprobar los cálculos de porcentajes de los agregados, estos deben sumar 100%. Y para comprobar los cálculos los cálculos del volumen de los agregados la sumatoria de ambos debe corresponder al volumen de los agregados globales antes hallado.

$$\%A.G. + r_f(\%) = 100\%$$

$$Volumen \text{ A.G. } (m^3) + Volumen \text{ A.F. } (m^3) = Vol. \text{ de agregado global } (m^3)$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

$$Volumen \text{ del A.F. } = 0.684 \text{ m}^3 * 42.64 \% = 0.292 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ del A.G. } = 0.684 \text{ m}^3 * 57.36 \% = 0.392 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$

$$Volumen \text{ del A.F. } = 0.671 \text{ m}^3 * 41.39 \% = 0.278 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ del A.G. } = 0.671 \text{ m}^3 * 58.61 \% = 0.393 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

$$Volumen \text{ del A.F. } = 0.647 \text{ m}^3 * 38.90 \% = 0.252 \text{ m}^3$$

$$Volumen \text{ del A.G. } = 0.647 \text{ m}^3 * 61.10 \% = 0.395 \text{ m}^3$$

4.2.3.13. DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS

Para hallar el peso en kilogramos por metro cubico, solo basta con multiplicar los volúmenes de dichos componentes de agregados por su respectivo peso específico.

$$W_{\text{seco A.F.}} (kg/m^3) = Volumen A.F. (m^3) * Peso Especif. A.F.$$

$$W_{\text{seco A.G.}} (kg/m^3) = Volumen A.G. (m^3) * Peso Especif. A.G.$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.292 m^3 * 2340 kg/m^3 = 682.58 kg/m^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.392 m^3 * 2718 kg/m^3 = 1066.72 kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.278 m^3 * 2340 kg/m^3 = 649.66 kg/m^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.393 m^3 * 2718 kg/m^3 = 1068.42 kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.252 m^3 * 2340 kg/m^3 = 588.71 kg/m^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.395 m^3 * 2718 kg/m^3 = 1073.87 kg/m^3$$

4.2.3.14. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad para evitar errores de cálculo.

4.2.3.15. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Considerando los valores de porcentaje de absorción y de humedad de los agregados se procede a realizar el ajuste por humedad y absorción de los agregados según lo descrito en el Capítulo III apartado 3.5.9. de la presente investigación.

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	193.00	0.193	208.11	0.208
Cemento	307.32	0.108	307.32	0.108
A.G.	1066.72	0.392	1072.21	0.394
A.F.	682.58	0.292	701.38	0.300
TOTAL	2249.63	1.000	2289.02	1.025

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	193.00	0.193	207.59	0.208
Cemento	345.63	0.121	345.63	0.121
A.G.	1068.42	0.393	1073.92	0.395
A.F.	649.66	0.278	667.56	0.285
TOTAL	2256.72	1.000	2294.69	1.024
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	193.00	0.193	206.63	0.207
Cemento	414.16	0.145	414.16	0.145
A.G.	1073.87	0.395	1079.39	0.397
A.F.	588.71	0.252	604.92	0.59
TOTAL	2275.59	1.000	2305.10	1.023

4.2.3.16. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Para finalizar es común presentar la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa) para 1m³.

F'C	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
175	307.32	1072.21	701.38	208.11
	1.00	3.49	2.28	28.78
210	345.63	1073.92	667.56	207.59
	1.00	3.11	1.93	25.53
280	414.16	1079.39	604.92	206.63
	1.00	2.61	1.46	21.20

4.2.4. MÉTODO DE FÜLLER

4.2.4.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Al no contar con datos previos y no tener un coeficiente de variación, la selección de la resistencia promedio se realizara de la misma manera que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 (} f'c + 70) \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (} f'c + 84) \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (} f'c + 84) \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.4.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.4.3. SELECCIÓN DEL TM

El Tamaño máximo es un dato del análisis granulométrico realizado anteriormente que debe cumplir con lo estipulado en el diseño en el Capítulo III apartado 3.5.3. de la presente investigación. Sin embargo este método considera su propia definición para el término de tamaño máximo del agregado: “Desde el punto de vista de aplicación del método se considera como tamaño máximo del árido al que corresponde al tamiz más pequeño de la serie utilizada que retenga menos del 15 por 100 del peso total del árido. Dado que la composición del árido conjunto no se conoce hasta haber realizado la composición de todas las fracciones del árido y a fin de evitar tanteos se considera como tamaño máximo la abertura del menor tamiz que retiene menos del 25 por 100 al cribar por él la grava, es decir, el árido de mayor tamaño, no entrando en esta determinación los gránulos de grandes dimensiones.”^{82 83}

Del análisis a los datos granulométricos realizados bajo esta nueva definición el valor del llamado Tamaño máximo que se utilizara en este diseño coincide con el TMN propuesto en el diseño de ACI, siendo:

$$\text{TM} = 1''$$

⁸² (Blanco Alvarez, Materiales Petreos Lección 3, pág. 14)

⁸³ (Garcia Pérez, 2004, pág. 9)

4.2.4.4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Debido a que en este método considera con más importancia la forma y textura de los agregados, y no toma tanto en cuenta el contenido de aire en la mezcla, se desarrolló la siguiente tabla de cantidad de agua por metro cúbico de concreto cuando se utilice agregados de granulometría y propiedades físicas promedias, con una relación $a/c=0.57$ y con un asentamiento de 76.2 mm (3").

Tamaño máximo del agregado mm (pulg)	Agregado redondeado kgf	Agregado triturado kgf
12.7 (1/2")	199	214
19.1 (3/4")	184	199
25.4 (1")	178	193
38.1 (1 1/2")	166	181
50.8 (2")	157	172
76.2 (3")	148	163
152.4 (6")	131	145

Tabla 4.18. Cantidad de agua en kgf por metro cúbico para diferentes Tamaños máximos del método de Fuller⁸⁴

Cuando las condiciones de los agregados varíen con las antes mencionadas se deben corregir o ajustar los valores utilizando la siguiente tabla

Cambio en las condiciones de la Tabla 4.6	Modificación de la cantidad de agua
Por cada 25 mm de aumento o disminución en el asentamiento	$\pm 3\%$ *
Arenas trituradas	+ 6,8 %
Hormigones poco trabajables	- 3,6 %

* El signo + indica aumento y el – disminución del contenido de agua en la mezcla.

Tabla 4.19. Corrección de la Tabla 4.18. Cantidad de agua en la mezcla⁸⁵

⁸⁴ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 125)

⁸⁵ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 125)

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando el TM de 1" en este diseño, el asentamiento requerido de 4" y el perfil de Agregado grueso triturado, se obtendrá la siguiente cantidad de agua, independiente de la resistencia requerida.

$$\text{Cant. de agua} = 193 \text{ lt/m}^3$$

La corrección a la cantidad de agua escogida se dará por el asentamiento ya que el requerido (4") es mayor al de las condiciones estándar (3") por lo que se incrementara en un +3%.

$$\text{Cant. de agua corregida} = 198.79 \text{ lt/m}^3$$

4.2.4.5. SELECCIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

La selección del contenido de aire seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$\text{Cont. de aire} = 1.5 \%$$

4.2.4.6. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

Debido a que se considera en primera instancia las propiedades físicas del agregado, la relación agua/cemento se hallara con la siguiente ecuación:

$$\frac{a}{c} = \frac{1}{Z}$$

$$Z = (K_1 * R_m) + 0.5$$

Dónde:

K_1 = Factor que depende de la forma del agregado.

Generalmente de 0.0030 a 0.0045, para piedra chancada o triturada y 0.0045 a 0.0070 para canto rodado o piedra redondeada

R_m = Resistencia promedio requerida

En este caso por ser el agregado grueso de perfil triturado consideramos un factor de forma $K_1 = 0.0045$ y se escogió el mayor valor del rango para una mayor seguridad y porque este genera un valor más cercano a los valores estándares.

DISEÑO DE MEZCLA

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = (0.0045 * 245) + 0.5$$

$$Z = 1.603$$

$$a/c = 1/1.603$$

$$a/c = 0.624$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = (0.0045 * 294) + 0.5$$

$$Z = 1.823$$

$$a/c = 1/1.823$$

$$a/c = 0.549$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = (0.0045 * 364) + 0.5$$

$$Z = 2.138$$

$$a/c = 1/2.138$$

$$a/c = 0.468$$

4.2.4.7. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL CEMENTO

El peso del cemento se determina dividiendo la cantidad de agua presente en la mezcla entre la relación agua/cemento hallada en el punto anterior, sin embargo es posible que para ciertas estructuras estas requieran una cantidad mínima de cemento para asegurar la trabajabilidad del concreto, si esta cantidad es mayor a la hallada en este proceso, este requerimiento de cemento mínimo se impondrá en el diseño de mezcla.

Además debemos de tener en cuenta que para obtener resultados óptimos en este método, la cantidad de cemento debe ser mayor a 300 kg por metro cubico de la mezcla.

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen unitario de agua (lt/m}^3\text{)}}{\text{Relacion agua/cemento}}$$

$$\text{Peso cemento (Bls/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del cemento (Kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{198.79 \text{ lt/m}^3}{0.624} = 318.56 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{318.56 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 7.50 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{198.79 \text{ lt/m}^3}{0.549} = 362.39 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{362.39 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 8.53 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{198.79 \text{ lt/m}^3}{0.468} = 425.01 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{425.01 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 10.00 \text{ bolsas/m}^3$$

4.2.4.8. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE FÜLLER

Para determinar la curva de Füller se realizara con la ecuación de su mismo nombre antes mencionada, siendo la siguiente:

Ley de Füller:

$$P_d = 100 \sqrt{d/D}$$

Dónde:

Pd (%)= Porcentaje que pasa por la malla d.

d (mm) = Abertura de la malla en referencia

D (mm) = tamaño máximo del agregado grueso

Para un procedimiento más práctico a partir de la ecuación anteriormente descrita se desarrolló la siguiente tabla de curvas de Füller para diferentes tamaños máximos y aberturas de mallas, de la cual escogeremos la fila con el TM de 1”.

“d”		D (Tamaño máximo)					
		12.7 mm	19.05 mm	25.4 mm	38.1 mm	50.8 mm	63.5 mm
mm	Pulg	1/2"	3/4"	1"	1 ½"	2"	2 1/2"
63.5	2 1/2"	-	-	-	-	-	100
50.8	2"	-	-	-	-	100	89.4
38.1	3/2"	-	-	-	100	86.6	77.5
25.4	1"	-	-	100	81.6	70.7	63.2
19.05	3/4"	-	100	86.6	70.7	61.2	54.8
12.7	1/2"	100	81.6	70.7	57.7	50.0	44.7
9.525	3/8"	86.6	70.7	61.2	50.0	43.3	38.7
4.75	Nº 4	61.2	49.9	43.2	35.3	30.6	27.4
2.36	Nº 8	43.1	35.2	30.5	24.9	21.6	19.3
1.18	Nº 16	30.5	24.9	21.6	17.6	15.2	13.6
0.60	Nº 30	21.7	17.7	15.4	12.5	10.9	9.7
0.30	Nº 50	15.4	12.5	10.9	8.9	7.7	6.9
0.15	Nº 100	10.9	8.9	7.7	6.3	5.4	4.9

Tabla 4.20. Curva de Füller para diferentes tamaños máximos ⁸⁶

⁸⁶ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 126)

CURVA DE FÜLLER

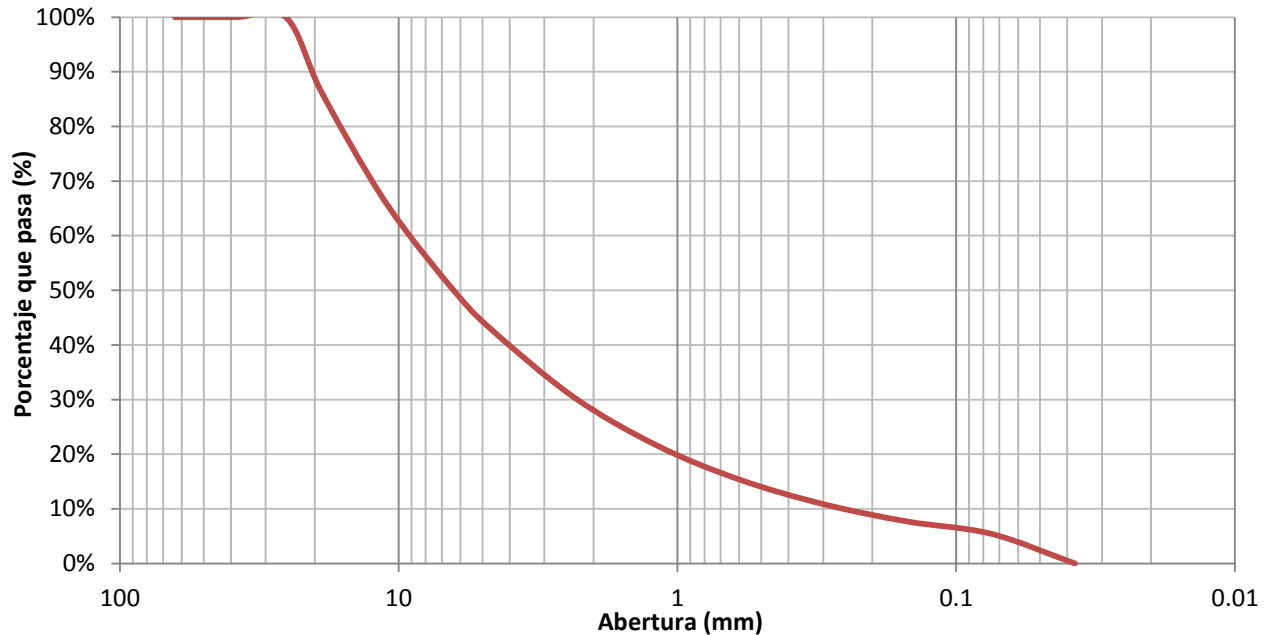


Fig. 4.11. Curva de Füller para un TM de 1''

4.2.4.9. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

La determinación del porcentaje de participación de los agregados se puede obtener de tres maneras, explicadas a continuación:

A. MÉTODO POR TANTEO

Es un método sencillo y rápido donde podemos obtener una referencia aproximada del porcentaje de participación de la cantidad de agregados que tengamos, en este caso el método de Füller dispone de un método gráfico que es más exacto, sin embargo para fines comparativos se describe los procedimientos a usar por el método de tanteo, de resultar muy disperso con respecto a la curva ideal de Füller se tendrá que volver a iterar hasta lograr un proporcionamiento adecuado:

- Se dibuja las curvas granulométricas de los agregados fino y grueso en una misma hoja semilogarítmica.
- Se unirá con una recta (o rectas, dependiendo de la cantidad de agregados disponibles) el tamaño máximo y mínimo de los agregados consecutivos.
- En la misma hoja se dibujara la curva de Füller
- El punto donde intercepte la curva de Füller con la recta o rectas trazadas entre las curvas granulométricas, indicara en el eje vertical el porcentaje de participación de

dicho agregado, mientras que los restante pertenecerá al siguiente agregado, de la siguiente manera:

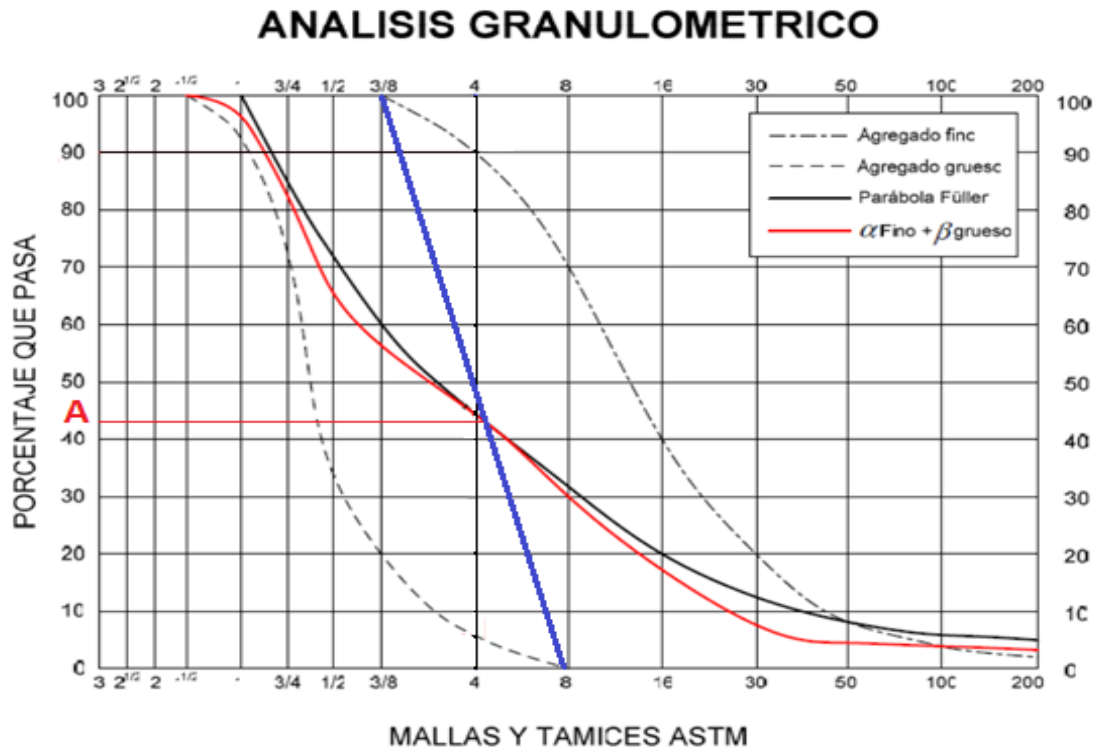


Fig. 4.12. Ejemplo de proporcionamiento de agregados. Método por Tanteo de Füller

La determinación de los porcentajes de los agregados se realizará de la siguiente manera:

$$\alpha = A \%$$

$$\beta = 100 - \alpha$$

α (%) = Porcentaje del volumen absoluto del agregado fino dentro del agregado global

β (%) = Porcentaje del volumen absoluto del agregado grueso dentro del agregado global

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando las curvas granulométrías obtenidas en las pruebas en laboratorio y la curva de Füller para un TM de 1'', se puede colocar las tres curvas en una sola grafica como lo indica el procedimiento, dando como resultado una intersección en el eje vertical de porcentaje pasante de 52%, lo que nos indicara el nivel de proporcionamiento del agregado fino dentro del agregado global, quedando de la siguiente manera:

$$\alpha = 52 \%$$

$$\beta = 100 - 52\% = 48\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento		CURVA RESULTANTE	CURVA FÜLLER
		A.F.	A.G.	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	52%	48%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	52.00	48.00	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	52.00	48.00	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	52.00	48.00	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	52.00	43.48	95.48%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	52.00	20.01	72.01%	86.60%
½"	12.7	100.00	6.09	52.00	2.92	54.92%	70.71%
3/8"	9.525	100.00	1.71	52.00	0.82	52.82%	61.24%
¼"	6.35	99.09	0.15	51.52	0.07	51.59%	50.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	50.78	0.00	50.78%	43.24%
# 8	2.36	87.41	0.00	45.45	0.00	45.45%	30.48%
# 16	1.18	71.03	0.00	36.94	0.00	36.94%	21.55%
# 30	0.60	53.82	0.00	27.98	0.00	27.98%	15.37%
# 50	0.30	34.49	0.00	17.93	0.00	17.93%	10.87%
# 100	0.15	17.30	0.00	8.99	0.00	8.99%	7.68%
# 200	0.075	6.10	0.00	3.17	0.00	3.17%	5.43%

Cuadro 4.30. Proporciónamiento de los agregados por el Método de Tanteo de Füller

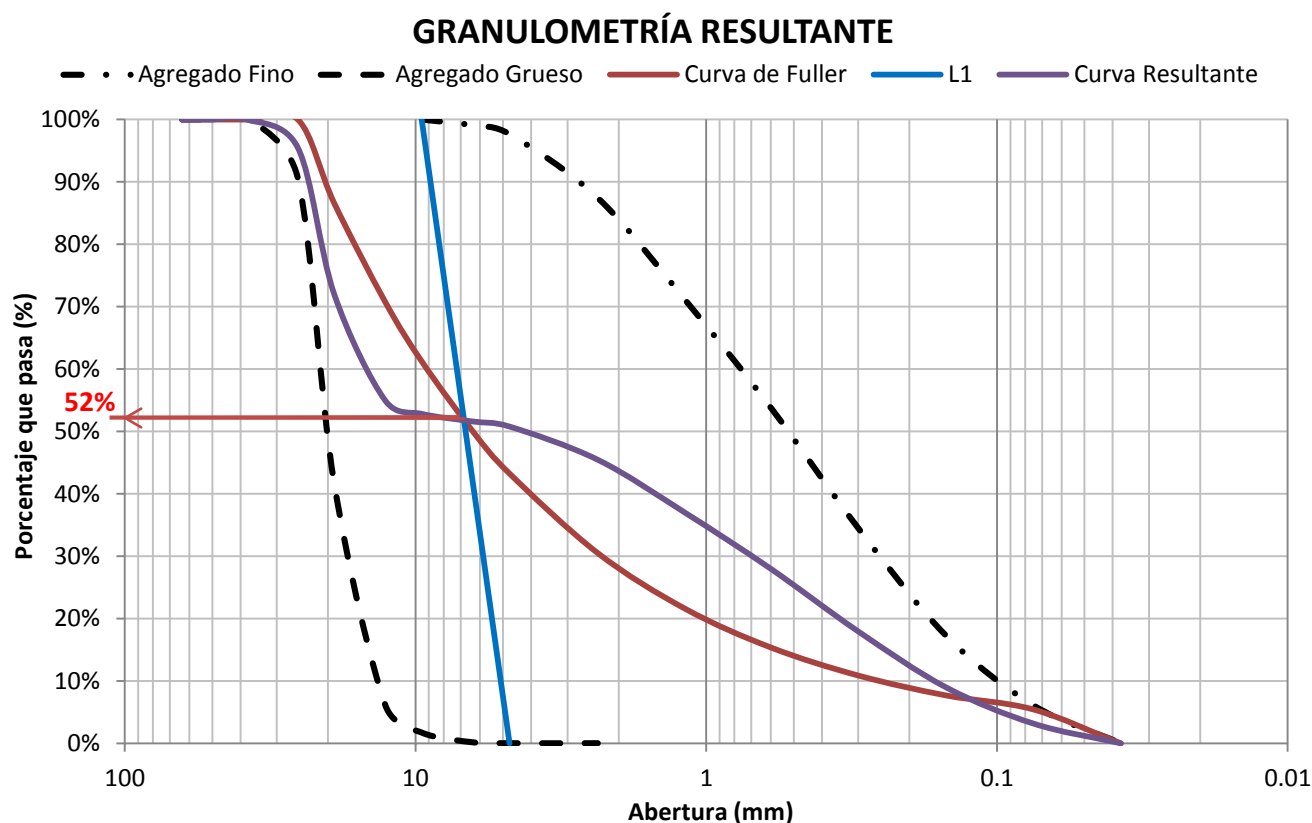


Fig. 4.13. Proporciónamiento de los agregados por el Método de Tanteo de Füller

B. MÉTODO GRÁFICO

Para determinar el porcentaje de participación de los agregados grueso y fino con relación al agregado global, se procederá de la siguiente manera:

- Se dibujara las curvas granulométricas del agregado grueso y el agregado fino en una misma hoja semilogarítmica.
- En la misma hoja se dibujara la curva de Füller.
- En el eje horizontal se trazara una línea vertical por el punto de la malla N°4 (4.75 mm), dicha línea interceptara con 3 puntos (uno con la curva de Füller y dos por las curvas granulométricas de los agregados).

A continuación se da un ejemplo de los pasos a seguir para la determinación de los porcentajes de los agregados por el método grafico de Füller.

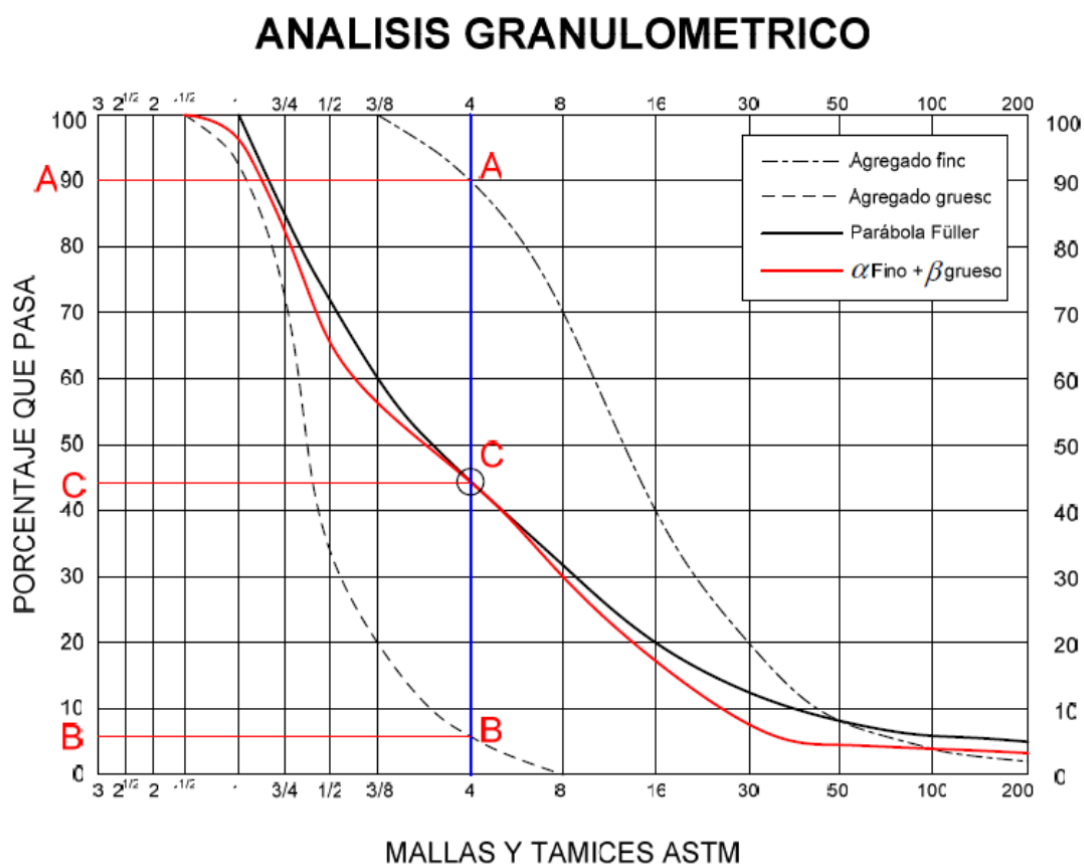


Fig. 4.14. Ejemplo de proporcionamiento de agregados. Método Gráfico de Füller⁸⁷

⁸⁷ (Laura Huanca, 2006, pág. 12)

- Con los tres puntos de intersección en las tres curvas (A,B y C), se determinara el porcentaje de cada uno llevando los puntos hacia el eje vertical, los cuales representan lo siguiente:

A (%) = Porcentaje de agregado fino que pasa por la malla N° 4

B (%) = Porcentaje de agregado grueso que pasa por la malla N° 4

C (%) = Porcentaje de agregado ideal que pasa por la malla N° 4

- Habiendo obtenido los porcentajes de A,B y C, se procede a calcular los valores α y β con las siguientes operaciones:

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B}$$

$$\beta = 100\% - \alpha$$

Dónde:

α (%)= Porcentaje del volumen absoluto del agregado fino dentro del agregado global

β (%)= Porcentaje del volumen absoluto del agregado grueso dentro del agregado global

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

Considerando las curvas granulometrías obtenidas a raíz de las pruebas en laboratorio, y la curva de Fuller para un TM de 1', se puede colocar las tres curvas en una sola grafica como lo indica el procedimiento anteriormente descrito, y trazando una recta vertical por la malla #4 (4.75mm), da como resultado tres intersecciones de la siguiente manera:

$$A = 98 \%$$

$$B = 0 \%$$

$$C = 44 \%$$

Al aplicar la formula definida por Fuller, obtendremos el porcentaje de proporcionamiento del agregado fino y grueso dentro del agregado global.

$$\alpha = \frac{44\% - 0\%}{98\% - 0\%} = 44.90 \%$$

$$\beta = 100\% - 44.90\% = 55.10\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento		CURVA RESULTANTE	FÜLLER
		A.F.	A.G.	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	44.90%	55.10%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	44.90	55.10	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	44.90	55.10	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	44.90	55.10	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	44.90	49.91	94.81%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	44.90	22.97	67.87%	86.60%
½"	12.7	100.00	6.09	44.90	3.36	48.25%	70.71%
⅜"	9.525	100.00	1.71	44.90	0.94	45.84%	61.24%
¼"	6.35	99.09	0.15	44.49	0.08	44.57%	50.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	43.85	0.00	43.85%	43.24%
# 8	2.36	87.41	0.00	39.25	0.00	39.25%	30.48%
# 16	1.18	71.03	0.00	31.89	0.00	31.89%	21.55%
# 30	0.60	53.82	0.00	24.16	0.00	24.16%	15.37%
# 50	0.30	34.49	0.00	15.48	0.00	15.48%	10.87%
# 100	0.15	17.30	0.00	7.77	0.00	7.77%	7.68%
# 200	0.075	6.10	0.00	2.74	0.00	2.74%	5.43%

Cuadro 4.31. Proporcionamiento de los agregados por el Método Grafico de Füller

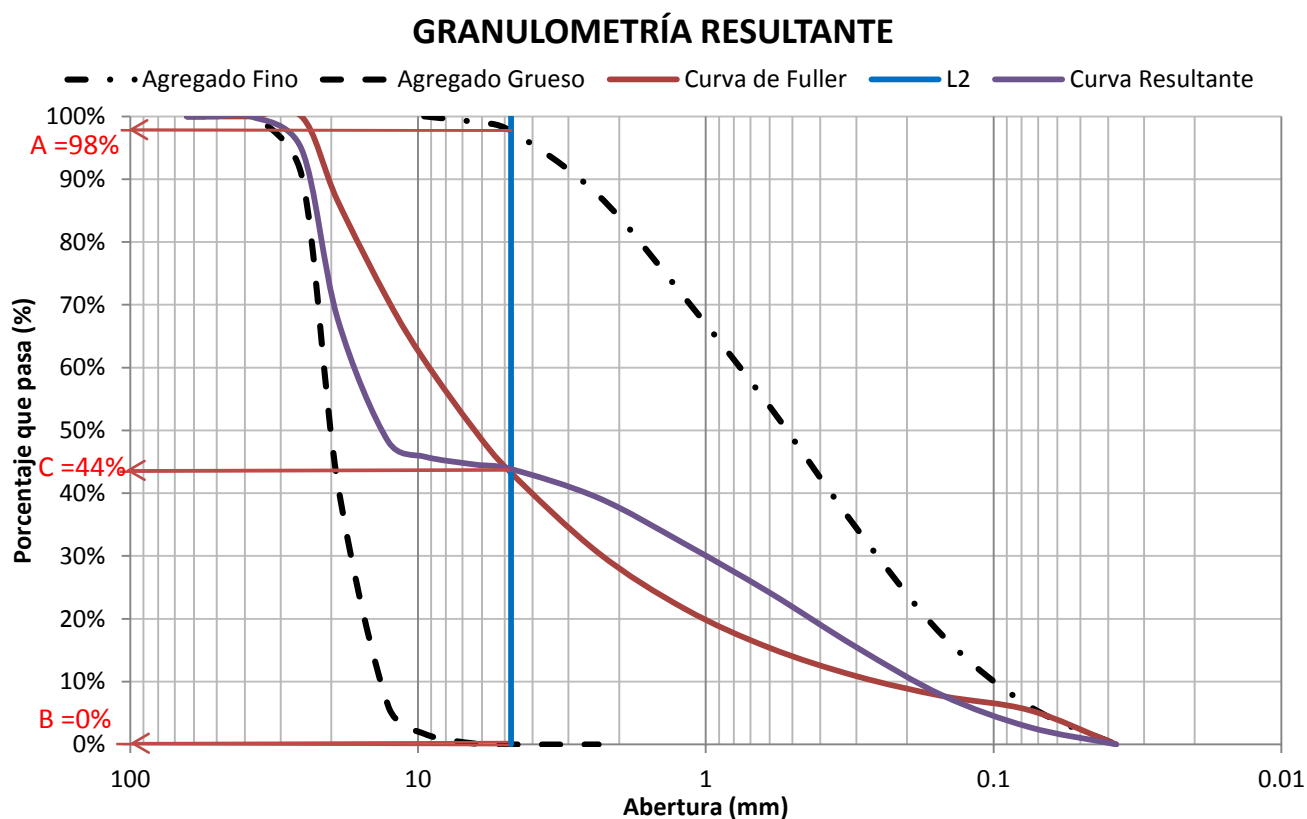


Fig. 4.15. Proporcionamiento de los agregados por el Método Grafico de Füller

C. MÉTODO POR MÓDULO DE FINEZA

Es un procedimiento matemático que se basa en los módulos de fineza de los agregados tratando de asemejarse lo máximo posible a la curva ideal de Füller, este método es considerado más exacto que los anteriores, y se determina de la siguiente manera:

Se desarrolló ecuaciones capaces de determinar el porcentaje ideal para cada agregado independientemente de la cantidad de tipos de agregados que intervengan en el concreto, resultando en las siguientes

$$t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100\%$$

$$MFF_n = \frac{MF_1 * t_1 + MF_2 * t_2 + \dots + MF_n * t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

Dónde:

$MF_1, MF_2, \dots, MF_n$ = Modulo de fineza de los agregados 1, 2, ... n.

$t_1, t_2, \dots, t_n$ = Porcentaje del volumen absoluto de los agregados 1, 2, ... n. dentro de agregado global

$MFF_1, MFF_2, \dots, MFF_n$ = Modulo de fineza de la curva de Füller con los tamaños máximos de cada agregado 1, 2, ... n (Ver tabla de Füller)

En el caso de esta investigación, donde se trabaja únicamente con dos agregados (fino y grueso) las formulas antes planteadas quedarían de la siguiente manera:

$$t_1 = 100 * \frac{(MF_2 - MFF_2)}{(MF_2 - MF_1)}$$

$$t_1 + t_2 = 100\% \quad t_2 = 100\% - t_1$$

Para comprobar MFF_2 se puede usar la siguiente formula:

$$MFF_2 = \frac{MF_1 * t_1 + MF_2 * t_2}{t_1 + t_2}$$

Dónde:

MF_1 y MF_2 = Modulo de fineza de los agregados fino y grueso respectivamente

t_1 y t_2 = Porcentaje del volumen absoluto de los agregados fino y grueso respectivamente dentro de agregado global

MFF_2 = Modulo de fineza de la curva de Füller con el TM del agregado grueso.

Para tener un solo sentido de términos, los valores de t_1 y t_2 representan en este método al porcentaje de “ α ” y “ β ” respectivamente

Para finalizar se puede hacer la granulometría resultante de cada malla con los porcentajes obtenidos de cada método y compararlo con la granulometría ideal de Füller, para comprobar cual se asemeja más.

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Para realizar el método de Módulo de Fineza, en primer lugar es necesario conocer el módulo de fineza de la curva de Füller obtenida a partir de un TM de 1'', cuando se resta el % de Pasante al 100% y sumando los resultados de las siguientes mallas:

CURVA DE FÜLLER		MFF ₂
Malla	% Pasante	TM = 1''
6"	100.00%	0.00%
3"	100.00%	0.00%
1 ½"	100.00%	0.00%
¾"	86.60%	13.40%
3/8"	61.24%	38.76%
# 4	43.24%	56.76%
# 8	30.48%	69.52%
# 16	21.55%	78.45%
# 30	15.37%	84.63%
# 50	10.87%	89.13%
# 100	7.68%	92.32%
TOTAL (MFF ₂) =		552.25%

Cuadro 4.32. Módulo de fineza de la curva de Füller MFF₂ para un TM de 1''

Aplicando las formulas anteriormente descritas se obtendrá el siguiente proporcionamiento de agregado fino (t_1) y grueso (t_2).

$$MFF_2 = 552.25\%$$

$$t_1 = 100 * \frac{7.566 - 5.5225}{7.566 - 2.383} = 39.43\%$$

$$t_2 = 100\% - 39.43\% = 60.57\%$$

Comprobando los resultados observamos que el dato de MFF₂ de la curva de Füller coincide con la originaria.

$$MFF_2 = \frac{2.383 * 39.43\% + 7.566 * 60.57\%}{39.43\% + 60.57\%} = 5.5225$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento		CURVA RESULTANTE	FÜLLER
		A.F.	A.G.	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	mm	%	%	39.43%	60.57%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	39.43	60.57	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	39.43	60.57	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	39.43	60.57	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	39.43	54.87	94.30%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	39.43	25.25	64.68%	86.60%
½"	12.7	100.00	6.09	39.43	3.69	43.12%	70.71%
⅜"	9.525	100.00	1.71	39.43	1.03	40.46%	61.24%
¼"	6.35	99.09	0.15	39.07	0.09	39.15%	50.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	38.50	0.00	38.50%	43.24%
# 8	2.36	87.41	0.00	34.46	0.00	34.46%	30.48%
# 16	1.18	71.03	0.00	28.01	0.00	28.01%	21.55%
# 30	0.60	53.82	0.00	21.22	0.00	21.22%	15.37%
# 50	0.30	34.49	0.00	13.60	0.00	13.60%	10.87%
# 100	0.15	17.30	0.00	6.82	0.00	6.82%	7.68%
# 200	0.075	6.10	0.00	2.40	0.00	2.40%	5.43%

Cuadro 4.33. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Füller

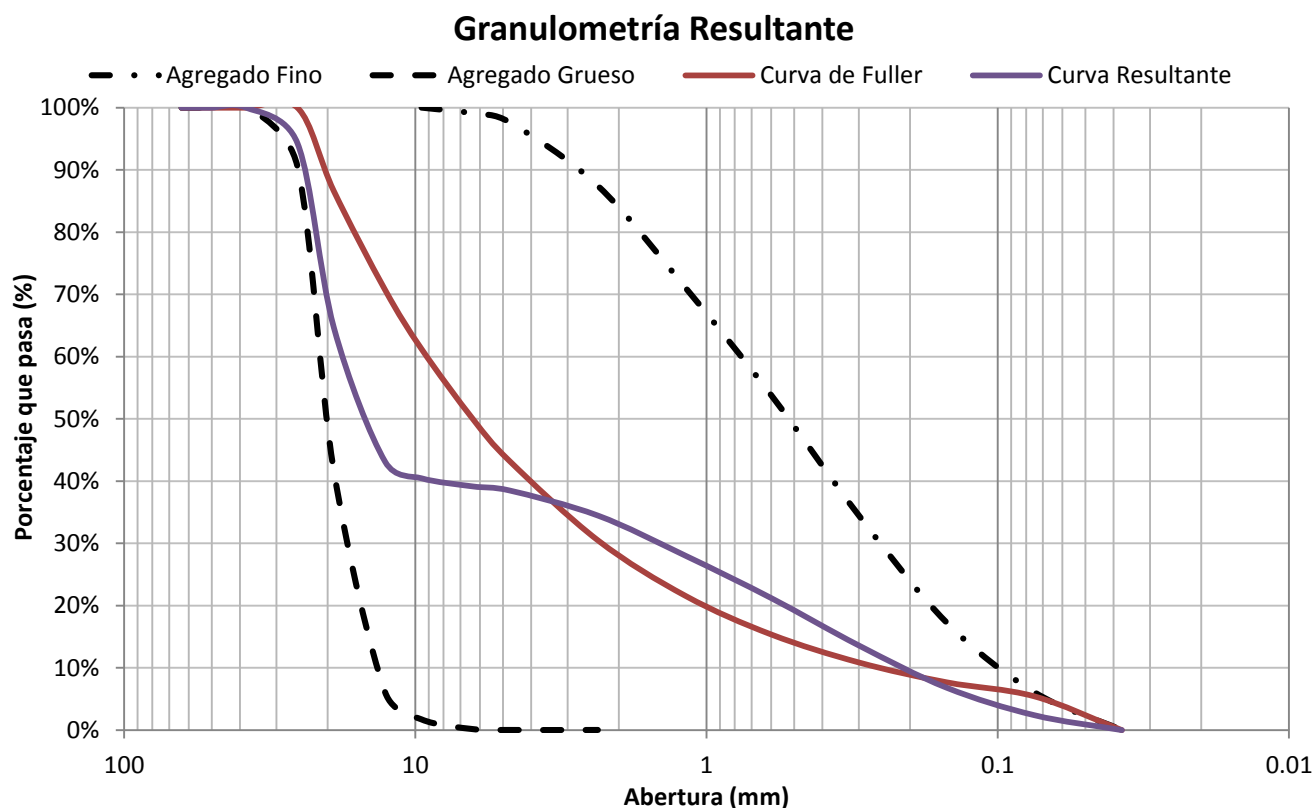


Fig. 4.16. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Füller

Considerando las tres graficas resultantes de los tres métodos expuestos, se escogerá el método de Modulo de Fineza de Füller como el porcentaje de proporcionamiento adecuado, debido a su mayor semejanza a la curva inicial de Füller.

4.2.4.10. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS (AIRE, AGUA Y CEMENTO)

Como se conoce el peso en kg, y el peso específico del cemento agua y aire, se puede calcular los volúmenes de cada componente.

$$Volumen\ del\ aire\ (m^3) = \frac{\% Aire}{100}$$

$$Volumen\ del\ agua\ (m^3) = \frac{Peso\ unitario\ del\ agua\ (Lt/m^3)}{Peso\ Especif.\ del\ agua\ (lts/m^3)}$$

$$Volumen\ del\ cemento\ (m^3) = \frac{Peso\ del\ cemento\ (kg/m^3)}{Peso\ Especif.\ del\ cemento\ (kg/m^3)}$$

Para conocer el volumen absoluto de estos componentes del concreto, basta con sumar sus volúmenes (m^3).

$$Vol.\ abs.\ (aire,\ agua\ y\ cemento)\ (m^3) = Vol.\ aire + Vol.\ agua + Vol.\ cemento$$

Los componentes de aire y agua permanecerán constantes, independientes de la resistencia requerida.

$$Vol.\ aire\ (m^3) = \frac{1.5\ \%}{100} = 0.015\ m^3 \quad Vol.\ agua\ (m^3) = \frac{198.79\ lt/m^3}{1000\ kg/m^3} = 0.199\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Volumen\ del\ cemento\ (m^3) = \frac{318.56\ kg/m^3}{2850\ kg/m^3} = 0.112\ m^3$$

$$Vol.\ abs.\ (aire,\ agua\ y\ cemento) = 0.015 + 0.199 + 0.112 = 0.326\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Volumen\ del\ cemento\ (m^3) = \frac{362.39\ kg/m^3}{2850\ kg/m^3} = 0.127\ m^3$$

$$Vol.\ abs.\ (aire,\ agua\ y\ cemento) = 0.015 + 0.199 + 0.121 = 0.341\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Volumen\ del\ cemento\ (m^3) = \frac{425.01\ kg/m^3}{2850\ kg/m^3} = 0.149\ m^3$$

$$Vol.\ abs.\ (aire,\ agua\ y\ cemento) = 0.015 + 0.199 + 0.145 = 0.363\ m^3$$

4.2.4.11. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Como los datos de los volúmenes absolutos de los demás componentes son conocidos, por lo que se puede hallar con una sencilla operación el volumen del agregado global (agregado fino + grueso). Se sabe que la suma de los volúmenes relativos deben ser igual al volumen del concreto sin embargo en este método se toma en consideración que el volumen de la pasta hidratada (cemento + agua) es algo inferior que la suma de los volúmenes absolutos de cemento y agua; se considera una aproximación empírica sobre la contracción del concreto fresco de 2.5% por lo que para obtener un metro cubico es necesario 1.025 de componentes en volumen absoluto.^{88 89}

$$\text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)} = 1.025 - \text{Vol. abs. (cemento, agua y aire)}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.025 - 0.326 = 0.699 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.025 - 0.341 = 0.684 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.025 - 0.363 = 0.662 \text{ m}^3$$

4.2.4.12. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Habiendo obtenido en el paso anterior los porcentajes de participación de cada agregado, se puede determinar el volumen absoluto de cada uno:

$$\text{Volumen A. F. (m}^3\text{)} = \frac{\alpha}{100} \times \text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen A. G. (m}^3\text{)} = \frac{\beta}{100} \times \text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen del A. F.} = 0.699 \text{ m}^3 \times 39.43 \% = 0.276 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. G.} = 0.699 \text{ m}^3 \times 60.57 \% = 0.424 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen del A. F.} = 0.684 \text{ m}^3 \times 39.43 \% = 0.270 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. G.} = 0.684 \text{ m}^3 \times 60.57 \% = 0.414 \text{ m}^3$$

⁸⁸ (Giraldo Bolívar, 2006, pág. 41)

⁸⁹ (García Pérez, 2004, pág. 11)

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Volumen\ del\ A.F. = 0.662\ m^3 * 39.43\ \% = 0.261\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.G. = 0.662\ m^3 * 60.57\ \% = 0.401\ m^3$$

4.2.4.13. DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS

Para hallar el peso en kilogramos por metro cubico, solo basta con multiplicar los volúmenes de dichos componentes de agregados por su respectivo peso específico.

$$W_{seco\ A.F.}\ (kg/m^3) = Volumen\ A.F.\ (m^3) * Peso\ Especif.\ A.F.$$

$$W_{seco\ A.G.}\ (kg/m^3) = Volumen\ A.G.\ (m^3) * Peso\ Especif.\ A.G.$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$W_{seco\ A.F.} = 0.276\ m^3 * 2340\ kg/m^3 = 645.30\ kg/m^3$$

$$W_{seco\ A.G.} = 0.424\ m^3 * 2718\ kg/m^3 = 1151.52\ kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$W_{seco\ A.F.} = 0.270\ m^3 * 2340\ kg/m^3 = 648.37\ kg/m^3$$

$$W_{seco\ A.G.} = 0.414\ m^3 * 2718\ kg/m^3 = 1132.00\ kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$W_{seco\ A.F.} = 0.261\ m^3 * 2340\ kg/m^3 = 627.55\ kg/m^3$$

$$W_{seco\ A.G.} = 0.401\ m^3 * 2718\ kg/m^3 = 1095.64\ kg/m^3$$

4.2.4.14. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad (1.025 m³) para evitar errores de cálculo.

4.2.4.15. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Considerando los valores de porcentaje de absorción y de humedad de los agregados se procede a realizar el ajuste por humedad y absorción de los agregados según lo descrito en el Capítulo III apartado 3.5.9. de la presente investigación

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	198.79	0.199	213.63	0.214
Cemento	318.56	0.112	318.56	0.112
A.G.	1151.52	0.424	1153.02	0.424
A.F.	645.30	0.276	652.66	0.279
TOTAL	2314.17	1.025	2337.86	1.044
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	198.79	0.199	213.30	0.213
Cemento	362.39	0.127	362.39	0.127
A.G.	1126.20	0.414	1127.66	0.415
A.F.	631.11	0.270	638.30	0.273
TOTAL	2318.49	1.025	2341.66	1.043
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	198.79	0.199	212.83	0.213
Cemento	425.01	0.149	425.01	0.149
A.G.	1090.03	0.401	1091.44	0.402
A.F.	610.84	0.261	617.80	0.264
TOTAL	2324.67	1.025	2347.09	1.043

4.2.4.16. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Para finalizar se presenta la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa).

F'C	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
175	318.56	1153.02	652.66	213.63
	1.00	3.62	2.05	28.50
210	362.39	1127.66	638.30	213.30
	1.00	3.11	1.76	25.01
280	425.01	1091.44	617.80	212.83
	1.00	2.57	1.45	21.28

4.2.5. MÉTODO DE BOLOMEY

4.2.5.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Al no contar con datos previos y no tener un coeficiente de variación, la selección de la resistencia promedio se realizara de la misma manera que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 (f'c + 70)} \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.5.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.5.3. SELECCIÓN DEL TMN

Al igual que el método de Füller, se determinara el tamaño máximo según la nueva definición indicada en el Capítulo IV apartado 4.2.4.3. de la presente investigación, sobre que el tamaño máximo será la abertura del menor tamiz que retiene menos del 25 % del agregado de mayor tamaño.

$$\text{TM} = 1''$$

4.2.5.4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Por ser este método de la misma naturaleza que la de Füller, la selección del volumen unitario de agua en la mezcla se realizara de la misma manera que el método de Füller.

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando el TM de 1", el asentamiento requerido de 4'' y perfil de Agregado triturado, se obtendrá la siguiente cantidad de agua, independiente de la resistencia requerida.

$$\text{Cant. de agua} = 193 \text{ lt/m}^3$$

La corrección a la cantidad de agua escogida se dará por el asentamiento ya que el requerido (4'') es mayor al de las condiciones estándar (3'') por lo que se incrementara en un +3%.

$$\text{Cant. de agua corregida} = 198.79 \text{ lt/m}^3$$

4.2.5.5. SELECCIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

La selección del contenido de aire seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$\text{Cont. de aire} = 1.5 \%$$

4.2.5.6. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

De darse la cantidad mínima de cemento se hallara la relación a/c con el dato adicional de la cantidad de agua antes calculada, sin embargo si es que no se tiene un peso exacto de cemento a utilizar, se procederá de la misma manera que el método de Füller, con la siguiente ecuación:

$$\frac{a}{c} = \frac{1}{Z}$$

Dónde:

$$Z = (K_1 * R_m) + 0.5$$

K_1 = Factor que depende de la forma del agregado.

Generalmente de 0.0030 a 0.0045 para piedra chancada o triturada y 0.0045 a 0.0070 para canto rodado o piedra redondeada

R_m = Resistencia promedio requerida

En este caso por ser el agregado grueso de perfil triturado consideramos un factor de forma $K_1 = 0.0045$ y se escogió el mayor valor del rango para una mayor seguridad y porque este genera un valor más cercano a los valores estándares.

DISEÑO DE MEZCLA

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = (0.0045 * 245) + 0.5$$

$$Z = 1.603$$

$$a/c = 1/1.603$$

$$a/c = 0.624$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = (0.0045 * 294) + 0.5$$

$$Z = 1.823$$

$$a/c = 1/1.823$$

$$a/c = 0.549$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = (0.0045 * 364) + 0.5$$

$$Z = 2.138$$

$$a/c = 1/2.138$$

$$a/c = 0.468$$

4.2.5.7. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL CEMENTO

El peso del cemento se calculara con los datos de volumen unitario de agua y la relación a/c calculada en los anteriores pasos, sin embargo cabe recalcar que para este tipo de métodos se suele considerar una cantidad mínima de cemento, de ser esta mayor a la calculada el valor que se tiene de dato se impondrá en el diseño

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen unitario de agua (lt/m}^3\text{)}}{\text{Relacion agua/cemento}}$$

Considerando que una bolsa de cemento contiene 42.5 kg, se puede determinar la cantidad de cemento necesaria por bolsas.

$$\text{Peso cemento (Bls/m}^3\text{)} = \frac{\text{FC (Kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{198.79 \text{ lt/m}^3}{0.624} = 318.56 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{318.56 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 7.50 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{198.79 \text{ lt/m}^3}{0.549} = 362.39 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{362.39 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 8.53 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{198.79 \text{ lt/m}^3}{0.468} = 425.01 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{425.01 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 10.00 \text{ bolsas/m}^3$$

4.2.5.8. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DEL CEMENTO COMO AGREGADO

Como se mencionó anteriormente, este diseño tiene la característica de que toma al cemento como un agregado fino y considera su porcentaje de participación en el agregado global. Para hallar el porcentaje del cemento se determina con la siguiente ecuación:

$$t_0(\%) = \frac{C/d_c}{1.025 - (A + \%Aire)}$$

$C \text{ (kg/m}^3\text{)} = \text{Peso del cemento por metro cubico de concreto}$

$A \text{ (m}^3\text{)} = \text{Volumen unitario del agua por metro cubico de concreto}$

$\% \text{Aire (m}^3\text{)} = \text{Porcentaje de aire en la mezcla, calculado anteriormente}$

$d_c \text{ (kg/m}^3\text{)} = \text{Peso específico del cemento}$

$t_0 \text{ (\%)} = \text{Porcentaje de participación del cemento en el total de agregado global}$

$1.025 = \text{Volumen total de los componentes}$

DISEÑO DE MEZCLA

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_0 = \frac{318.56 / 2850}{1.025 - (0.199 + 0.015)}$$

$$t_0 = \frac{362.39 / 2850}{1.025 - (0.199 + 0.015)}$$

$$t_0 = \frac{425.01 / 2850}{1.025 - (0.199 + 0.015)}$$

$$t_0 = 13.78\%$$

$$t_0 = 15.67\%$$

$$t_0 = 18.38\%$$

4.2.5.9. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE BOLOMEY

Para determinar la curva de Bolomey se aplicara su fórmula:

$$Y = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

$Y(\%) = \text{Porcentaje acumulado que pasa por la malla de abertura "d".}$

$d \text{ (mm)} = \text{Abertura de la malla en referencia}$

$D \text{ (mm)} = \text{Tamaño máximo del agregado total}$

$A = \text{Coeficiente empírico que depende de la forma del agregado y consistencia del concreto}$

El coeficiente A se obtendrá de la siguiente tabla, de la cual escogemos el valor de $A=14$ por ser el agregado de perfil angular y tener un asentamiento fluido de $4'' = 101.6 \text{ mm}$:

Forma del agregado	Consistencia de la mezcla	Asentamiento (mm)	A
Redondeada	Seca – Plástica	0 – 50	10
	Blanda	50 – 100	11
	Fluida	100 – 200	12
Angular	Seca – Plástica	0 – 50	12
	Blanda	50 – 100	13
	Fluida	100 – 200	14

Tabla 4.21. Valores del coeficiente A de la curva de Bolomey ⁹⁰

⁹⁰ (Giraldo Bolívar, 2006, pág. 46)

Debido a que no siempre todos los agregados tendrán un solo tipo de perfil, se desarrolló una tabla adicional de valores promedio para la constante A, cuando los agregados sean de perfil mixto, siendo la siguiente:

Forma del agregado	Consistencia de la mezcla	Asentamiento (mm)	A
Mixta (Angular - Redondeada)	Seca – Plástica	0 – 50	11
	Blanda	50 – 100	12
	Fluida	100 – 200	13

Tabla 4.22. Valores de A para agregados de forma mixta ⁹¹

A continuación se puede observar una gráfica de las curvas de Bolomey con coeficientes extremos de 14 y 11 para piedra angular con consistencia fluida y piedra redondeada con consistencia seca respectivamente, donde podemos ver el rango máximo de la curva de Bolomey, además de la comparación con la Curva Fuller para un mismo tamaño máximo.

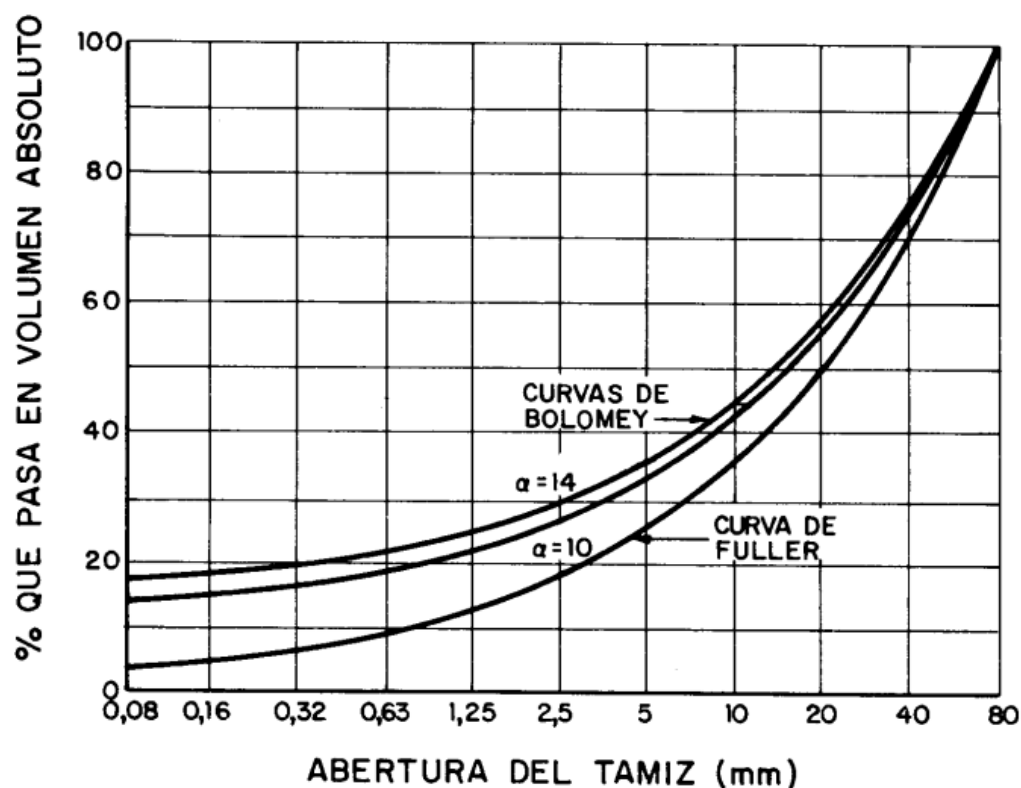


Fig. 4.17. Curvas granulométricas de referencia de Fuller y Bolomey

⁹¹ (Giraldo Bolívar, 2006, pág. 47)

Con lo que al realizar la curva granulométría utilizando la fórmula de Bolomey con un valor de $A=14$ y un TM DE 1'' obtenemos lo siguiente:

CURVA DE BOLOMEY		TM
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	25.40 mm
		1"
2 ½"	63.5	100.00 %
2"	50.8	100.00 %
1 ½"	38.1	100.00 %
1"	25.4	100.00 %
¾"	19.05	88.48 %
½"	12.7	74.81 %
⅜"	9.525	66.66 %
¼"	6.35	57.00 %
# 4	4.75	51.19 %
# 8	2.36	40.21 %
# 16	1.18	32.54 %
# 30	0.60	27.22 %
# 50	0.30	23.35 %
# 100	0.15	20.61 %
# 200	0.075	18.67 %

Cuadro 4.34. Curva de Bolomey para un TM de 1''

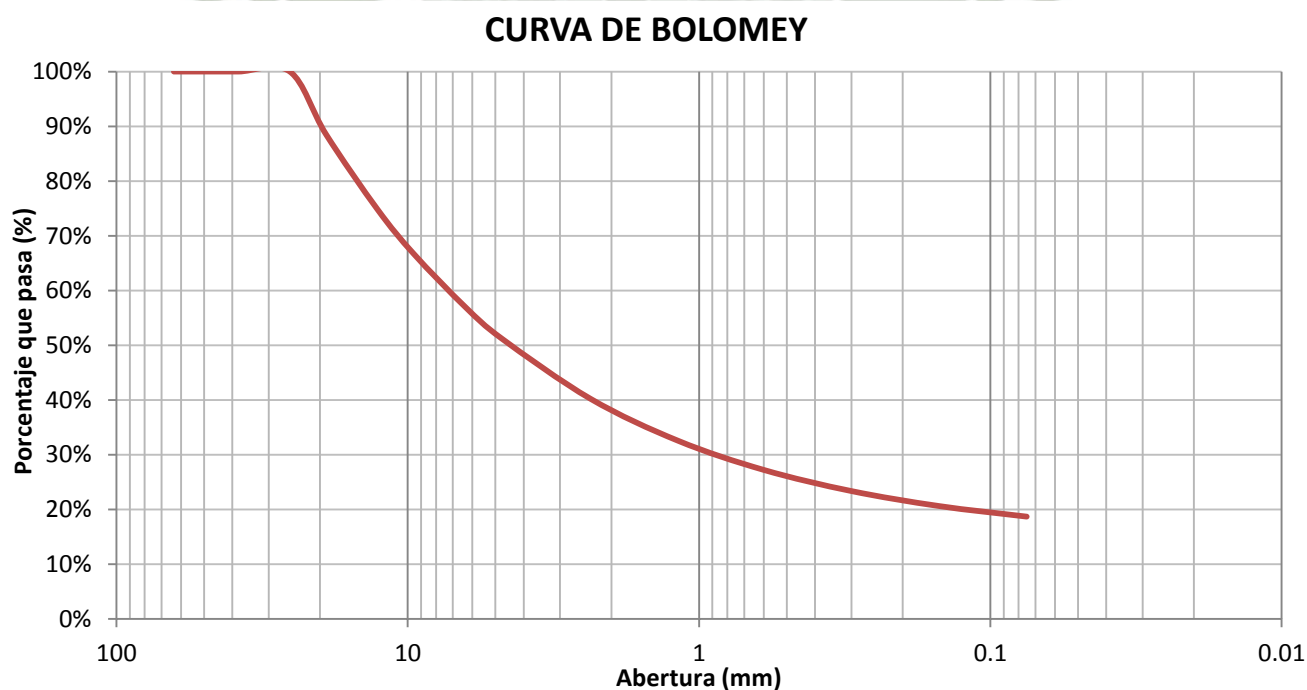


Fig. 4.18. Curva de Bolomey para un TM de 1''

4.2.5.10. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

La determinación del porcentaje de participación de los agregados se puede obtener de dos maneras, explicadas a continuación:

A. MÉTODO POR TANTEO

El método por tanteo Bolomey se realizara de manera idéntica que el método por tanteo de Füller anteriormente explicada; con la única diferencia que esta vez, las rectas de unión entre las curvas granulométricas de los agregados interceptaran con la curva de Bolomey.

Esta vez cada resistencia requerida tendrá una curva resultante diferente debido a que este método genera un porcentaje de cemento diferente que está involucrado dentro del agregado global, donde se aplicara las siguientes fórmulas para determinar α Y β , que corresponde al porcentaje de participación del agregado fino y grueso respectivamente:

$$\alpha + \beta + t_0 = 100\%$$

$$\alpha + \beta = 100\% - t_0$$

$$\alpha\% = \% \text{ del grafico} * (\alpha + \beta)$$

$$\beta\% = (\alpha + \beta) - \alpha\%$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

Del grafico obtenemos que la curva de Bolomey y la recta que une las curvas granulométricas, intercepta en el eje vertical de 60%, por lo que se tiene que hacer una simple relación con respecto a porcentaje del agregado global, donde se incluye el cemento:

$$\alpha + \beta = 100\% - 13.78\% = 86.22\%$$

$$\alpha = 60\% * 86.22\%$$

$$\alpha = 51.73\%$$

$$\beta = 86.22\% - 51.73\%$$

$$\beta = 34.49\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	Mm	%	%	13.78%	51.73%	34.49%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	13.78	51.73	34.49	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	13.78	51.73	34.49	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	13.78	51.73	34.49	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	13.78	51.73	31.24	96.75%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	13.78	51.73	14.38	79.89%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	13.78	51.73	2.10	67.61%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	13.78	51.73	0.59	66.10%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	13.78	51.26	0.05	65.09%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	13.78	50.52	0.00	64.30%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	13.78	45.22	0.00	59.00%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	13.78	36.75	0.00	50.53%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	13.78	27.84	0.00	41.62%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	13.78	17.84	0.00	31.62%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	13.78	8.95	0.00	22.73%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	13.78	3.15	0.00	16.93%	18.67%

Cuadro 4.35. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

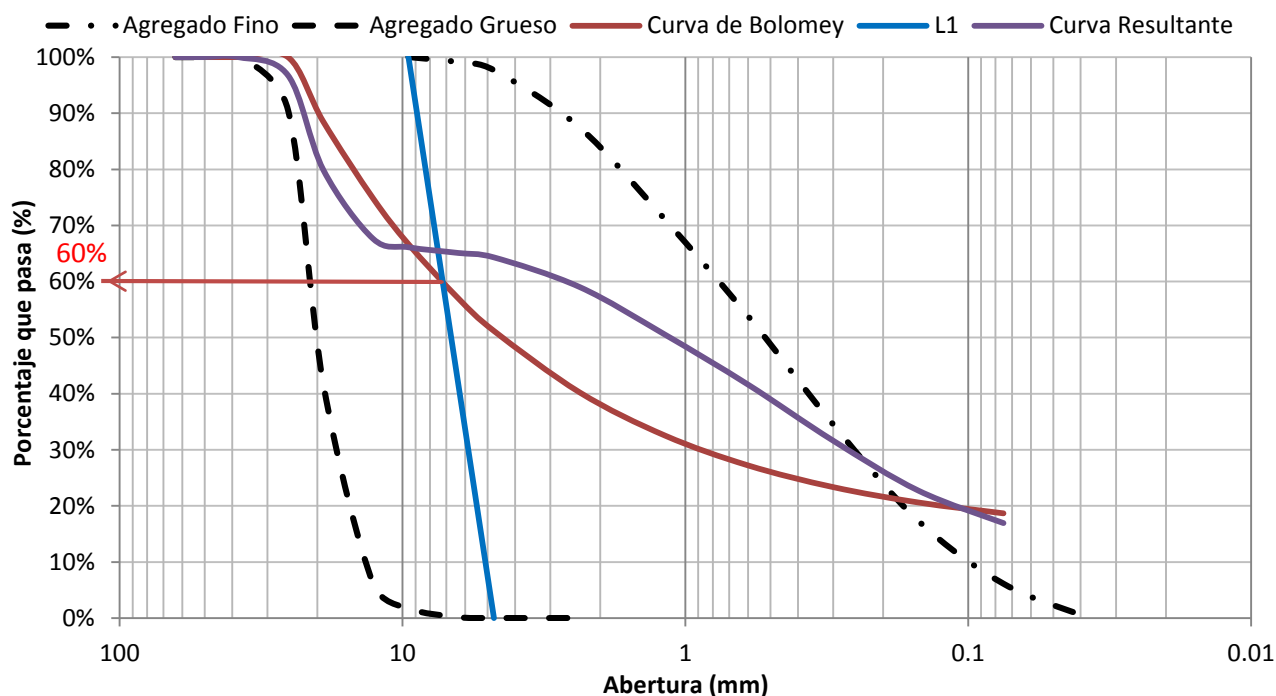


Fig. 4.19. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

Del grafico obtenemos que la curva de Bolomey y la recta que une las curvas granulométricas, intercepta en el eje vertical de 60%, por lo que se tiene que hacer una simple relación con respecto a porcentaje del agregado global, donde se incluye el cemento:

$$\alpha + \beta = 100\% - 15.67\% = 84.33\%$$

$$\alpha = 60\% * 84.33\%$$

$$\alpha = 50.60\%$$

$$\beta = 86.22\% - 84.33\%$$

$$\beta = 33.73\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	Mm	%	%	15.67%	50.60%	33.73%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	15.67	50.60	33.73	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	15.67	50.60	33.73	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	15.67	50.60	33.73	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	15.67	50.60	30.55	96.82%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	15.67	50.60	14.06	80.33%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	15.67	50.60	2.05	68.32%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	15.67	50.60	0.58	66.85%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	15.67	50.13	0.05	65.86%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	15.67	49.41	0.00	65.08%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	15.67	44.23	0.00	59.90%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	15.67	35.94	0.00	51.61%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	15.67	27.23	0.00	42.90%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	15.67	17.45	0.00	33.12%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	15.67	8.75	0.00	24.43%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	15.67	3.08	0.00	18.76%	18.67%

Cuadro 4.36. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

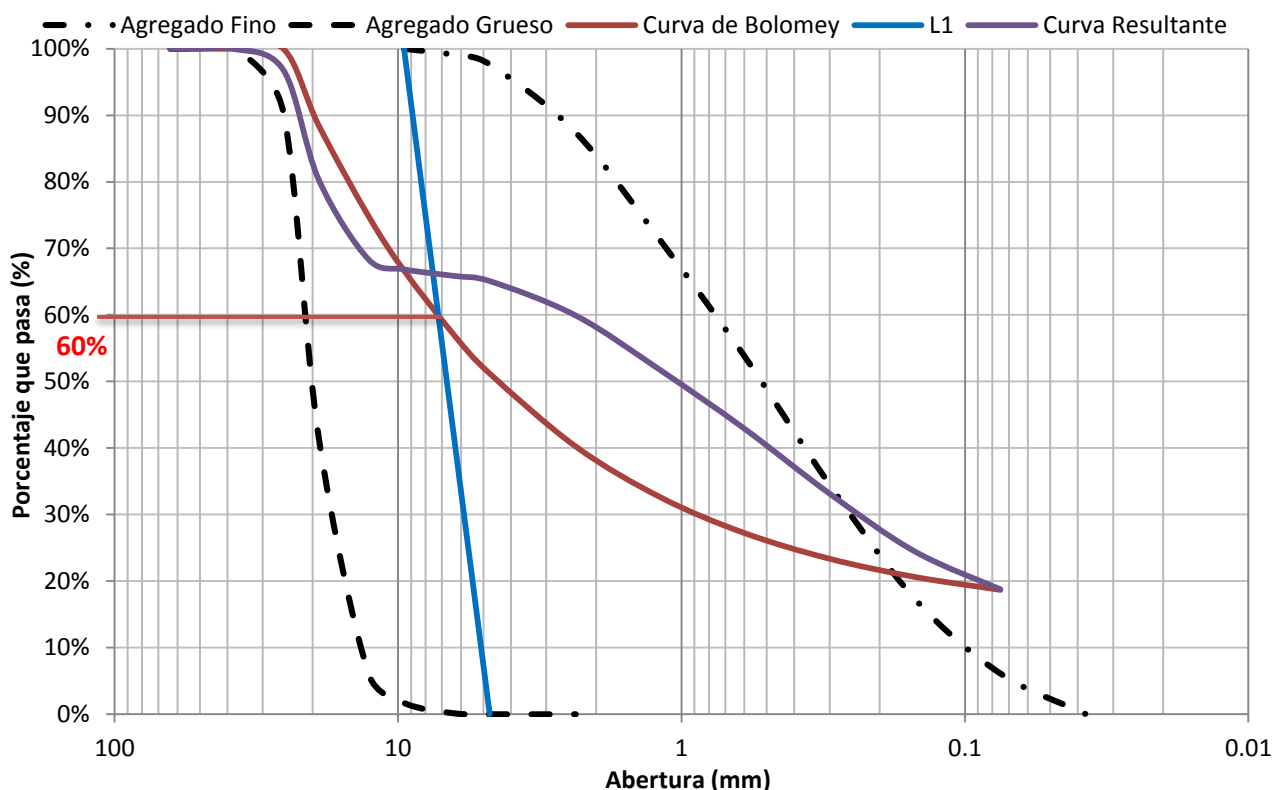


Fig. 4.20. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Del grafico obtenemos que la curva de Bolomey y la recta que une las curvas granulométricas, intercepta en el eje vertical de 60%, por lo que se tiene que hacer una simple relación con respecto a porcentaje del agregado global, donde se incluye el cemento:

$$\alpha + \beta = 100\% - 18.38\% = 81.62\%$$

$$\alpha = 60\% * 81.62\%$$

$$\alpha = 48.97\%$$

$$\beta = 86.22\% - 81.62\%$$

$$\beta = 32.65\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	mm	%	%	18.38%	48.97%	32.65%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	18.38	48.97	32.65	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	18.38	48.97	32.65	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	18.38	48.97	32.65	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	18.38	48.97	29.57	96.93%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	18.38	48.97	13.61	80.96%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	18.38	48.97	1.99	69.34%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	18.38	48.97	0.56	67.91%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	18.38	48.52	0.05	66.95%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	18.38	47.82	0.00	66.21%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	18.38	42.80	0.00	61.19%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	18.38	34.79	0.00	53.17%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	18.38	26.35	0.00	44.74%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	18.38	16.89	0.00	35.27%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	18.38	8.47	0.00	26.85%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	18.38	2.99	0.00	21.37%	18.67%

Cuadro 4.37. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

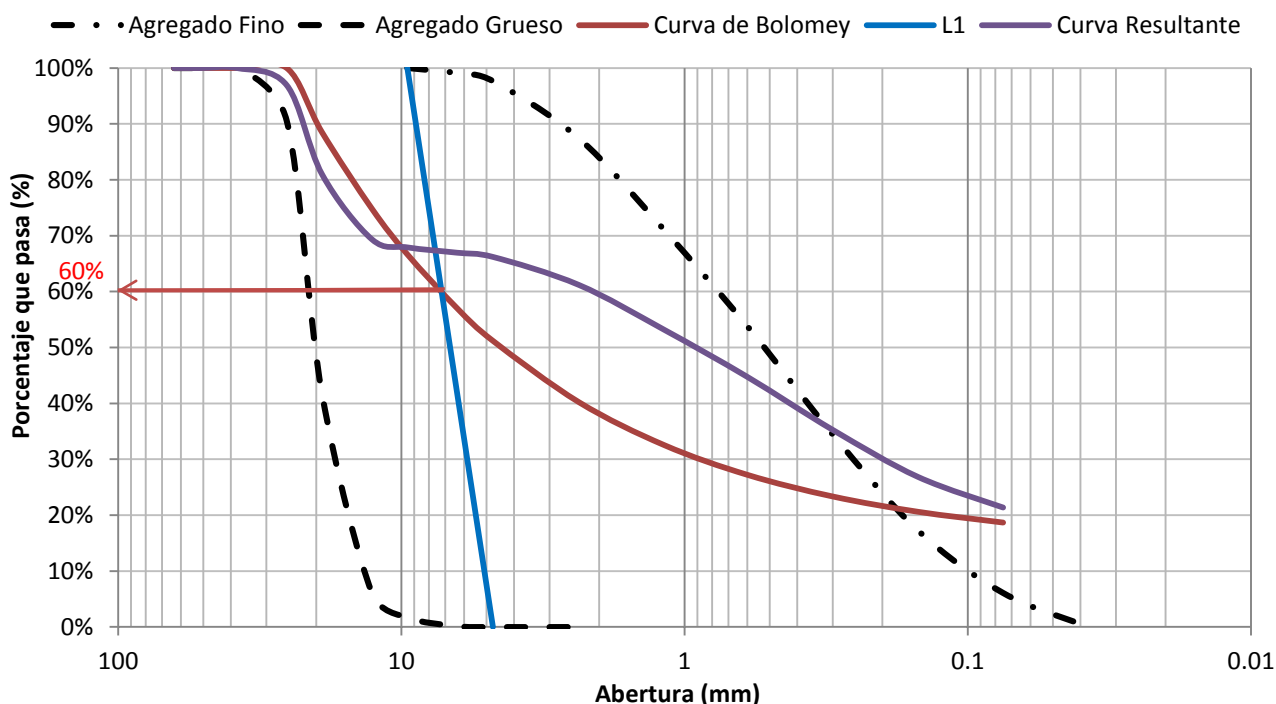


Fig. 4.21. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

B. MÉTODO GRÁFICO

El método gráfico de Bolomey se realizara de igual manera que el método gráfico de Füller, con la diferencia que la fórmula para hallar “ α ”, se verá afectada por el porcentaje de participación del cemento como parte de los agregados, quedando la anterior ecuación de la siguiente manera.

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} \times (100\% - t_o)$$

$$\beta = (100\% - t_o) - \alpha$$

Dónde:

α (%)= Porcentaje del volumen absoluto del agregado fino dentro del agregado global

β (%)= Porcentaje del volumen absoluto del agregado grueso dentro del agregado global

Desarrollando las formulas anteriormente descritas obtenemos el proporcionamiento de los agregados de la siguiente manera:

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

A=97.5%, B=0% y C=51%;

$$\alpha = \frac{51\% - 0\%}{97.5\% - 0\%} \times (100\% - 13.78\%) \quad \beta = (100\% - 13.78\%) - 45.10\%$$

$$\alpha = 45.10\%$$

$$\beta = 41.12\%$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

A=97.5%, B=0% y C=51%;

$$\alpha = \frac{51\% - 0\%}{97.5\% - 0\%} \times (100\% - 15.67\%) \quad \beta = (100\% - 15.67\%) - 44.11\%$$

$$\alpha = 44.11\%$$

$$\beta = 40.22\%$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

A=97.5%, B=0% y C=51%;

$$\alpha = \frac{51\% - 0\%}{97.5\% - 0\%} \times (100\% - 18.38\%) \quad \beta = (100\% - 18.38\%) - 42.69\%$$

$$\alpha = 42.69\%$$

$$\beta = 38.92\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	mm	%	%	13.78%	45.10%	41.12%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	13.78	45.10	41.12	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	13.78	45.10	41.12	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	13.78	45.10	41.12	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	13.78	45.10	37.25	96.13%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	13.78	45.10	17.14	76.02%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	13.78	45.10	2.50	61.38%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	13.78	45.10	0.70	59.58%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	13.78	44.69	0.06	58.53%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	13.78	44.04	0.00	57.82%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	13.78	39.42	0.00	53.20%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	13.78	32.04	0.00	45.82%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	13.78	24.27	0.00	38.05%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	13.78	15.55	0.00	29.33%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	13.78	7.80	0.00	21.58%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	13.78	2.75	0.00	16.53%	18.67%

Cuadro 4.38. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

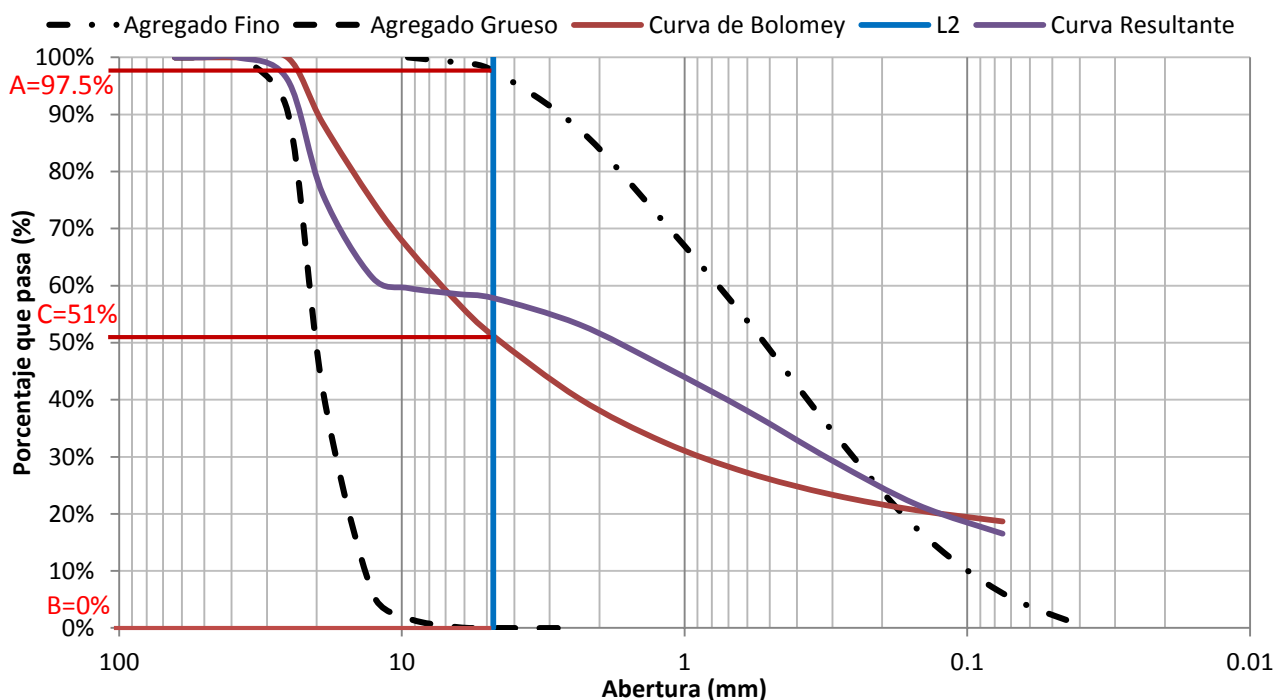


Fig. 4.22. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	mm	%	%	15.67%	44.11%	40.22%	100.00%	%
2"	50.8	100.00	100.00	15.67	44.11	40.22	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	15.67	44.11	40.22	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	15.67	44.11	36.43	96.21%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	15.67	44.11	16.77	76.55%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	15.67	44.11	2.45	62.23%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	15.67	44.11	0.69	60.47%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	15.67	43.71	0.06	59.44%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	15.67	43.07	0.00	58.75%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	15.67	38.56	0.00	54.23%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	15.67	31.33	0.00	47.01%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	15.67	23.74	0.00	39.41%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	15.67	15.21	0.00	30.89%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	15.67	7.63	0.00	23.30%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	15.67	2.69	0.00	18.36%	18.67%

Cuadro 4.39. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey
– Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

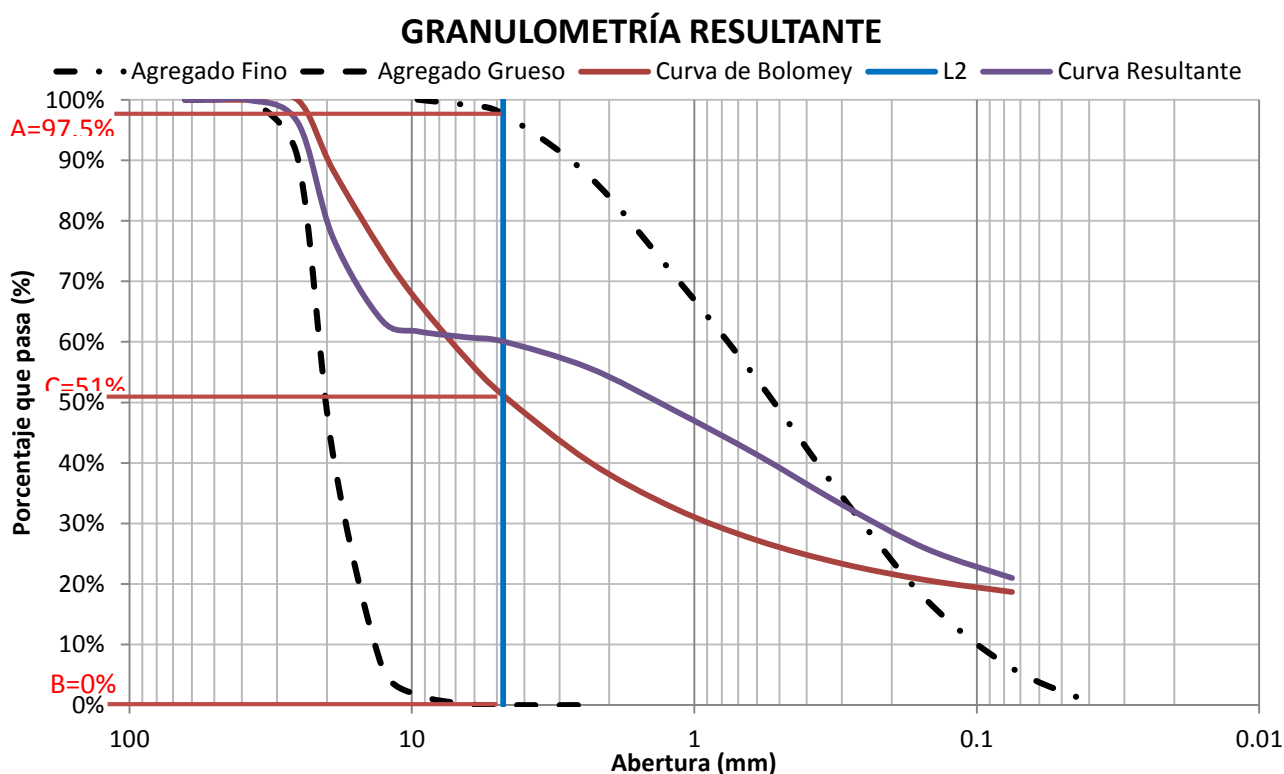


Fig. 4.23. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey –
Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	mm	%	%	18.38%	42.69%	38.92%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	18.38	42.69	38.92	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	18.38	42.69	38.92	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	18.38	42.69	38.92	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	18.38	42.69	35.26	96.33%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	18.38	42.69	16.23	77.30%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	18.38	42.69	2.37	63.45%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	18.38	42.69	0.66	61.74%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	18.38	42.30	0.06	60.74%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	18.38	41.69	0.00	60.07%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	18.38	37.32	0.00	55.70%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	18.38	30.33	0.00	48.71%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	18.38	22.97	0.00	41.36%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	18.38	14.72	0.00	33.11%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	18.38	7.38	0.00	25.77%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	18.38	2.60	0.00	20.99%	18.67%

Cuadro 4.40. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey –
Diseño de Mezcla F'C = 280 kg/cm²

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

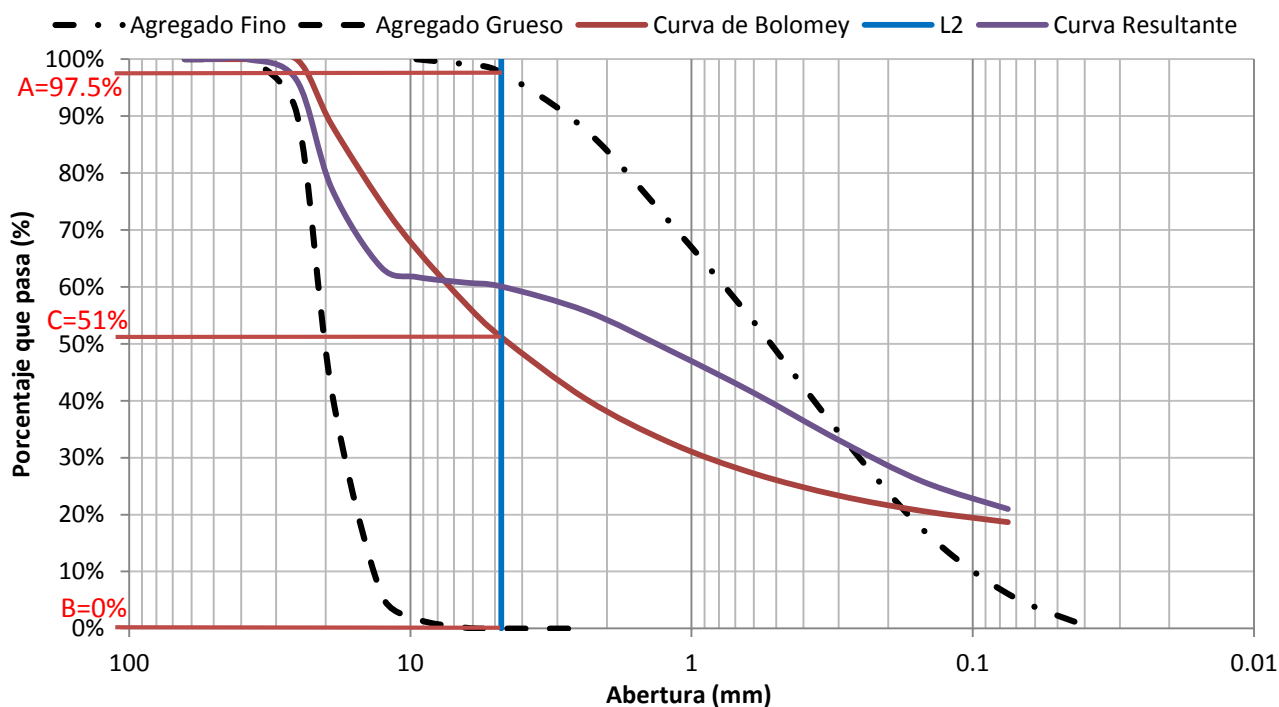


Fig. 4.24. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey –
Diseño de Mezcla F'C = 280 kg/cm²

C. MÉTODO POR MÓDULO DE FINEZA

En este método se procederá de manera similar a la realizada en el método de Füller, siendo este método de módulo de fineza más exacto que por el de tanteo, y se determina de la siguiente manera:

En esta ocasión se desarrolló un sistema de ecuaciones de forma $n+1$ con incógnitas de igual manera $n+1$ (t_n), donde podremos hallar el porcentaje ideal para cada agregado independiente incluyendo el cemento, resultando en las siguientes:

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100\%$$

$$MFB_n = \frac{MF_0 * t_0 + MF_1 * t_1 + MF_2 * t_2 \dots + MF_n * t_n}{t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

Dónde:

MF_0 = Modulo de fineza del cemento, considerado en este método como cero.

$MF_1, MF_2, \dots, MF_n$ = Modulo de fineza de los agregados 1, 2, ... n.

$t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ = Porcentaje del volumen absoluto del cemento (t_0) y de los agregados 1, 2, ... n. dentro de agregado global

$MFB_1, MFB_2, \dots, MFB_n$ = Modulo de fineza de la curva de Bolomey con los tamaños máximos de cada agregado 1, 2, ... n

En el caso de esta investigación, donde se trabaja únicamente con dos agregados (fino y grueso) las formulas antes planteadas quedarían de la siguiente manera:

$$t_1 = \frac{100(MF_2 - MFB_2) - (t_0 * MF_2)}{MF_2 - MF_1}$$

$$t_2 = 100\% - (t_0 + t_1)$$

$$t_0 + t_1 + t_2 = 100\%$$

Dónde:

MF_1 y MF_2 = Modulo de fineza de los agregados fino y grueso respectivamente

t_0, t_1 y t_2 = Porcentaje del volumen absoluto del cemento, los agregados fino y grueso respectivamente dentro de agregado global

MFB_2 = Modulo de fineza de la curva de Bolomey con el TM del agregado grueso.

Para tener un solo sentido de términos, los valores de t_1 y t_2 representan en este método al porcentaje de “ α ” y “ β ” respectivamente

Para finalizar se puede hacer la granulometría resultante de cada malla con los porcentajes obtenidos de cada método y compararlo con la granulometría ideal de Füller, para comprobar cual se asemeja más.

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Para realizar el método de Módulo de Fineza, en primer lugar es necesario conocer el módulo de fineza de la curva de Bolomey obtenida a partir de un TM de 1", cuando se resta el % de Pasante al 100% y sumando los resultados de las siguientes mallas:

CURVA DE BOLOMEY		MFB_2
Malla	% Pasante	TM = 1"
6"	100.00%	0.00%
3"	100.00%	0.00%
1 1/2"	100.00%	0.00%
3/4"	88.48%	11.52%
3/8"	66.66%	33.34%
# 4	51.19%	48.81%
# 8	40.21%	59.79%
# 16	32.54%	67.46%
# 30	27.22%	72.78%
# 50	23.35%	76.65%
# 100	20.61%	79.39%
TOTAL (MFB_2) =		599.26%

Cuadro 4.41. Módulo de fineza de la curva de Bolomey MFB_2 para un TM de 1"

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

Aplicando las formulas anteriormente descritas se obtendrá el siguiente proporcionamiento de agregado fino (t_1) y grueso (t_2).

$$MFB_2 = 599.26\%$$

$$t_1 = \frac{100 (7.566 - 5.9926) - (13.78\% * 7.566)}{7.566 - 2.383} = 30.16\%$$

$$t_2 = 100\% - (13.78\% + 30.16\%) = 56.07\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	mm	%	%	13.78%	30.16%	56.07%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	13.78	30.16	56.07	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	13.78	30.16	56.07	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	13.78	30.16	56.07	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	13.78	30.16	50.79	94.72%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	13.78	30.16	23.37	67.31%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	13.78	30.16	3.42	47.35%	74.81%
3/8"	9.525	100.00	1.71	13.78	30.16	0.96	44.89%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	13.78	29.88	0.08	43.74%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	13.78	29.45	0.00	43.23%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	13.78	26.36	0.00	40.14%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	13.78	21.42	0.00	35.20%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	13.78	16.23	0.00	30.01%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	13.78	10.40	0.00	24.18%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	13.78	5.22	0.00	19.00%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	13.78	1.84	0.00	15.62%	18.67%

Cuadro 4.42. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

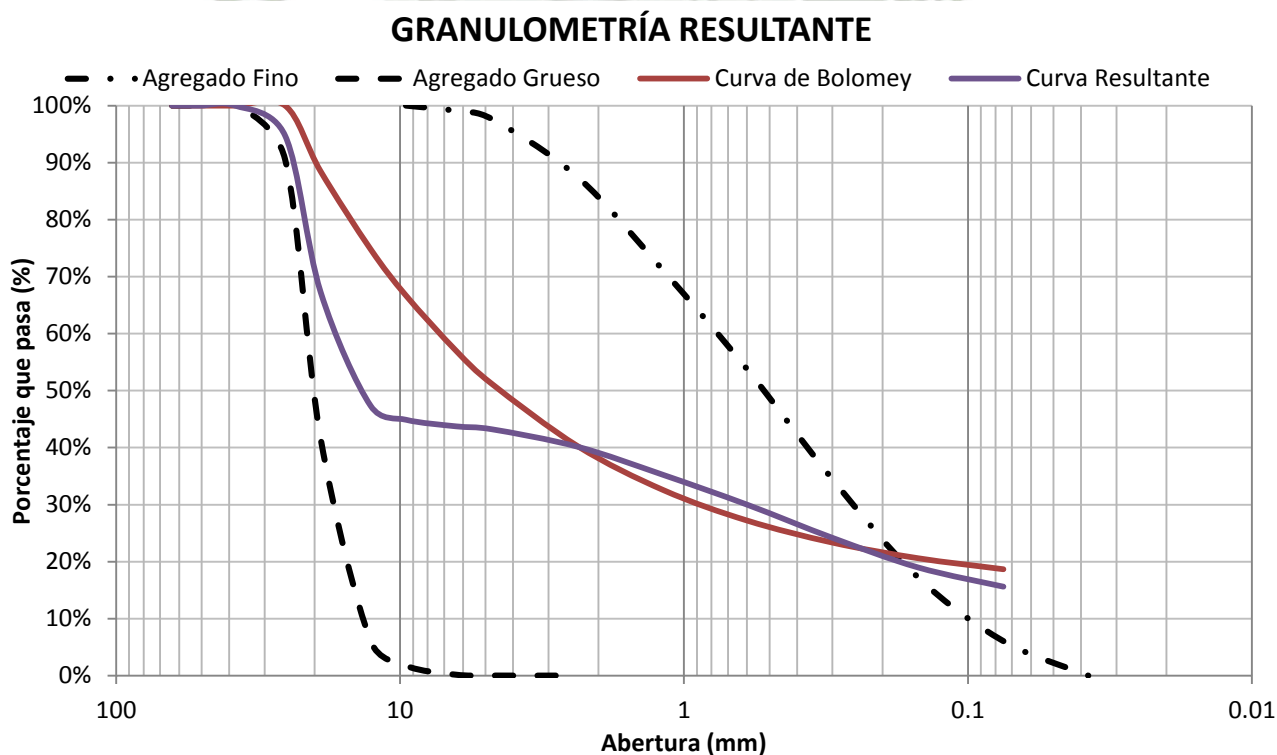


Fig. 4.25. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

Aplicando las formulas anteriormente descritas se obtendrá el siguiente proporcionamiento de agregado fino (t_1) y grueso (t_2).

$$MFB_2 = 599.26\%$$

$$t_1 = \frac{100 (7.566 - 5.9926) - (15.67\% * 7.566)}{7.566 - 2.383} = 30.13\%$$

$$t_2 = 100\% - (15.67\% + 30.13\%) = 54.20\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t_1)	A.G. (t_2)		
Plg	mm	%	%	15.67%	30.13%	54.20%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	15.67	30.13	54.20	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	15.67	30.13	54.20	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	15.67	30.13	54.20	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	15.67	30.13	49.09	94.90%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	15.67	30.13	22.59	68.40%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	15.67	30.13	3.30	49.10%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	15.67	30.13	0.92	46.73%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	15.67	29.85	0.08	45.61%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	15.67	29.42	0.00	45.10%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	15.67	26.34	0.00	42.01%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	15.67	21.40	0.00	37.08%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	15.67	16.21	0.00	31.89%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	15.67	10.39	0.00	26.07%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	15.67	5.21	0.00	20.89%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	15.67	1.84	0.00	17.51%	18.67%

Cuadro 4.43. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

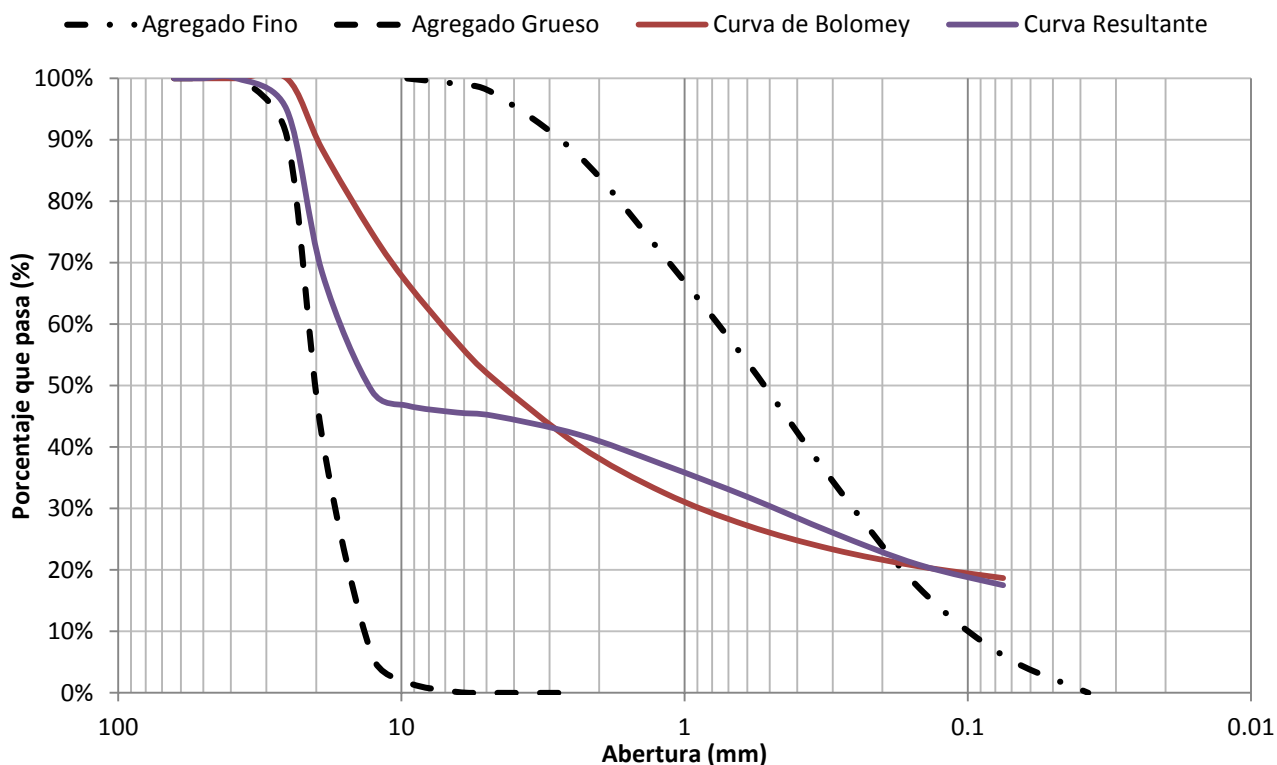


Fig. 4.26. Proporciónamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

Aplicando las formulas anteriormente descritas se obtendrá el siguiente proporciónamiento de agregado fino (t_1) y grueso (t_2).

$$MFB_2 = 599.26\%$$

$$t_1 = \frac{100 (7.566 - 5.9926) - (18.38\% * 7.566)}{7.566 - 2.383} = 30.09\%$$

$$t_2 = 100\% - (18.38\% + 30.09\%) = 51.53\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	BOLOMEY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (t ₁)	A.G. (t ₂)		
Plg	mm	%	%	18.38%	30.09%	51.53%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	18.38	30.09	51.53	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	18.38	30.09	51.53	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	18.38	30.09	51.53	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	18.38	30.09	46.68	95.15%	100.00%
¾"	19.05	100.00	41.69	18.38	30.09	21.48	69.95%	88.48%
½"	12.7	100.00	6.09	18.38	30.09	3.14	51.61%	74.81%
⅜"	9.525	100.00	1.71	18.38	30.09	0.88	49.35%	66.66%
¼"	6.35	99.09	0.15	18.38	29.81	0.07	48.27%	57.00%
# 4	4.75	97.66	0.00	18.38	29.38	0.00	47.77%	51.19%
# 8	2.36	87.41	0.00	18.38	26.30	0.00	44.68%	40.21%
# 16	1.18	71.03	0.00	18.38	21.37	0.00	39.76%	32.54%
# 30	0.60	53.82	0.00	18.38	16.19	0.00	34.58%	27.22%
# 50	0.30	34.49	0.00	18.38	10.38	0.00	28.76%	23.35%
# 100	0.15	17.30	0.00	18.38	5.20	0.00	23.59%	20.61%
# 200	0.075	6.10	0.00	18.38	1.83	0.00	20.22%	18.67%

Cuadro 4.44. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

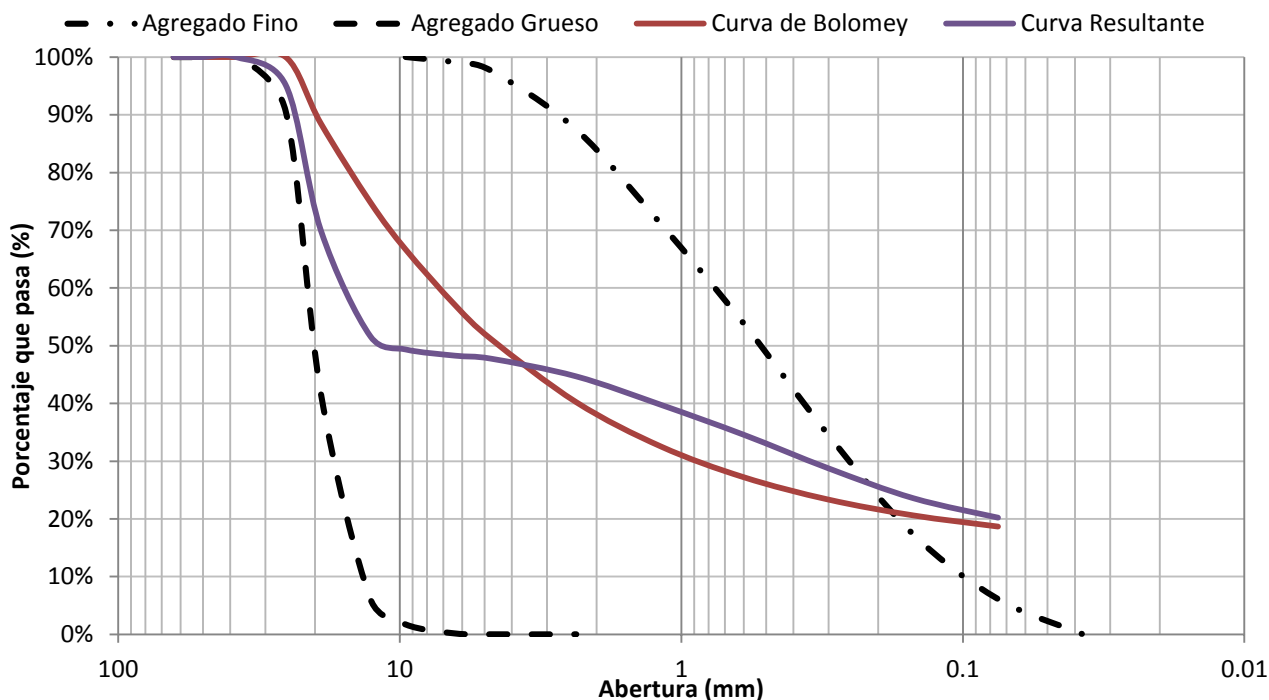


Fig. 4.27. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando las tres graficas resultantes de los tres métodos expuestos, se escogerá para las tres resistencia requeridas, el método de Modulo de Fineza de Bolomey como el porcentaje de proporcionamiento adecuado, debido a su mayor semejanza a la curva ideal de Bolomey

4.2.5.11. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS (AGUA Y AIRE)

Como se conoce el peso en kg, y el peso específico del agua y aire, se puede calcular los volúmenes de cada componente.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{\% \text{ Aire}}{100}$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua (Lt/m}^3\text{)}}{\text{Peso Especif. del agua (lts/m}^3\text{)}}$$

Para conocer el volumen absoluto de estos componentes del concreto, basta con sumar sus volúmenes (m³).

$$\text{Vol. abs. (aire y agua) (m}^3\text{)} = \text{Vol. aire} + \text{Vol. agua}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²,

Los componentes de aire y agua permanecerán constantes, independientes de la resistencia requerida.

$$\begin{aligned} \text{Vol. aire} &= \frac{1.5 \%}{100} = 0.015 \text{ m}^3 & \text{Vol. agua} &= \frac{198.79 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.199 \text{ m}^3 \\ \text{Vol. abs. (agua y aire)} &= 0.015 + 0.199 = 0.214 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4.2.5.12. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Como los datos de los volúmenes absolutos de los demás componentes son conocidos, se puede hallar con una sencilla operación el volumen del agregado global (agregado fino + grueso). De igual manera que el método de Füller en este caso se tiene que considerar que el volumen de la pasta (cemento + agua) es algo inferior que la suma de los volúmenes absolutos de cemento y agua, por lo que para obtener un metro cubico es necesario 1.025 de componentes.⁹²

$$\text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)} = 1.025 - \text{Vol. abs. (agua y aire)}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.025 - 0.214 = 0.811 \text{ m}^3$$

⁹² (Agustín Ortega, 2012)

4.2.5.13. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS (INCLUIDO EL CEMENTO)

Habiendo obtenido en el paso anterior los porcentajes de participación de cada agregado, se puede determinar el volumen absoluto de cada uno:

$$Volumen\ Cemento\ (m^3) = \frac{t_0}{100} \times Vol.\ de\ agregado\ global\ (m^3)$$

$$Volumen\ A.F.\ (m^3) = \frac{\alpha}{100} \times Vol.\ de\ agregado\ global\ (m^3)$$

$$Volumen\ A.G.\ (m^3) = \frac{\beta}{100} \times Vol.\ de\ agregado\ global\ (m^3)$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Volumen\ Cemento\ (m^3) = 0.1378 \times 0.811 = 0.112\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.F. = 0.3016 \times 0.811 = 0.245\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.G. = 0.5607 \times 0.811 = 0.455\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Volumen\ Cemento\ (m^3) = 0.1567 \times 0.811 = 0.127\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.F. = 0.3013 \times 0.811 = 0.244\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.G. = 0.5420 \times 0.811 = 0.440\ m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Volumen\ Cemento\ (m^3) = 0.1838 \times 0.811 = 0.149\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.F. = 0.3009 \times 0.811 = 0.244\ m^3$$

$$Volumen\ del\ A.G. = 0.5153 \times 0.811 = 0.418\ m^3$$

4.2.5.14. DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS

Para hallar el peso en kilogramos por metro cubico, solo basta con multiplicar los volúmenes de dichos componentes de agregados por su respectivo peso específico.

$$Cemento\ (kg/m^3) = Volumen\ Cemento(m^3) \times Peso\ Especif.\ Cemento$$

$$Wseco\ A.F.\ (kg/m^3) = Volumen\ A.F.\ (m^3) \times Peso\ Especif.\ A.F.$$

$$Wseco\ A.G\ (kg/m^3) = Volumen\ A.G.\ (m^3) \times Peso\ Especif.\ A.G.$$

Para comprobar que se procedió de una manera correcta, el peso del cemento calculado anteriormente con el volumen unitario de agua y la relación agua/cemento, debe coincidir peso de cemento calculado en este paso.

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Cemento} = 0.112 \text{ m}^3 * 2850 \text{ kg/m}^3 = 318.56 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.245 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 572.43 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.455 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 1236.17 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Cemento} = 0.127 \text{ m}^3 * 2850 \text{ kg/m}^3 = 362.39 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.244 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 571.90 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.440 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 1194.97 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Cemento} = 0.149 \text{ m}^3 * 2850 \text{ kg/m}^3 = 425.01 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.244 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 586.77 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.418 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 1141.98 \text{ kg/m}^3$$

4.2.5.15. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad (1.025 m³) para evitar errores de cálculo.

4.2.5.16. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Se procede a realizar la corrección por humedad y absorción de los agregados.

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	198.79	0.199	212.78	0.213
Cemento	318.56	0.112	318.56	0.112
A.G.	1236.17	0.455	1237.77	0.455
A.F.	572.43	0.245	578.95	0.247
TOTAL	2325.94	1.025	2348.06	1.042

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	198.79	0.199	212.61	0.213
Cemento	362.39	0.127	362.39	0.127
A.G.	1194.97	0.440	1196.53	0.440
A.F.	571.90	0.244	578.42	0.247
TOTAL	2328.06	1.025	2349.95	1.042
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	198.79	0.199	212.37	0.212
Cemento	425.01	0.149	425.01	0.149
A.G.	1136.13	0.418	1137.60	0.419
A.F.	571.15	0.244	577.66	0.247
TOTAL	2331.08	1.025	2352.65	1.042

4.2.5.17. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Para finalizar se presenta la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa).

F'C	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
175	318.56	1237.77	578.95	212.78
	1.00	3.89	1.82	28.39
210	362.39	1196.53	578.42	212.61
	1.00	3.30	1.60	24.93
280	425.01	1137.60	577.66	212.37
	1.00	2.68	1.36	21.24

4.2.6. MÉTODO DE FAURY

4.2.6.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Al no contar con datos previos y no tener un coeficiente de variación, la selección de la resistencia promedio se realizara de la misma manera que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 (f'c + 70)} \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.6.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.6.3. SELECCIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

La selección del contenido de aire seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$\text{Cont. de aire} = 1.5 \%$$

4.2.6.4. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO

La selección del tamaño se realizara de una manera diferente a las anteriores, ya que Faury basándose en las propiedades granulométricas da su propia definición sobre el tamaño máximo a usar en su método siendo la siguiente: “El tamaño máximo representa la menor abertura de tamiz por el cual pasa todo el agregado”⁹³. Para hallar el tamaño máximo es necesario determinar nuevos términos para este método siendo la primera ecuación a usar la siguiente:

$$d_2 = \frac{d_1}{2}$$

Dónde:

d_1 (") = Tamaño de abertura del 1er tamiz donde queda retenido el agregado grueso.

d_2 (") = Tamaño de abertura del tamiz inmediatamente inferior

La naturaleza de la ecuación anterior se da porque en el ensayo de granulometría se utiliza tamices normados que van en progresiva geométrica de razón de 2.

⁹³ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 154)

Teniendo los datos anteriores, se puede aplicar la formula desarrollada por Faury para determinar el tamaño máximo del agregado, que además nos da los límites para clasificar el agregado en fino-medio y agregado grueso según su granulometría.

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \frac{x}{y}$$

Dónde:

D (") = Tamaño máximo del agregado

x (%) = Porcentaje retenido acumulado que pasa el tamiz d_1

y (%) = Porcentaje retenido acumulado que pasa del tamiz d_1 al tamiz d_2 , es decir:

$$y(\%) = \%Ret\ acum\ d_2 - \%Ret\ acum\ d_1$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

Donde de las pruebas de granulometría realizadas a los agregados se obtiene lo siguiente:

$$d_1 = 1'' = 25.40\text{ mm}$$

$$d_2 = 1/2'' = 12.70\text{ mm}$$

y para obtener el tamaño máximo de agregado:

$$x = 9.42\%$$

$$y = 84.49\%$$

$$D = 25.40 + (25.40 - 12.70) \frac{9.42\%}{84.49\%}$$

$$D = 26.82\text{ mm} \cong 1\frac{1}{2}'' = 38.10\text{ mm}$$

4.2.6.5. DETERMINACIÓN DEL RADIO MEDIO

El radio medio es un término nuevo introducido por Faury como: “La relación del volumen del molde a su superficie. Pero el volumen que considera no es el de todo el molde sino el de la zona más densamente armada.”⁹⁴.

La definición del volumen y superficie que determinan el radio medio, se puede aclarar mediante la siguiente figura transversal de una viga típica simplemente armada.

⁹⁴ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 155)

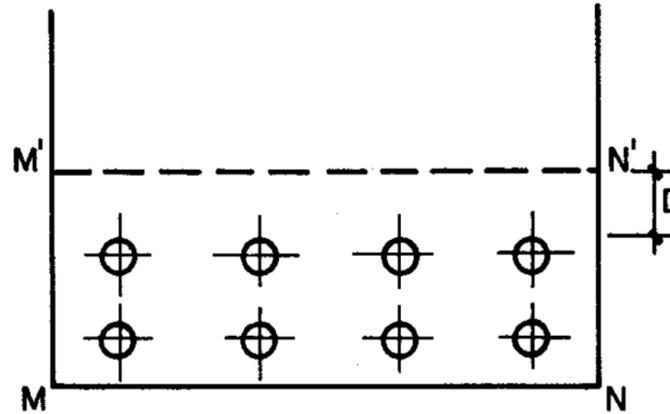


Fig. 4.28. Volumen a considerar para obtener el radio medio de una sección ⁹⁵

El volumen de la zona más armada está definida por los puntos MNN'M' siendo estos los límites las paredes del molde, y en la línea M'N' está limitado a una distancia D (Tamaño máximo) a partir de los ejes de las barras superiores; para obtener el volumen real a aplicar en la fórmula de Faury es necesario restarle el volumen de los aceros.

Si el diseño se realiza a una viga doblemente reforzada u otra estructura donde haya en más de un lugar distribuciones de acero, el cálculo del volumen se debe hacer con la zona que sea más densamente armada, para lograr que la trabajabilidad sea aceptable en esa zona.

El concepto de superficie abarca todas las caras del molde que estén en contacto con el volumen de concreto seleccionado, incluyendo también la superficie de contacto del acero de refuerzo con el concreto.

Teniendo en claro los términos de Faury, procedemos hallar el radio medio, mediante la siguiente formula:

$$R = \frac{V}{S}$$

Dónde:

R (mm) = Radio medio

V (mm³) = Volumen de la zona más densamente armada restando el volumen total de los aceros

S (mm²) = Superficie que está en contacto con volumen de concreto seleccionado.

⁹⁵ (Blanco Alvarez, pág. 33)

Considerando la figura N 4.4, se tendría el siguiente resultado por metro lineal:

$$R = \frac{V}{S} = \frac{(MN * MM')(1 m) - At_{aceros}(1 m)}{M'M + MN + NN' + S_{barras}}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

Según lo considerado en esta investigación el diseño de mezcla esta orientado a una viga doblemente reforzada, que utiliza acero 2Ø3/4 (19.05 mm) a 100 mm de la base y 3Ø5/8 (15.875 mm) a 50 mm de la base, siendo la parte inferior la parte más densamente armada y con la cual se trabajara.

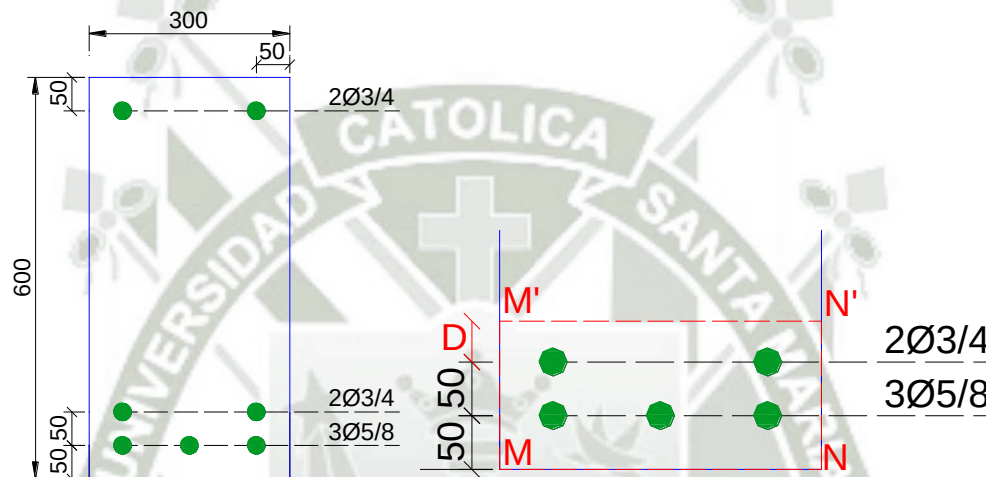


Fig. 4.29. Determinación del radio medio en una viga doblemente reforzada

Siendo

$$D = 38.10 \text{ mm}$$

$$\text{Ø}5/8 \Rightarrow \text{Area} = 197.933 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{Superficie} = 49.873 \text{ mm}$$

$$\text{Ø}3/4 \Rightarrow \text{Area} = 285.023 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{Superficie} = 59.847 \text{ mm}$$

$$R = \frac{V}{S} = \frac{(300 * (100 + 38.10)) - (3(197.933) + 2(285.023))}{138.10 + 300 + 138.10 + (3(49.873) + 2(59.847))} = \frac{40266.16}{845.513}$$

$$R = 47.623 \text{ mm}$$

4.2.6.6. REVISIÓN DEL EFECTO PARED

El efecto pared es la relación entre el tamaño máximo del agregado “D” y el radio medio del encontrado “R”, este es uno de los aspectos más característicos y novedosos de este método, ya que es aquí es donde radica su fundamento, el efecto pared se basa en: “(...) que cuantifica el efecto que una superficie dura ejerce sobre la porosidad de un material

granular en la zona adyacente a ella. Este efecto se deriva del desplazamiento que sufren las partículas con respecto a la posición que ocuparían si el material estuviera colocado en una masa indefinida, es decir, si no existiera la superficie que produce la interferencia”⁹⁶

Con la siguiente figura se podrá explicar mejor el concepto del efecto pared: Al colocar el agregado de un tamaño determinado en el molde o encofrado, generará espacios vacíos que perjudican a la resistencia y acabado del concreto, debido al contacto entre las partículas con el encofrado como se observa en la línea a'-a; para solucionar este problema se debe añadir agregado fino, que por su tamaño más pequeño pueda completar dichos espacios, con el objetivo de lograr la línea ideal de b'-b, sin llegar a ser excesivo en la adición de agregado fino ya que esto también generaría problemas en el concreto.

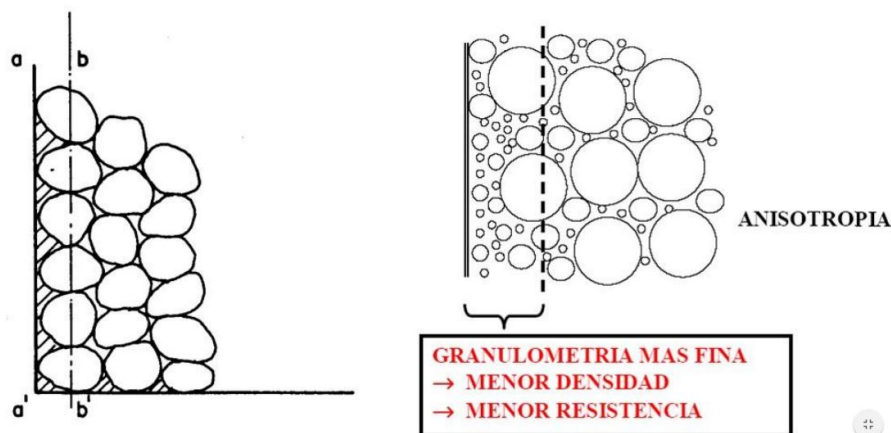


Fig. 4.30. Efecto Pared⁹⁷

Faury desarrollo una relación entre tamaño máximo del agregado grueso “D” y radio medio del molde “R” llamado Efecto Pared; para que el concreto no tenga deficiencias ni sufra problemas en su colocación, se debe seguir con las recomendaciones de Faury sobre los márgenes del efecto pared.

$$0.8 < \frac{D}{R} < 1.0$$

D/R = Efecto Pared

En el caso de vigas, columnas o elementos similares, se demostró que el tamaño máximo del agregado para resultados eficientes debe estar entre 20, y 25 mm (3/4” y 1”), cuando se trabaje con concreto prefabricado se debe tener en cuenta los encofrados y armaduras para

⁹⁶ (Blanco Alvarez, pág. 34)

⁹⁷ (Blanco Alvarez, pág. 34)

garantizar su funcionamiento. Hay una excepción que se da cuando se trabaja con estructuras masivas, ya que el efecto pared es mínimo, la relación D/R se puede asumir como 0.

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando $D = 38.10 \text{ mm}$ y $R = 47.623 \text{ mm}$

$$\frac{D}{R} = \frac{38.10 \text{ mm}}{47.623 \text{ mm}} = 0.800$$

$$0.8 < 0.8001 < 1.0$$

CUMPLE CON EL EFECTO PARED

4.2.6.7. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE HUECOS

El método de Faury propone una compacidad máxima y optima, por lo que en este método incluye en sus términos al contenido de huecos o vacíos presentes entre las partículas de los agregados y cemento que tendrán que ser ocupados por el agua, y esta depende principalmente de la consistencia, compactación y tamaño máximo del agregado.

Cuando no se tiene una masa de molde definida, el volumen de huecos se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_H = \frac{K}{\sqrt[5]{D}}$$

Cuando se tiene un molde de encofrado definido, se considera el efecto pared añadiendo un nuevo término en la ecuación anterior resultando en la siguiente:

$$V_H = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{K'}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

Dónde:

$V_H (\text{m}^3)$ = Volumen de los huecos

$K []$ = Coeficiente que depende de la consistencia, potencia de compactación y naturaleza de los agregados.

$K' []$ = Coeficiente del tipo de potencia de la compactación.

Compactación normal = 0.003 y Compactación alta o enérgica = 0.002

$R (\text{mm})$ = Radio medio del encofrado

$D (\text{mm})$ = Tamaño máximo del agregado

El coeficiente “K” se obtiene con la siguiente tabla, teniendo en cuenta que si se cuenta con agregados de buenas características y alta calidad es recomendable usar el valor mínimo de los rangos, sin embargo, si se tiene agregados con formas muy variadas, o defectuosas debe tomarse el límite superior de la siguiente tabla:

Asentamiento (mm)	Puesto en obra	Valores de K según el tipo de agregado		
		Aluvial o redondeados	Mixtos	Triturados o angulares
> 120	Consistencia muy fluida, sin compactación	≥ 0.370	≥ 0.405	≥ 0.460
50 – 120	Consistencia blanda, compactación media.	0.350 - 0.370	0.375 - 0.405	0.430 - 0.460
20 – 50	Consistencia seca, alta compactación	0.330 - 0.350	0.355 - 0.385	0.400 - 0.430
0 – 20	Consistencia de tierra humedad, compactación muy potente	0.250 - 0.330	0.330 - 0.350	0.350 - 0.370
-	Consistencia extra seca, compactación muy potente	≤ 0.250	≤ 0.330	≤ 0.350

Tabla 4.23. Valores del coeficiente “K”⁹⁸

La anterior tabla de Faury para hallar el valor de “K”, fue modificada más adelante por Zabaleta, donde se puede identificar que los términos de nulo, sin compactar, débil y media, se refieren al compactado poco potente como lo es el varillado manual. En este caso el asentamiento requerido es de 4” (10.16 cm), por lo que se eligió el valor promedio de 0.42 y 0.43 corresponde a arena chancada y grava chancada, siendo el resultado de “K” para usar en los tres diseños de 0.425.

Asentamiento cono (cm)	Compactación	Naturaleza de los áridos		
		Arena rodada Grava rodada	Arena rodada Grava Chancada	Arena chancada Grava chancada
12 – 15	Nula	0.380 - 0.390	0.405 - 0.415	0.430 - 0.440
10 – 12	Débil	0.370 - 0.380	0.395 - 0.405	0.420 - 0.430
8 – 10	Media	0.360 - 0.370	0.385 - 0.395	0.410 - 0.420
6 – 8	Cuidadosa	0.350 - 0.360	0.375 - 0.385	0.400 - 0.410
4 – 6	Potente	0.340 - 0.350	0.365 - 0.375	0.390 - 0.400
2 – 4	muy potente	0.330 - 0.340	0.355 - 0.365	0.380 - 0.390
0 – 2	excep. Potente	0.320 - 0.330	0.345 - 0.355	0.370 - 0.380

Tabla 4.24. Valores modificados del coeficiente “K”⁹⁹

⁹⁸ (Giraldo Bolívar, 2006, pág. 54)

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

Con lo dicho anteriormente se obtienen los datos de “K” = 0.425 y de “K'” de 0.003, debido a que se realizó con una compactación normal correspondiente a un varillado manual; aplicándolo a la formula se obtendrá el volumen de huecos presente en el concreto por m³.

$$V_H = \frac{0.425}{\sqrt[5]{38.10}} + \frac{0.003}{0.8001 - 0.75}$$

$$V_H = 0.211 \text{ m}^3$$

4.2.6.8. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Teniendo el valor del volumen de huecos en el concreto, podemos obtener el volumen unitario del agua necesaria, en este método también conocido como la fluidez del concreto para poder hallar una consistencia requerida y adecuada, ya que los espacios huecos se llenaran de agua cuando se realice la mezcla

La cantidad de agua por metro cubico será la densidad de la misma por el volumen a ocupar, es decir el volumen de los vacíos:

$$W_A = \rho * V_H$$

En este método considera la opción que existe cuando la mezcla necesite la incorporación de aire, modificando la ecuación anterior al quitar el volumen contenido del aire al volumen de huecos, con él a fin de no llenar estos espacios con agua y el aire incorporado pueda desarrollarse correctamente en la mezcla.

$$W_A = \rho * (V_H - V_a)$$

Dónde:

W_A (lt/m³) = Peso unitario del agua

ρ (kg/m³) = Densidad del agua ≈ 1000 kg/m³.

V_H (m³) = Volumen de los huecos por metro cubico

V_a (m³) = Volumen de aire incorporado por metro cubico

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

En este caso no se trabajara con aire incorporado, y ya obtenido el volumen de huecos = 0.211 m³, se obtendrá el volumen unitario de agua.

$$W_A = 1000 * 0.211$$

$$W_A = 211.21 \text{ lt/m}^3$$

⁹⁹ (Calero Sevilla, 2014, pág. 72)

4.2.6.9. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

De darse la cantidad mínima de cemento se hallara la relación a/c con el dato adicional de la cantidad de agua antes calculada, sin embargo si es que no se tiene un peso exacto de cemento, se procederá de la misma manera que el método de Füller, con la siguiente ecuación:

$$\frac{a}{c} = \frac{1}{Z}$$

Dónde:

$$Z = (K_1 * R_m) + 0.5$$

K_1 = Factor que depende de la forma del agregado.

Generalmente de 0.0030 a 0.0045 para piedra chancada o triturada y 0.0045 a 0.0070 para canto rodado o piedra redondeada

R_m = Resistencia promedio requerida

En este caso por ser el agregado grueso de perfil triturado consideramos un factor de forma $K_1 = 0.0045$ y se escogió el mayor valor del rango para una mayor seguridad y porque este genera un valor más cercano a los valores estándares.

DISEÑO DE MEZCLA

$$F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = (0.0045 * 245) + 0.5$$

$$Z = (0.0045 * 294) + 0.5$$

$$Z = (0.0045 * 364) + 0.5$$

$$Z = 1.603$$

$$Z = 1.823$$

$$Z = 2.138$$

$$a/c = 1/1.603$$

$$a/c = 1/1.823$$

$$a/c = 1/2.138$$

$$a/c = 0.624$$

$$a/c = 0.549$$

$$a/c = 0.468$$

4.2.6.10. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL CEMENTO

El peso del cemento se calculara con los datos de volumen unitario de agua y la relación a/c calculada en los anteriores pasos, sin embargo cabe recalcar que para este tipo de métodos se suele considerar una cantidad mínima de cemento, de ser esta mayor a la calculada el valor que se tiene de dato se impondrá en el diseño

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen unitario de agua (lt/m}^3\text{)}}{\text{Relacion agua/cemento}}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{211.21 \text{ lt/m}^3}{0.624} = 338.47 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{338.47 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 7.96 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{211.21 \text{ lt/m}^3}{0.549} = 385.04 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{385.04 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 9.06 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Peso cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{211.21 \text{ lt/m}^3}{0.468} = 451.57 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (bolsas/m}^3\text{)} = \frac{451.57 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 10.63 \text{ bolsas/m}^3$$

4.2.6.11. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DEL CEMENTO

En este método al igual que de Bolomey se considera al cemento dentro de los agregados globales, por lo que es necesario determinar el porcentaje de participación en volumen absoluto del cemento con respecto al volumen absoluto global de los materiales (agregados), con la siguiente ecuación:

$$t_0 = \frac{W_C}{\rho_C(1.00 - V_H - V_A)}$$

Dónde:

t_0 (%) = Porcentaje en volumen absoluto del cemento con respecto al volumen absoluto global de los agregados.

W_C (kg/m³) = Peso del cemento por metro cubico.

ρ_C (kg/m³) = Densidad del cemento.

V_H (m³) = Volumen de huecos.

V_A (m³) = Volumen de aire (atrapado + incorporado)

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$t_0 = \frac{338.47}{2850(1.00 - 0.211 - 0.015)} = 15.35 \%$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$t_0 = \frac{385.04}{2850(1.00 - 0.211 - 0.015)} = 17.46\%$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

$$t_0 = \frac{451.57}{2850(1.00 - 0.211 - 0.015)} = 20.48\%$$

4.2.6.12. DETERMINACIÓN DE LA GRÁFICA DE FAURY

Como se mencionó anteriormente Faury desarrollo una gráfica donde podemos obtener la máxima compacidad, teniendo en consideración las dos clases de agregados (fino-medio y grueso), es por eso que la gráfica tiene dos rectas con diferente pendiente de acuerdo al tipo de agregado.

Para determinar la gráfica de Faury al ser dos rectas continuas de diferente pendiente basta con encontrar el punto de intersección entre las rectas, llamado “Y” que se obtiene con la siguiente ecuación de Faury:

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

Dónde:

Y (%) = Porcentaje del volumen absoluto de las partículas que pasan el tamiz “d”, incluido el cemento.

D (mm) = Tamaño Máximo del agregado

R (mm) = Radio medio del encofrado

d (mm) = Abertura de las mallas en escala proporcional de raíz quinta $\sqrt[5]{d}$

d_0 (mm) = Tamaño mmo de los agregados, donde Faury considera 0.0065 mm

A [] = Coeficiente de la forma de los agregados y de la consistencia del hormigón

B [] = Coeficiente de la compactación y vibración del hormigón

Los coeficientes de A y B, se escogerán de las siguientes tablas dependiendo de las características de los agregados y de su nivel de compactación. Siendo escogidos los valores de A = 37 (promedio de valores) y B = 1.5 (Compactación manual)

Condiciones en la colocación del hormigón en obra	Asentamiento (mm)	Valores de A para varios tipos de agregados		
		Aluvial o redondeados	Mixtos	Triturados o angular
Consistencia muy fluida, se colocara sin compactar	> 150	≥ 32	≥ 34	≥ 38
Consistencia fluida, se colocara con baja compactación	100 – 150	30 – 32	32 – 34	36 -38
Consistencia blanda, compactación media.	50 – 100	28 – 30	30 – 32	34 – 36
Consistencia muy seca, alta compactación	20 – 50	26 – 28	28 – 30	32 – 34
Consistencia muy seca, compactación potente	5 – 20	24 – 26	26 – 28	30 – 32
Consistencia de tierra humedad, compactación muy potente	0	22 – 24	24 – 26	28 – 30
Compactación excepcionalmente potente	-	≤ 22	≤ 24	≤ 28

Tabla 4.25. Valores para el coeficiente “A” de la gráfica de Faury¹⁰⁰

Compactación del hormigón	Asentamiento (mm)	Valor de B
Vibración normal	≥ 40	1.5
Vibración Potente	< 40	1.0

Tabla 4.26. Valores para el coeficiente “B” de la gráfica de Faury¹⁰¹

En el gráfico observamos que en el lado de las abscisas, se colocan los tamaños de las aberturas de los tamices en escala proporcional a las raíces quintas, teniendo como punto de inicio el tamaño del agregado más pequeño considerado por Faury de 0.0065 mm (al estar en escala proporcional de raíz quinta se da en realidad lo siguiente $0.365 \text{ mm} = \sqrt[5]{0.0065}$), y en las ordenas tenemos a Y(%) que son los porcentajes pasantes del volumen absoluto en una escala de 0 a 100%.

¹⁰⁰ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 158)

¹⁰¹ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 158)

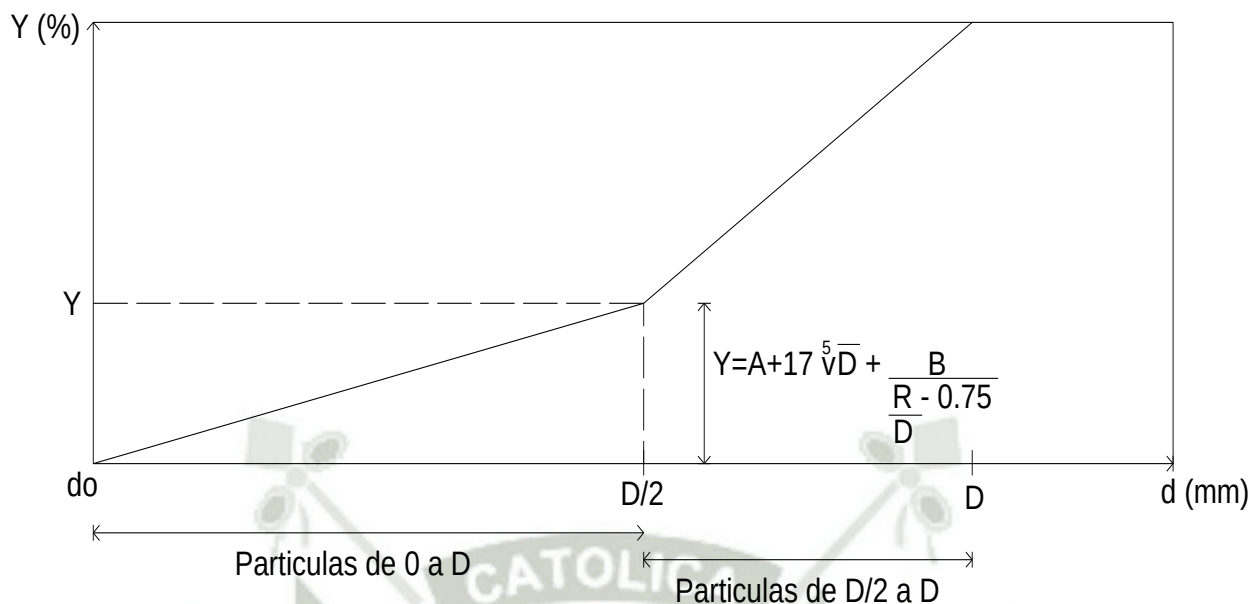


Fig. 4.31. Concepto de la gráfica de la ecuación de Faury¹⁰²

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

Teniendo los datos de A = 37 y B = 1.5, debido a las características de los agregados y tipo de compactación, se aplica en la fórmula de Faury para hallar el punto de quiebre en la gráfica de Faury.

$$Y = 37 + 17\sqrt[5]{38.10} + \frac{1.5}{\frac{47.623}{38.10} - 0.75}$$

$$Y = 75.21\%$$

Representándolo en la gráfica de Faury con las abscisas en escala proporcional a las raíces quintas, se obtiene la siguiente gráfica con los siguientes datos:

GRÁFICA DE FAURY		
Nomenclatura	Tamaño (mm)	Escala raíz quinta
D	38.10	2.071
D/2	19.050	1.803
do	0.0065	0.365

¹⁰² (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 153)

GRÁFICA DE LA ECUACIÓN DE FAURY

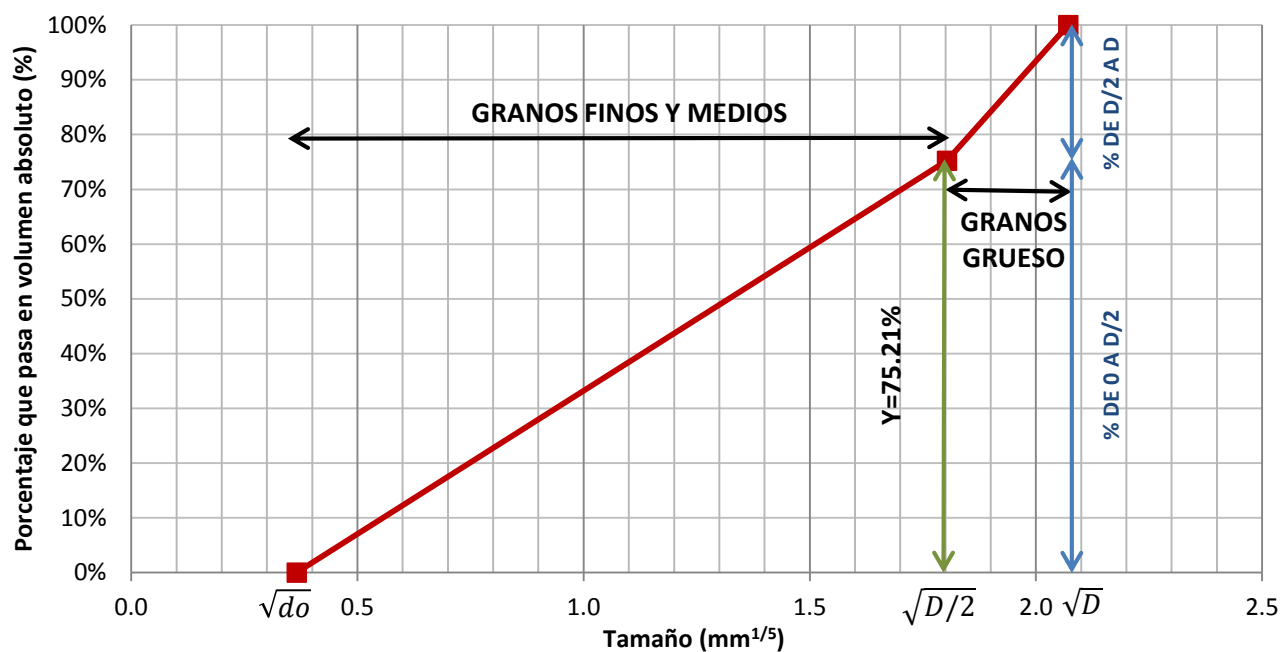


Fig. 4.32. Gráfica de la ecuación de Faury¹⁰³

Adicionalmente se puede generar una serie de datos para comparar en las curvas granulométricas resultantes, estas se obtendrán del grafico mostrado anteriormente, ya que se trata de dos rectas con pendiente positiva bastaría con generar dos ecuaciones para cada una de ellas e introducir los datos según el tamaño requerido

ECUACIÓN DE LA RECTA DE d_o a $D/2$

Del principio de la ecuación de la recta con pendiente, se obtiene lo siguiente:

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{75.21 - 0}{19.05 - 0.0065} = 3.9493$$

$$\begin{aligned} y - y_0 &= m(x - x_0) \\ y - 0 &= 3.9493(x - 0.0065) \\ y &= 3.9493x - 0.0257 \end{aligned}$$

¹⁰³ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 153)

ECUACIÓN DE LA RECTA DE D/2 a D

Del principio de la ecuación de la recta con pendiente, se obtiene lo siguiente:

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{100 - 75.21}{38.10 - 19.05} = 1.3014$$

$$\begin{aligned} y - y_0 &= m(x - x_0) \\ y - 75.21 &= 1.3014(x - 19.05) \\ \mathbf{y} &= \mathbf{1.3014x + 50.4153} \end{aligned}$$

Obteniendo así la siguiente tabla que representa la gráfica de Faury con las mallas usadas en esta investigación.

GRÁFICA DE FAURY		
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	Porcentaje Pasante (%)
2 ½"	63.5	100.00
2"	50.8	100.00
1 ½"	38.1	100.00
1"	25.4	83.47
¾"	19.05	75.21
½"	12.7	50.13
3/8"	9.525	37.59
¼"	6.35	25.05
# 4	4.75	18.73
# 8	2.36	9.29
# 16	1.18	4.63
# 30	0.60	2.34
# 50	0.30	1.16
# 100	0.15	0.57
# 200	0.075	0.27

Cuadro 4.45. Curva de Faury para un TM de 1''

4.2.6.13. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

En este método conociendo ya el término del porcentaje de participación del cemento, se podrá hallar directamente la proporción de los agregados fino-medio y grueso en el agregado global, para determinarlo se debe hacer un ajuste granulométrico tratando de conseguir los más óptimo dependiendo del tipo del agregado y forma de encofrado, este se puede obtener por tres métodos, explicados a continuación:

A. MÉTODO POR TANTEO

A diferencia de anteriores métodos de diseño de mezcla, para realizar el método por tanteo de Faury es necesario un poco más de conocimiento y experiencia en su uso, sin embargo una primera iteración es que considerando restar al 100% de agregados global el porcentaje de participación del cemento que es un dato conocido, lo restante de porcentaje se toma en cantidades iguales para los agregados y a partir de ahí ajustarlo hasta estar lo más cercano posible a la gráfica ideal de Faury.

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

$$\alpha + \beta = 100\% - t_o = 100\% - 15.35\% = 84.65\%$$

$$\alpha = 84.65\% / 2$$

$$\alpha = 42.33\%$$

$$\beta = 84.65\% / 2$$

$$\beta = 42.33\%$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$

$$\alpha + \beta = 100\% - t_o = 100\% - 17.46\% = 82.54\%$$

$$\alpha = 82.54\% / 2$$

$$\alpha = 41.27\%$$

$$\beta = 82.54\% / 2$$

$$\beta = 41.27\%$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

$$\alpha + \beta = 100\% - t_o = 100\% - 20.48\% = 79.52\%$$

$$\alpha = 79.52\% / 2$$

$$\alpha = 36.76\%$$

$$\beta = 79.52\% / 2$$

$$\beta = 36.76\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	15.35%	42.33%	42.33%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	15.35	42.33	42.33	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	15.35	42.33	42.33	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	15.35	42.33	42.33	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	15.35	42.33	38.34	96.01%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	15.35	42.33	17.64	75.32%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	15.35	42.33	2.58	60.25%	50.13%
3/8"	9.525	100.00	1.71	15.35	42.33	0.72	58.40%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	15.35	41.94	0.06	57.35%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	15.35	41.33	0.00	56.68%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	15.35	37.00	0.00	52.35%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	15.35	30.07	0.00	45.41%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	15.35	22.78	0.00	38.13%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	15.35	14.60	0.00	29.94%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	15.35	7.32	0.00	22.67%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	15.35	2.58	0.00	17.93%	0.27%

Cuadro 4.46. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury –
Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

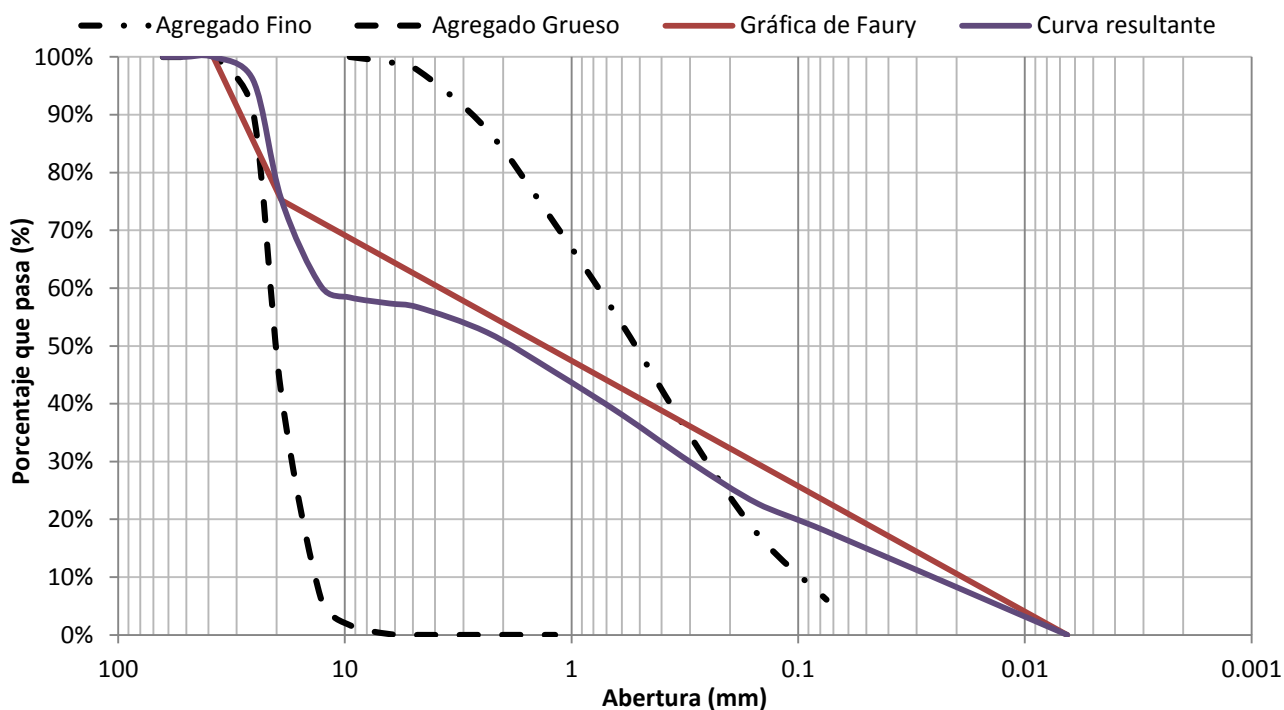


Fig. 4.33. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	41.27%	41.27%	100.00%	41.27%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	41.27	41.27	100.00%	41.27	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	41.27	41.27	100.00%	41.27	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	41.27	41.27	100.00%	41.27	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	41.27	37.38	96.11%	41.27	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	41.27	17.20	75.93%	41.27	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	41.27	2.51	61.24%	41.27	50.13%
⅜"	9.525	100.00	1.71	41.27	0.70	59.43%	41.27	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	40.89	0.06	58.41%	40.89	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	40.30	0.00	57.76%	40.30	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	36.07	0.00	53.53%	36.07	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	29.32	0.00	46.78%	29.32	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	22.21	0.00	39.67%	22.21	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	14.23	0.00	31.69%	14.23	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	7.14	0.00	24.60%	7.14	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	2.52	0.00	19.98%	2.52	0.27%

Cuadro 4.47. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury –
Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

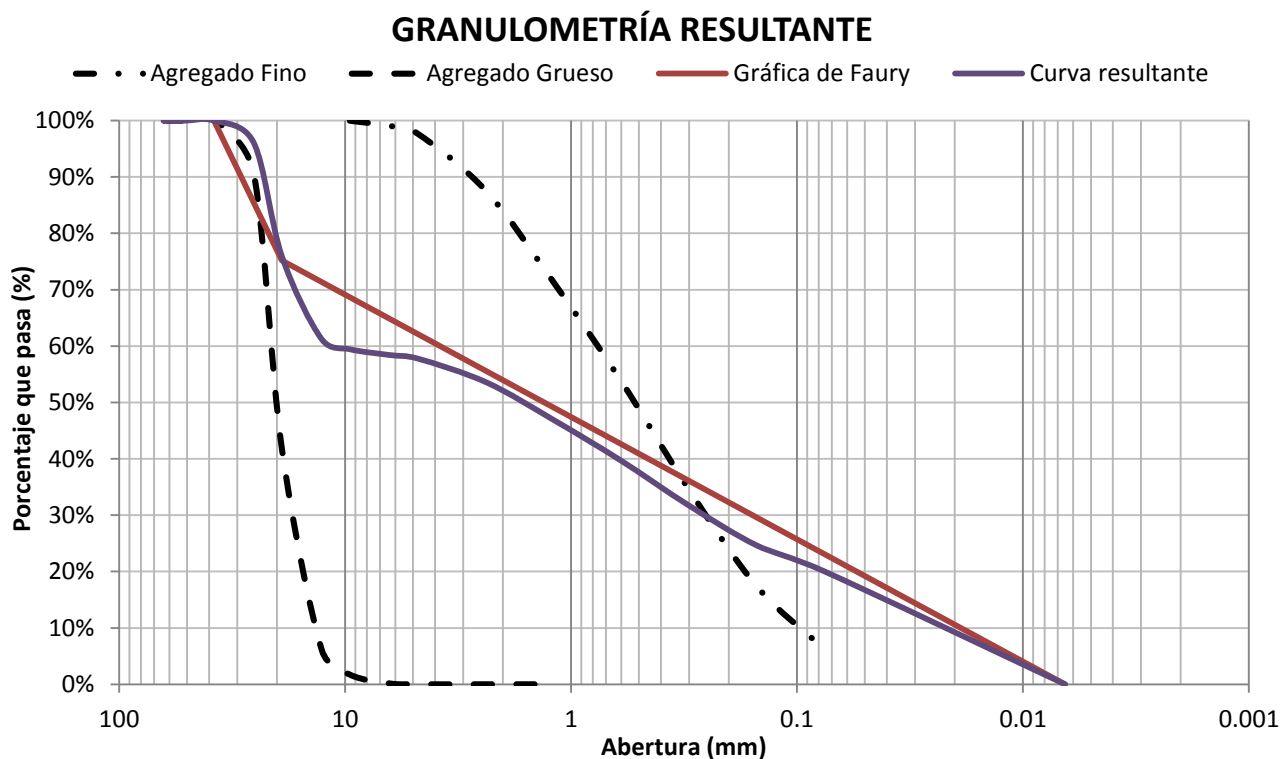


Fig. 4.34. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury –
Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	20.48%	39.76%	39.76%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	20.48	39.76	39.76	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	20.48	39.76	39.76	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	20.48	39.76	39.76	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	20.48	39.76	36.02	96.26%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	20.48	39.76	16.58	76.81%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	20.48	39.76	2.42	62.66%	50.13%
⅜"	9.525	100.00	1.71	20.48	39.76	0.68	60.92%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	20.48	39.40	0.06	59.93%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	20.48	38.83	0.00	59.31%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	20.48	34.76	0.00	55.23%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	20.48	28.24	0.00	48.72%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	20.48	21.40	0.00	41.87%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	20.48	13.71	0.00	34.19%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	20.48	6.88	0.00	27.35%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	20.48	2.42	0.00	22.90%	0.27%

Cuadro 4.48. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury –
Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

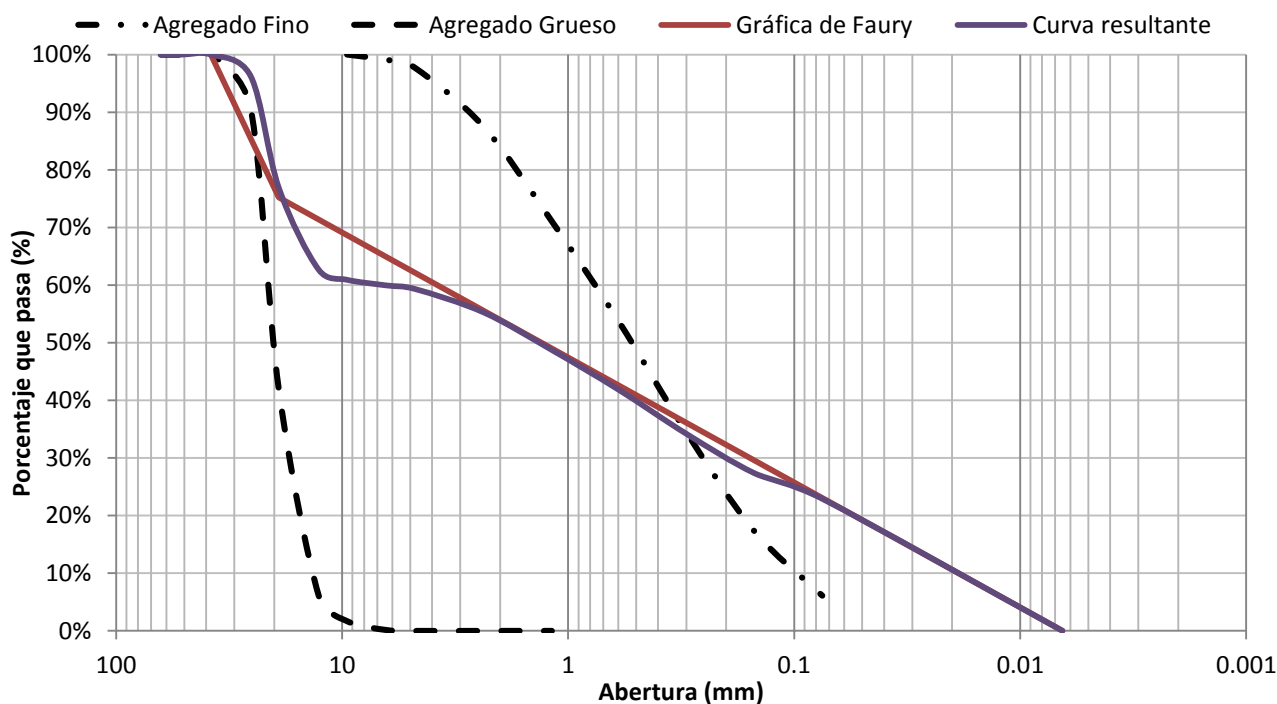


Fig. 4.35. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury –
Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

B. MÉTODO GRÁFICO

Para determinar el porcentaje de participación de los agregados grueso y fino con relación al agregado global, se procederá de la siguiente manera:

- Se dibujara en una misma hoja semilogarítmica las curvas granulométricas de los agregado grueso, fino y más si hubiese.
- En la misma hoja se dibujara la gráfica de Faury
- Se trazaran líneas verticales en los límites de las curvas granulométricas de los agregados, cuando estas choquen con la curva de Faury, se trazara una línea vertical a partir de ese punto y hasta llegar al eje de las ordenadas donde indicara el porcentaje de participación de cada agregado.

En la práctica real, en este método se pueden dar tres casos distintos, los cuales serán explicados con la siguiente gráfica, donde se muestra 4 curvas granulométricas distintas de 4 agregados distintos y una gráfica de Faury

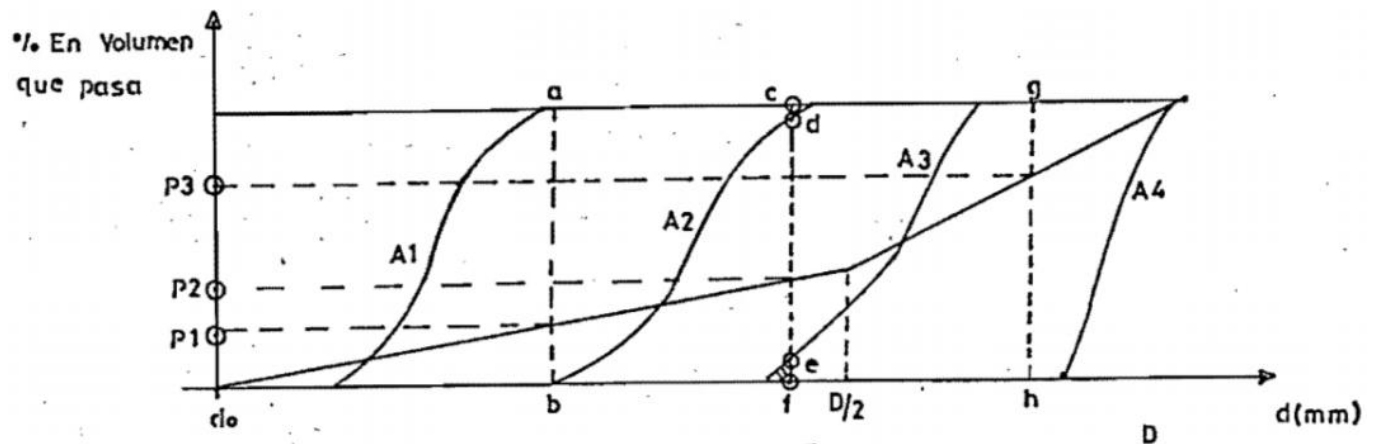


Fig. 4.36. Dosificación gráfica de agregados por Faury¹⁰⁴

CASO 1 = Cuando el límite de una curva granulométrica de agregados, coincida con el inicio de otra (A1 Y A2), por lo que solo se trazara una línea vertical “ab” y donde intercepte con la gráfica de Faury se trazara al eje de las ordenas obteniendo la primera proporción P1 para el agregado A1 (agregado más fino).

CASO 2 = Cuando dos curvas granulométricas de agregados se superpongan (A2 Y A3), por lo que se debe ubicar el punto donde “cd” y “ef” sean iguales, y de igual manera se trazara una línea vertical que intercepte con la gráfica de Faury obteniendo la proporción P2 para el agregado A2.

¹⁰⁴ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 162)

CASO 3 = Cuando dos curvas granulométricas de agregados estén distanciados entre sí por sus límites (A3 Y A4), por lo que se trazara la línea vertical en la abertura del tamiz medio, es decir el punto medio de los límites de ambas curvas granulométricas (entre el final de una curva y el comienzo de la otra), que interceptara con la gráfica de Faury y se ubicara la proporción P3 para el agregado A3; el porcentaje restante correspondería al agregado A4 (agregado más grueso)

Cabe recalcar que la gráfica de Faury incluye la proporción del cemento en el agregado fino-medio dentro del agregado global por lo que las partículas menores a D/2 se les restaran el porcentaje conocido del cemento quedando la proporción absoluta de la siguiente manera:

% Cemento = t_0 (dato conocido)

Porcentaje obtenido de la gráfica = “P1”

% Agregado fino-medio (menor a D/2) = $P1 - t_0$

% Agregado grueso (mayor a D/2) = $100 - (P1 + t_0)$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

Del grafico se obtiene que la intersección que corta a la gráfica de Faury resulta en un 67% y sabiendo que el porcentaje del cemento es de 15.35% se realiza los cálculos obteniendo:

$$\alpha = 67\% - 15.35\%$$

$$\alpha = 51.65\%$$

$$\beta = 100\% - 15.35\% - 51.65\%$$

$$\beta = 33.00\%$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

Del grafico se obtiene que la intersección que corta a la gráfica de Faury resulta en un 67% y sabiendo que el porcentaje del cemento es de 17.46% se realiza los cálculos obteniendo:

$$\alpha = 67\% - 17.46\%$$

$$\alpha = 49.54\%$$

$$\beta = 100\% - 17.46\% - 49.54\%$$

$$\beta = 33.00\%$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

Del grafico se obtiene que la intersección que corta a la gráfica de Faury resulta en un 67% y sabiendo que el porcentaje del cemento es de 20.48% se realiza los cálculos obteniendo:

$$\alpha = 67\% - 20.48\%$$

$$\alpha = 46.52\%$$

$$\beta = 100\% - 20.48\% - 46.52\%$$

$$\beta = 33.00\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	15.35%	51.65%	33.00%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	15.35	51.65	33.00	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	15.35	51.65	33.00	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	15.35	51.65	33.00	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	15.35	51.65	29.89	96.89%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	15.35	51.65	13.76	80.76%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	15.35	51.65	2.01	69.01%	50.13%
⅜"	9.525	100.00	1.71	15.35	51.65	0.56	67.56%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	15.35	51.18	0.05	66.58%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	15.35	50.44	0.00	65.79%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	15.35	45.15	0.00	60.50%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	15.35	36.69	0.00	52.04%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	15.35	27.80	0.00	43.14%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	15.35	17.81	0.00	33.16%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	15.35	8.93	0.00	24.28%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	15.35	3.15	0.00	18.50%	0.27%

Cuadro 4.49. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury –
Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

GRANULOMETRÍA RESULTANTE

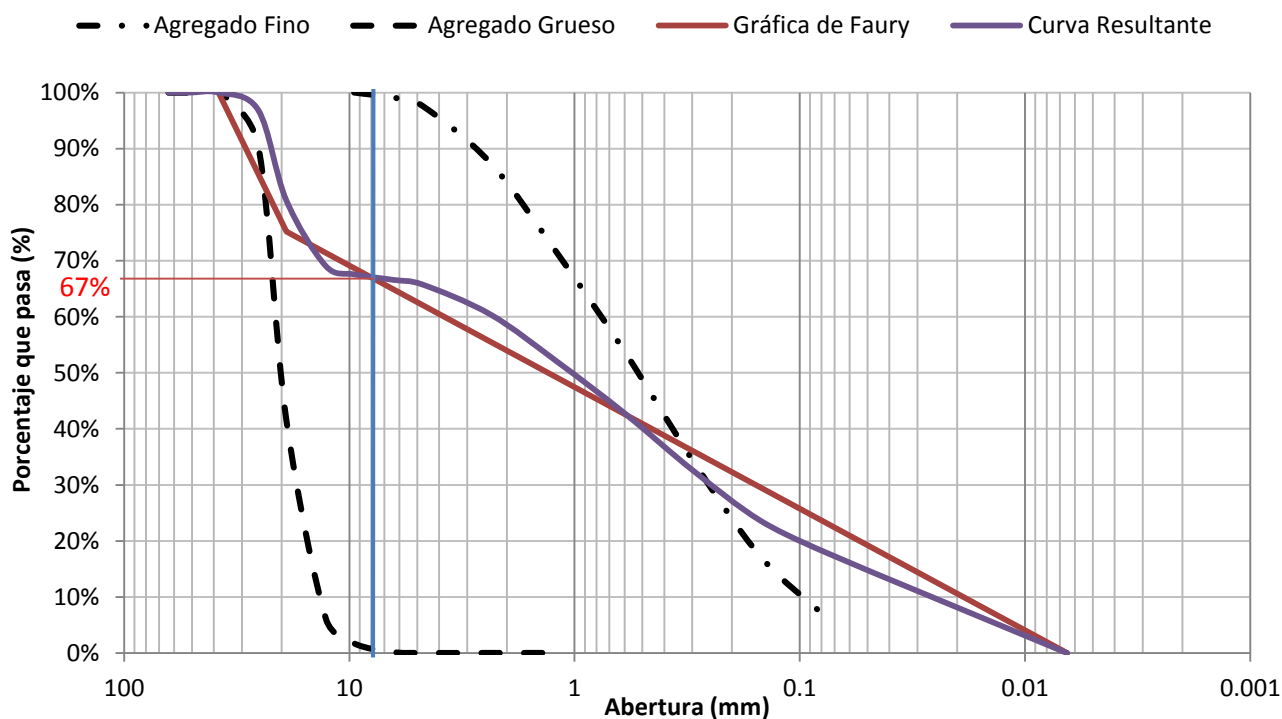


Fig. 4.37. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury –
Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	17.46%	49.54%	33.00%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	17.46	49.54	33.00	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	17.46	49.54	33.00	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	17.46	49.54	33.00	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	17.46	49.54	29.89	96.89%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	17.46	49.54	13.76	80.76%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	17.46	49.54	2.01	69.01%	50.13%
⅜"	9.525	100.00	1.71	17.46	49.54	0.56	67.56%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	17.46	49.09	0.05	66.59%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	17.46	48.38	0.00	65.84%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	17.46	43.30	0.00	60.76%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	17.46	35.19	0.00	52.65%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	17.46	26.66	0.00	44.12%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	17.46	17.08	0.00	34.54%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	17.46	8.57	0.00	26.03%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	17.46	3.02	0.00	20.48%	0.27%

Cuadro 4.50. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury –
Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

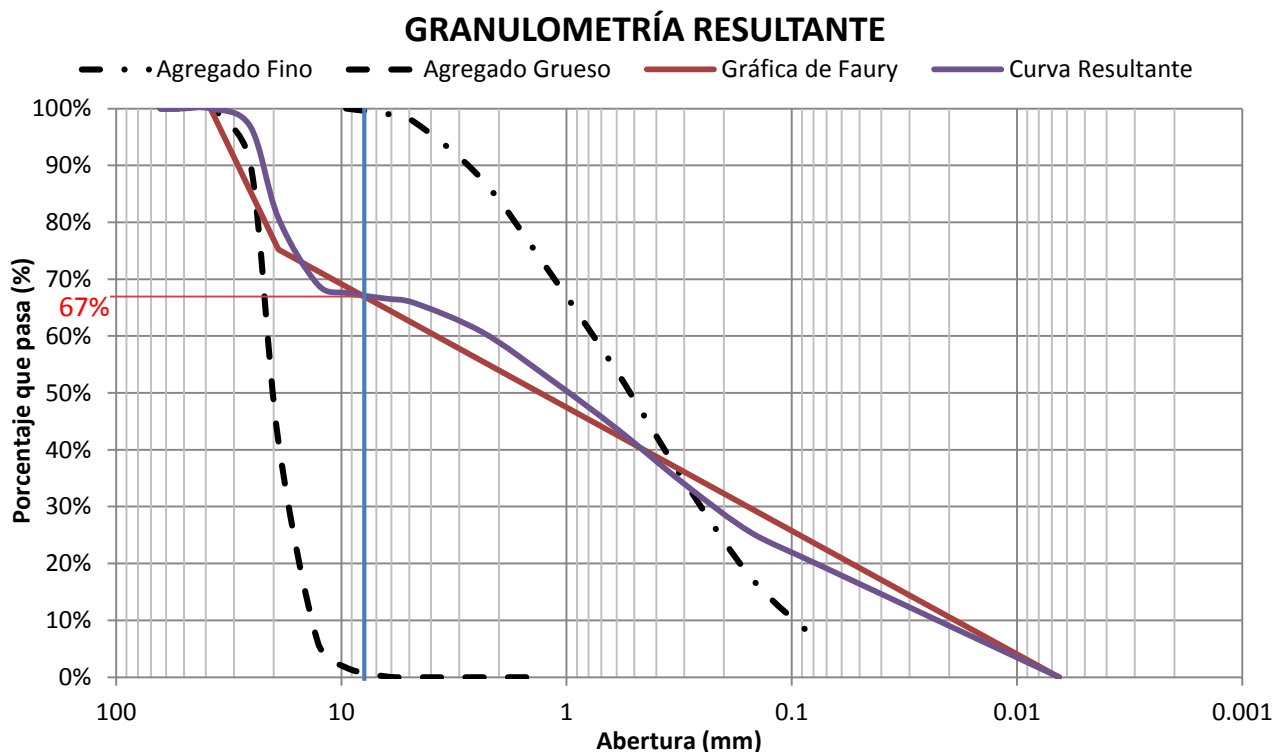


Fig. 4.38. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury –
Diseño de Mezcla F'C = 210 kg/cm²

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	20.48%	46.52%	33.00%	100%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	20.48	46.52	33.00	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	20.48	46.52	33.00	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	20.48	46.52	33.00	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	20.48	46.52	29.89	96.89%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	20.48	46.52	13.76	80.76%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	20.48	46.52	2.01	69.01%	50.13%
⅜"	9.525	100.00	1.71	20.48	46.52	0.56	67.56%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	20.48	46.10	0.05	66.62%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	20.48	45.43	0.00	65.91%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	20.48	40.67	0.00	61.14%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	20.48	33.05	0.00	53.52%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	20.48	25.04	0.00	45.51%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	20.48	16.04	0.00	36.52%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	20.48	8.05	0.00	28.52%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	20.48	2.84	0.00	23.31%	0.27%

Cuadro 4.51. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury –
Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

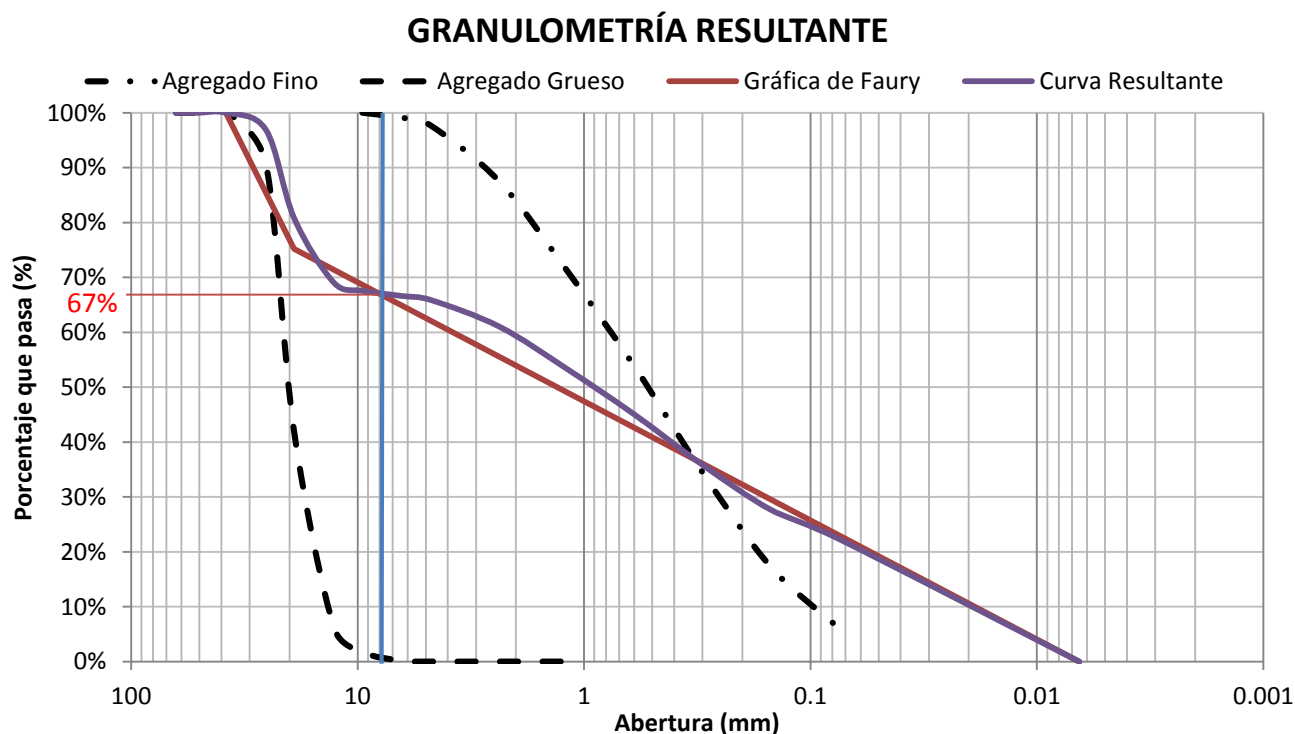


Fig. 4.39. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury –
Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

C. MÉTODO POR ÍNDICES PONDERALES

El método de los índices ponderales, tiene una forma de resolverse parecida a la del método de módulo de finura revisado en anteriores métodos de diseño de mezclas, para comenzar es necesario saber que: “Por definición el índice ponderal de una mezcla de agregados es igual a la suma de los productos obtenidos multiplicando la proporción en volumen absoluto de cada tamaño por el índice ponderal correspondiente, para cada tamaño existe un índice ponderal” ¹⁰⁵

Este método es más exacto que los anteriores debido a que se utilizan sistemas de ecuaciones con incógnitas que representan la proporción de los agregados más la cantidad de cemento:

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 1$$

$$(t_0 * I_{P0}) + (t_1 * I_{P1}) + (t_2 * I_{P2}) + \dots + (t_{Pn} * I_{Pn}) = I_R$$

Dónde:

t_0 = Porcentaje absoluto del cemento en la proporción del agregado global

$t_1, t_2, \dots, t_n$ = Porcentaje absoluto en fracción de los agregados 1, 2, ... n. dentro del agregado global

I_R = Índice Ponderal del concreto de referencia

$I_{P0}, I_{P1}, I_{P2}, \dots, I_{Pn}$ = Índice Ponderal del cemento (I_{P0}) y los agregados

En el caso de esta investigación, donde se trabaja únicamente con dos agregados (fino y grueso) las formulas antes planteadas quedarían de la siguiente manera, siendo estas las que determinen el porcentaje de participación de los agregados en el concreto, considerando que el índice ponderal del concreto se iguala al índice ponderal de referencia de Faury.

$$t_0 + t_F + t_G = 1$$

$$(t_0 * I_0) + (t_F * I_F) + (t_G * I_G) = I_R$$

Dónde:

I_R = Índice ponderal de referencia

I_0, I_F, I_G = Índice ponderal del cemento, agregados fino-medio y grueso respectivamente

t_0, t_f, t_g = Porcentaje en fracción del volumen absoluto del cemento, los agregados fino-medio y grueso respectivamente dentro de agregado global

¹⁰⁵ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 163)

Para tener un solo sentido de términos, los valores de t_F y t_G representan en este método al porcentaje de “ α ” y “ β ” respectivamente.

Las ecuaciones anteriores se unen y despejan para formar una única ecuación que nos determine el porcentaje de participación óptimo de los agregados.

$$t_F = \frac{I_R - I_G(1 - t_0) - t_0}{I_F - I_G} = \alpha (\%)$$

$$t_G = 1 - t_F - t_0 = \beta (\%)$$

ÍNDICE PONDERAL DE LOS AGREGADOS

El índice ponderal de cada agregado fino-medio y grueso (I_F y I_G), incluido cemento (I_0) dependerá de su granulometría:

$$I_F = (t_1 * I_{P1}) + (t_2 * I_{P2}) + \dots + (t_{Pn} * I_{Pn})$$

$$I_G = (t_3 * I_{P3}) + (t_4 * I_{P4}) + (t_5 * I_{P5}) + \dots + (t_{Pn} * I_{Pn})$$

$$I_0 = (t_0 * I_0)$$

Dónde:

I_F = Índice ponderal de la agregado fino-medio o arena

I_G = Índice ponderal de la agregado grueso o grava

I_0 = Índice ponderal del cemento

$t_1, t_2, \dots, t_n$ = Porcentaje en fracción de pasante acumulado retenido en cada intervalo de tamiz de cada agregado

$I_{P0}, I_{P1}, I_{P2}, \dots, I_{Pn}$ = Índice ponderal de cada intervalo retenido del agregado y cemento

t_0 (%) = Porcentaje en volumen absoluto del cemento con respecto al volumen absoluto global de agregados = %Cemento expresado en fracción.

El índice ponderal de cada intervalo retenido de los tipos de agregado presente en la mezcla se puede hallar de tres maneras:

a) POR TABLA

Se desarrolló una tabla, donde indica que para cada intervalo de tamaño de agregado retenido entre sus mallas al realizar el ensayo de granulometría, existe su índice ponderal:

Tamaño de Partículas (mm)		Índice Ponderal (Ip)
Lodos y cemento	< 0.1	1.000
Arena fina	0.1 - 0.4	0.790
Arena media	0.4 - 1.6	0.695
Arena gruesa	1.6 - 6.3	0.390
Grava fina	6.3 - 12.5	0.240
Grava media	12.5 - 25.0	0.160
Grava gruesa	25.0 - 50.0	0.100
Piedras	50.0 - 100.0	0.040

Tabla 4.27. Valores de Índice Ponderal “Ip” para agregados según el tamaño de las partículas ¹⁰⁶

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

ÍNDICE PONDERAL DEL AGREGADO FINO

AGREGADO FINO			ÍNDICE PONDERAL							
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	% Pasante	< 0.1	0.1 - 0.4	0.4 - 1.6	1.6 - 6.3	6.3 - 12.5	12.5-25	25 - 50	50-100
3/8"	9.525	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	-	-	-
1/4"	6.35	99.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	-	-	-
# 4	4.75	97.66%	0.00%	0.00%	0.00%	99.09%	-	-	-	-
# 8	2.36	87.41%	0.00%	0.00%	0.00%	97.66%	-	-	-	-
# 16	1.18	71.03%	0.00%	0.00%	87.41%	-	-	-	-	-
# 30	0.60	53.82%	0.00%	0.00%	71.03%	-	-	-	-	-
# 50	0.30	34.49%	0.00%	53.82%	-	-	-	-	-	-
# 100	0.15	17.30%	0.00%	34.49%	-	-	-	-	-	-
# 200	0.075	6.10%	17.30%	-	-	-	-	-	-	-
		0.00%	17.30%	36.52%	33.60%	11.68%	0.91%	0.00%	0.00%	0.00%

Cuadro 4.52. Índice Ponderal del Agregado Fino por método de Tabla de Faury

¹⁰⁶ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 163)

Nomenclatura	Tamaño (mm)	Ip	% Pasante
Lodos y cemento	< 0.1	1.000	0.173
Arena fina	0.1 - 0.4	0.790	0.365
Arena media	0.4 - 1.6	0.695	0.336
Arena gruesa	1.6 - 6.3	0.390	0.117
Grava fina	6.3 - 12.5	0.240	0.009
Grava media	12.5 - 25.0	0.160	0.000
Grava gruesa	25.0 - 50.0	0.100	0.000
Piedras	50.0 - 100.0	0.040	0.000

$$Ip_{AF} = 0.743$$

ÍNDICE PONDERAL DEL AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO			ÍNDICE PONDERAL							
Malla	Tamaño del tamiz (mm)	% Pasante	< 0.1	0.1- 0.4	0.4- 1.6	1.6- 6.3	6.3-12.5	12.5-25	25 - 50	50 - 100
2 ½"	63.5	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.8	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 ½"	37.5	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	-
1"	25.4	90.58%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	-
¾"	19.05	41.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	90.58%	-	-
½"	12.7	6.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	41.69%	-	-
3/8"	9.525	1.71%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.09%	-	-	-
¼"	6.35	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.71%	-	-	-
# 4	4.75	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	-	-	-	-
# 8	2.36	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-	-	-	-
# 16	1.18	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-	-	-	-	-
		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	5.95%	84.49%	9.42%	0.00%

Cuadro 4.53. Índice Ponderal del Agregado Grueso por método de Tabla de Faury

Nomenclatura	Tamaño (mm)	Ip	% Pasante
Lodos y cemento	< 0.1	1.000	0.000
Arena fina	0.1 - 0.4	0.790	0.000
Arena media	0.4 - 1.6	0.695	0.000
Arena gruesa	1.6 - 6.3	0.390	0.001
Grava fina	6.3 - 12.5	0.240	0.059
Grava media	12.5 - 25.0	0.160	0.845
Grava gruesa	25.0 - 50.0	0.100	0.094
Piedras	50.0 - 100.0	0.040	0.000

$$Ip_{AG} = 0.159$$

b) POR GRÁFICO

Si los tamaños de los agregados disponibles no se encuentran en la tabla anterior, se puede usar la siguiente grafica desarrollada por Faury, donde se halla el índice ponderal de cualquier agregado conociendo los límites superior e inferior del tamaño del agregado, ubicándolos en la escala inferior de la figura y encontrando el punto medio de estos dos, este punto en la escala superior nos dará el índice ponderal de dicho margen de tamaño de agregado.

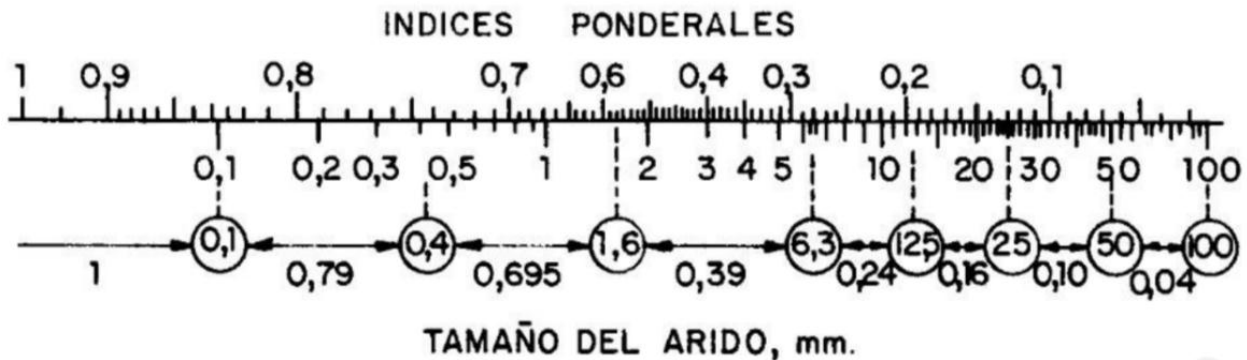


Fig. 4.40. Índice Ponderal “Ip” para los agregados - Faury¹⁰⁷

En este caso los tamaños de los agregados estaban dentro de la tabla por lo que no es necesario realizar un análisis del grafico ya que se tienen los datos en la tabla anteriormente descrita.

c) POR ECUACIONES

Existe un modelo matemático realizado a partir de la gráfica anterior, donde identificados los límites de tamaño de los agregados a calcular, podemos identificar el índice ponderal mediante una serie de ecuaciones descritas a continuación:

$$x = \frac{\ln(Ls) + \ln(Li) + 4.605}{2.773}$$

Dónde:

Ls (mm) = Malla o límite superior del tamaño del agregado

Li (mm) = Malla o límite inferior del tamaño del agregado

Luego procede a calcular el índice ponderal del agregado con una de las siguientes ecuaciones en función al valor de “x”¹⁰⁸.

¹⁰⁷ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 164)

¹⁰⁸ (Giraldo Bolívar, 2006, pág. 56)

- Cuando $x \leq 1.4$ $I_p = -0.0165 * x^2 - 0.0637 * x + 0.828$
- Cuando $1.4 < x \leq 2.16$ $I_p = 0.1753 * x^3 - 1.1618 * x^2 + 2.1948 * x - 0.5727$
- Cuando $x > 2.16$ $I_p = -0.0019 * x^3 + 0.0479 * x^2 - 0.421 * x + 1.1635$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

ÍNDICE PONDERAL DEL AGREGADO FINO

Ls		Li		Pasante	X	Ip
Malla	mm	Malla	mm	%		
1/2"	12.700	3/8"	9.525	0.91%	3.390	0.213
3/8"	9.525	1/4"	6.350	1.43%	3.140	0.255
1/4"	6.350	# 4	4.750	10.25%	2.889	0.301
# 4	4.750	# 8	2.360	16.38%	2.532	0.374
# 8	2.360	# 16	1.180	17.22%	2.030	0.562
# 16	1.180	# 30	0.600	19.33%	1.536	0.693
# 30	0.600	# 50	0.300	17.19%	1.042	0.744
# 50	0.300	# 100	0.150	11.20%	0.542	0.789
# 100	0.150	# 200	0.075	6.10%	0.042	0.825

$$Ip_{AF} = 0.595$$

Cuadro 4.54. Índice Ponderal del Agregado Fino por método de ecuaciones de Faury

ÍNDICE PONDERAL DEL AGREGADO GRUESO

Ls		Li		Pasante	X	Ip
Malla	Mm	Malla	Mm	%		
2 1/2"	63.500	2"	50.800	0.00%	4.574	0.058
2"	50.800	1 1/2"	37.500	9.42%	4.384	0.078
1 1/2"	37.500	1"	25.400	48.90%	4.134	0.107
1"	25.400	3/4"	19.050	35.60%	3.890	0.139
3/4"	19.050	1/2"	12.700	4.39%	3.640	0.174
1/2"	12.700	3/8"	9.525	1.56%	3.390	0.213
3/8"	9.525	1/4"	6.350	0.15%	3.140	0.255
1/4"	6.350	# 4	4.750	0.00%	2.889	0.301
# 4	4.750	# 8	2.360	0.00%	2.532	0.374
# 8	2.360	# 16	1.180	0.00%	2.030	0.562

$$Ip_{AG} = 0.121$$

Cuadro 4.55. Índice Ponderal del Agregado Grueso por método de ecuaciones de Faury

ÍNDICE PONDERAL DE REFERENCIA

El índice ponderal de referencia de Faury se puede hallar de dos maneras:

a) POR EL GRÁFICO DE FAURY

A partir del gráfico de Faury se determinó el punto de intersección “Y” que representaba al porcentaje del volumen absoluto de partículas que pasan el tamiz “d”, y podíamos dividir a los agregados en dos grupos:

Agregado fino-medio (do a D/2) = con una proporción de Y% incluido el cemento

Agregado grueso (D/2 a D) = con una proporción de 100% - Y%

Conociendo las proporciones y los límites de tamaño de los dos grupos antes mencionados, podemos calcular el índice ponderal de cada uno de ellos, con cualquiera de los tres métodos antes descritos, resultando en la siguiente ecuación para hallar el índice ponderal de referencia.

$$I_R = Y\% * I_{PL1} + (100\% - Y\%) * I_{PL2}$$

Dónde:

I_R = Índice ponderado de referencia

Y(%) = Porcentaje de volumen absoluto del grupo de agregado fino-medio (incluido cemento), obtenido según la gráfica de Faury.

I_{PL1} y I_{PL2} = Índices ponderados de los límites de tamaño de los grupos de agregado fino-medio y grueso respectivamente.

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Nomenclatura	Tamaño (mm)		X	I_{PL}
	Li	Ls		
$I_{pl1} = \text{do a } D/2$	0.0065	19.050	0.907	0.757
$I_{pl2} = D/2 \text{ a } D$	19.050	38.100	4.036	0.120

$$I_R = 75.21\% * 0.757 + (100\% - 75.21\%) * 0.120$$

$$I_R = 0.599$$

b) POR ECUACIONES

El índice ponderal de referencia, se puede hallar también por medio de ecuaciones descritas a continuación:

$$I_R = \frac{Y}{100} * I_{R1} + \left(1 - \frac{Y}{100}\right) * I_{R2}$$

Dónde:

I_R = Índice ponderado de referencia

$Y(\%)$ = Porcentaje de volumen absoluto del grupo de agregado fino-medio (incluido cemento), obtenido según la gráfica de Faury.

I_{R1} = Índice ponderal de referencia para los agregados con límites de d a D

I_{R2} = Índice ponderal de referencia para los agregados con límites de $D/2$ a D

Para hallar el valor de “ I_{R2} ”, conociendo sus límites de $D/2$ a D , se utilizara cualquiera de los tres métodos para hallar el índice ponderal de los agregados antes descritos.

Para hallar el valor de “ I_{R1} ”, se considerara el valor de $d = D/2$ y se usara en la siguiente figura cuyo funcionamiento es igual al de los índices ponderados, con la diferencia que este es aplicado solo al índice ponderal de referencia I_{R1} ; en la parte inferior se ubica “ d ” en mm y en la parte superior nos dará dicho índice ponderal de referencia I_{R1} .

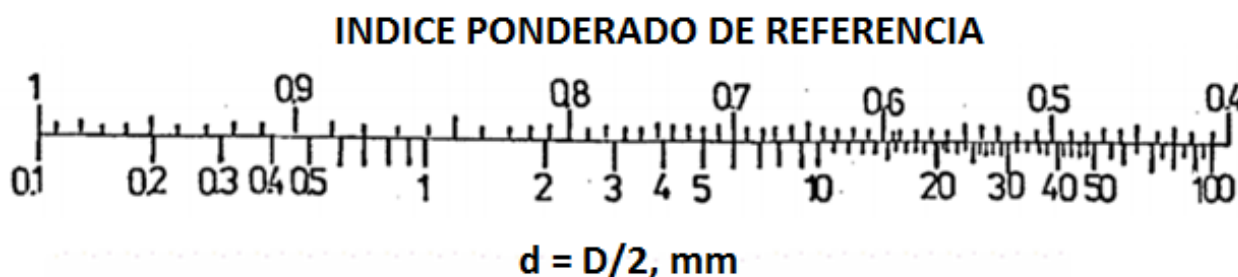


Fig. 4.41. Índice Ponderal de referencia “ I_{R1} ” para el concreto de referencia - Faury¹⁰⁹

Existe también un modelo matemático desarrollado por la gráfica anterior descrita a continuación:

$$I_{R1} = -0.0002 * (\ln(d))^5 + 0.0015 * (\ln(d))^4 - 0.0018(\ln(d))^3 - 0.0151(\ln(d))^2 - 0.0637\ln(d) + 0.861$$

¹⁰⁹ (Giraldo Bolivar, 1987, pág. 166)

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

En primer lugar se calcular I_{R1} , utilizando la figura antes mostrada o reemplazar el dato conocido de $d = 13.408$ en la fórmula de la siguiente manera:

$$I_{R1} = -0.0002 * (\ln(13.408))^5 + 0.0015 * (\ln(13.408))^4 - 0.0018(\ln(13.408))^3 - 0.0151(\ln(13.408))^2 - 0.0637\ln(13.408) + 0.861$$

$$I_{R1} = 0.607$$

Luego se procede a calcular I_{R2} , con los siguientes datos y utilizando las formulas desarrolladas para el índice ponderal de los agregados.

Nomenclatura	Tamaño (mm)		X	I_{R2}
	Li	Ls		
$I_{R2} = D/2 \text{ a } D$	19.050	38.100	4.036	0.120

$$I_{R2} = 0.120$$

Para finalizar calculamos el índice de referencia, con los datos obtenidos anteriormente:

$$I_R = \frac{75.21\%}{100} * 0.486 + \left(1 - \frac{75.21\%}{100}\right) * 0.120$$

$$I_R = 0.486$$

PROPORCIÓN DE LOS AGREGADOS

Se realizara el proporcionamiento de los agregados dentro del agregado global con los índices ponderados y de referencia obtenidos por el método de ecuaciones por su exactitud:

$$I_{pAF} = 0.595 \quad I_{pAG} = 0.121 \quad I_R = 0.486$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

$$\alpha (\%) = \frac{0.486 - 0.121(1 - 0.1535) - 0.1535}{0.595 - 0.121} \quad \beta (\%) = 1 - 48.63\% - 15.35\%$$

$$\alpha = 48.63\% \quad \beta = 36.02\%$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$

$$\alpha (\%) = \frac{0.486 - 0.121(1 - 0.1746) - 0.1746}{0.595 - 0.121} \quad \beta (\%) = 1 - 44.71\% - 17.46\%$$

$$\alpha = 44.71\% \quad \beta = 37.83\%$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

$$\alpha (\%) = \frac{0.486 - 0.121(1 - 0.2048) - 0.2048}{0.595 - 0.121} \quad \beta (\%) = 1 - 38.11\% - 20.48\%$$

$$\alpha = 39.11\% \quad \beta = 40.41\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	Mm	%	%	15.35%	48.63%	36.02%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	15.35	48.63	36.02	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	15.35	48.63	36.02	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	15.35	48.63	36.02	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	15.35	48.63	32.63	96.61%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	15.35	48.63	15.02	78.99%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	15.35	48.63	2.19	66.17%	50.13%
3/8"	9.525	100.00	1.71	15.35	48.63	0.61	64.59%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	15.35	48.18	0.05	63.58%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	15.35	47.49	0.00	62.84%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	15.35	42.51	0.00	57.85%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	15.35	34.54	0.00	49.89%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	15.35	26.17	0.00	41.52%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	15.35	16.77	0.00	32.12%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	15.35	8.41	0.00	23.76%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	15.35	2.96	0.00	18.31%	0.27%

Cuadro 4.56. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices
Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

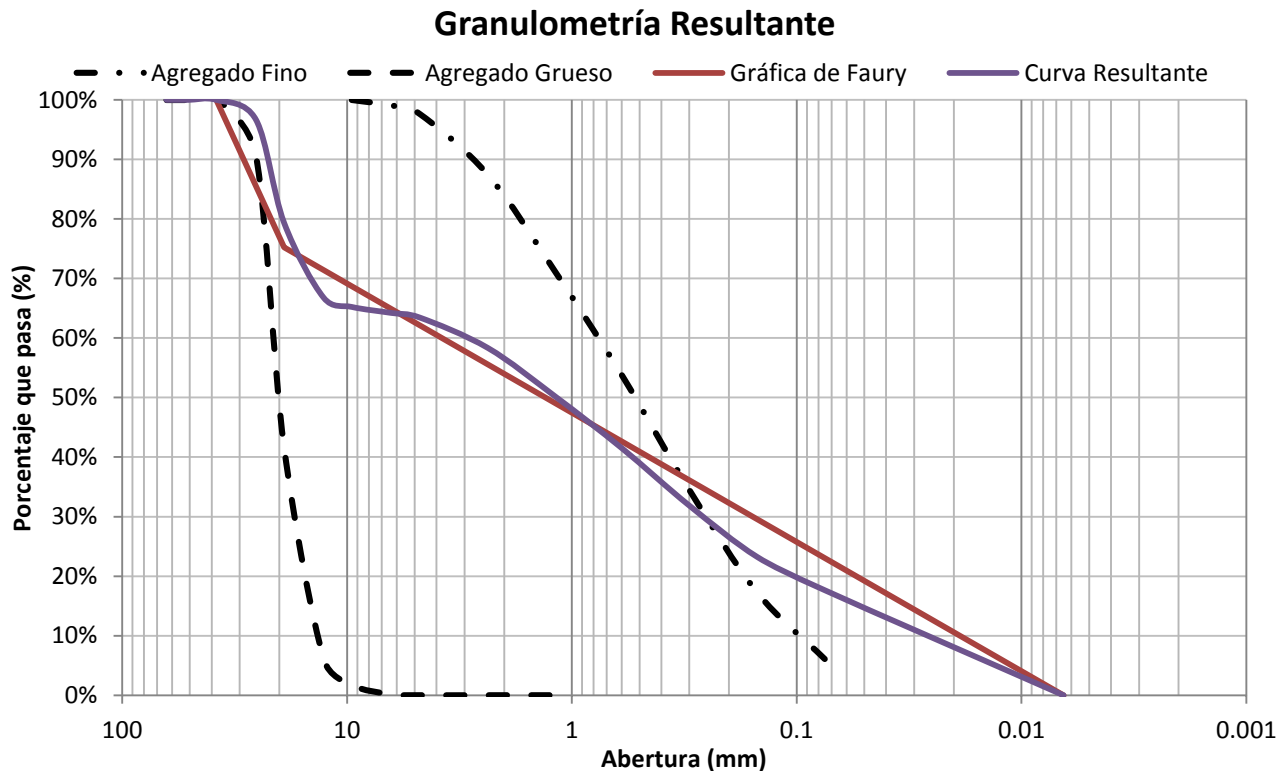


Fig. 4.42. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices
Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	Mm	%	%	17.46%	44.71%	37.83%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	17.46	44.71	37.83	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	17.46	44.71	37.83	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	17.46	44.71	37.83	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	17.46	44.71	34.27	96.44%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	17.46	44.71	15.77	77.94%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	17.46	44.71	2.30	64.48%	50.13%
3/8"	9.525	100.00	1.71	17.46	44.71	0.65	62.82%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	17.46	44.30	0.05	61.82%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	17.46	43.66	0.00	61.12%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	17.46	39.08	0.00	56.54%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	17.46	31.76	0.00	49.22%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	17.46	24.06	0.00	41.52%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	17.46	15.42	0.00	32.88%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	17.46	7.73	0.00	25.19%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	17.46	2.73	0.00	20.19%	0.27%

Cuadro 4.57. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$

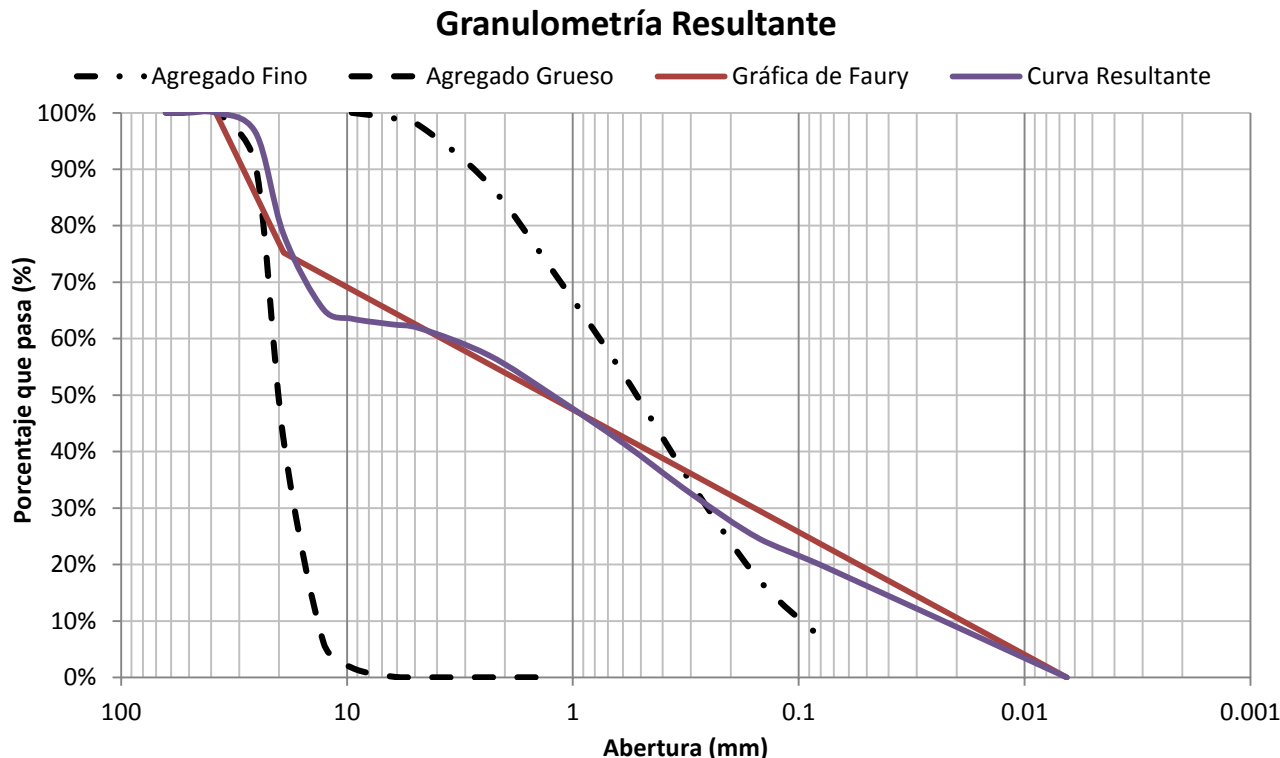


Fig. 4.43. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento			CURVA RESULTANTE	FAURY
		A.F.	A.G.	Cemento	A.F. (α)	A.G. (β)		
Plg	mm	%	%	20.48%	39.11%	40.41%	100.00%	%
2 ½"	63.5	100.00	100.00	20.48	39.11	40.41	100.00%	100.00%
2"	50.8	100.00	100.00	20.48	39.11	40.41	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	20.48	39.11	40.41	100.00%	100.00%
1"	25.4	100.00	90.58	20.48	39.11	36.60	96.19%	83.47%
¾"	19.05	100.00	41.69	20.48	39.11	16.85	76.44%	75.21%
½"	12.7	100.00	6.09	20.48	39.11	2.46	62.05%	50.13%
⅜"	9.525	100.00	1.71	20.48	39.11	0.69	60.28%	37.59%
¼"	6.35	99.09	0.15	20.48	38.76	0.06	59.29%	25.05%
# 4	4.75	97.66	0.00	20.48	38.20	0.00	58.67%	18.73%
# 8	2.36	87.41	0.00	20.48	34.19	0.00	54.67%	9.29%
# 16	1.18	71.03	0.00	20.48	27.78	0.00	48.26%	4.63%
# 30	0.60	53.82	0.00	20.48	21.05	0.00	41.53%	2.34%
# 50	0.30	34.49	0.00	20.48	13.49	0.00	33.97%	1.16%
# 100	0.15	17.30	0.00	20.48	6.77	0.00	27.24%	0.57%
# 200	0.075	6.10	0.00	20.48	2.38	0.00	22.86%	0.27%

Cuadro 4.58. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

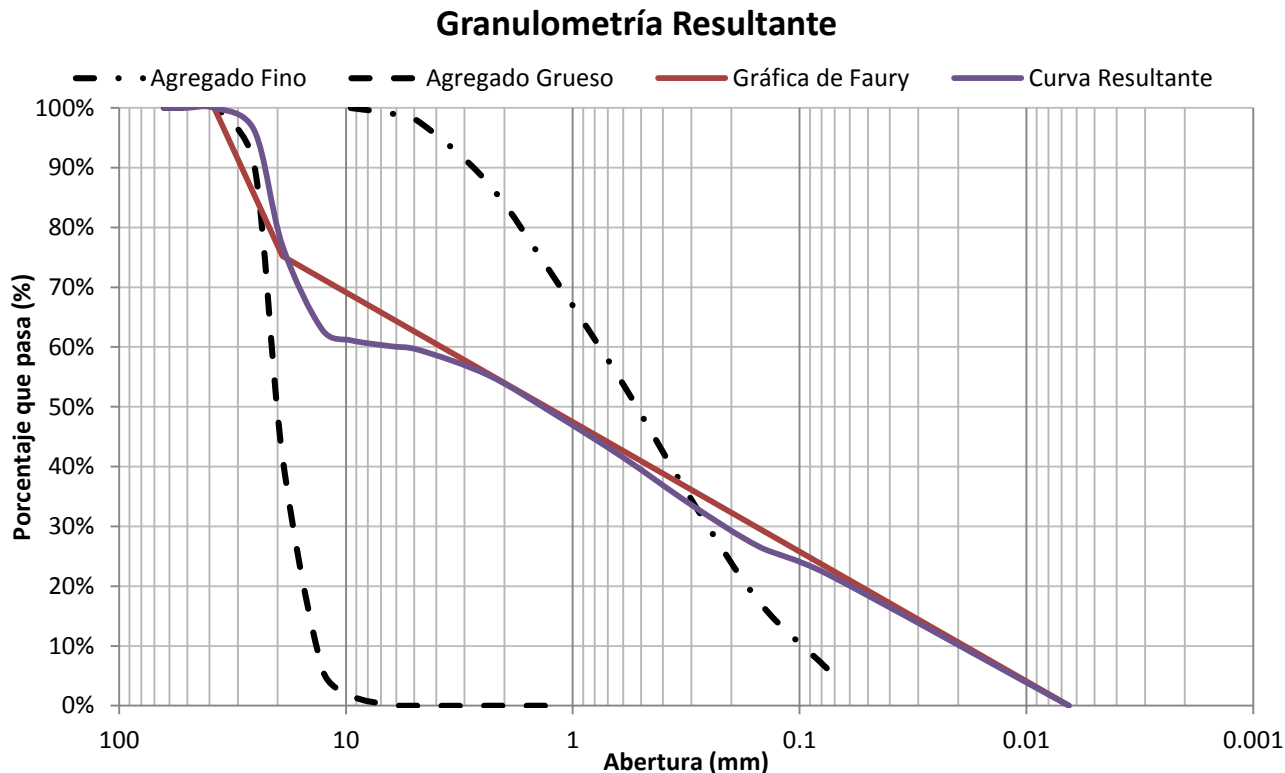


Fig. 4.44. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando las gráficas y curvas resultantes de los métodos expuestos, se escogerá el método de Índices Ponderales de Faury como el porcentaje de proporcionamiento adecuado debido a su mayor semejanza a la gráfica ideal de Faury.

4.2.6.14. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS (AGUA Y AIRE)

Como se conoce el peso en kg, y el peso específico del agua y aire, se puede calcular los volúmenes de cada componente.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{\% \text{ Aire}}{100}$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua (Lt/m}^3\text{)}}{\text{Peso Especif. del agua (lts/m}^3\text{)}}$$

Para conocer el volumen absoluto de estos componentes del concreto, basta con sumar sus volúmenes (m³).

$$\text{Vol. abs. (aire y agua) (m}^3\text{)} = \text{Vol. aire} + \text{Vol. agua}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²,

Los componentes de aire y agua permanecerán constantes, independientes de la resistencia requerida.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{1.5 \%}{100} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{211.21 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.211 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (agua y aire)} = 0.015 + 0.211 = 0.226 \text{ m}^3$$

4.2.6.15. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Como los datos de los volúmenes absolutos de los demás componentes son conocidos, se puede hallar con una sencilla operación el volumen del agregado global (agregado fino + grueso).

$$\text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)} = 1.00 - \text{Vol. abs. (agua y aire)}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.00 - 0.226 = 0.774 \text{ m}^3$$

4.2.6.16. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS (INCLUIDO EL CEMENTO)

Habiendo obtenido en el paso anterior los porcentajes de participación de cada agregado, se puede determinar el volumen absoluto de cada uno:

$$\text{Volumen Cemento (m}^3\text{)} = \frac{t_0}{100} \times \text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen A. F. (m}^3\text{)} = \frac{\alpha}{100} \times \text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen A. G. (m}^3\text{)} = \frac{\beta}{100} \times \text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen Cemento (m}^3\text{)} = 0.1535 \times 0.774 = 0.19 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. F.} = 0.4863 \times 0.774 = 0.376 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. G.} = 0.3602 \times 0.774 = 0.279 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen Cemento (m}^3\text{)} = 0.1746 \times 0.774 = 0.135 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. F.} = 0.4471 \times 0.774 = 0.346 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. G.} = 0.3783 \times 0.774 = 0.293 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Volumen Cemento (m}^3\text{)} = 0.2048 \times 0.774 = 0.158 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. F.} = 0.3911 \times 0.774 = 0.303 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A. G.} = 0.4041 \times 0.774 = 0.313 \text{ m}^3$$

4.2.6.17. DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS

Para hallar el peso en kilogramos por metro cubico, solo basta con multiplicar los volúmenes de dichos componentes de agregados por su respectivo peso específico.

$$W_{\text{seco A. F.}} (\text{kg/m}^3) = \text{Volumen A. F. (m}^3\text{)} \times \text{Peso Especif. A. F.}$$

$$W_{\text{seco A. G.}} (\text{kg/m}^3) = \text{Volumen A. G. (m}^3\text{)} \times \text{Peso Especif. A. G.}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$W_{seco} A. F. = 0.376 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 880.49 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{seco} A. G. = 0.279 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 757.64 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$W_{seco} A. F. = 0.346 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 809.56 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{seco} A. G. = 0.293 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 795.61 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$W_{seco} A. F. = 0.303 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 708.23 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{seco} A. G. = 0.313 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 849.85 \text{ kg/m}^3$$

4.2.6.18. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad para evitar errores de cálculo.

4.2.6.19. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Considerando los valores de porcentaje de absorción y de humedad de los agregados se procede a realizar el ajuste por humedad y absorción de los agregados según lo descrito en el Capítulo III apartado 3.5.9. de la presente investigación

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	211.21	0.211	228.33	0.228
Cemento	338.47	0.119	338.47	0.119
A.G.	757.64	0.279	758.62	0.279
A.F.	880.49	0.376	890.53	0.381
TOTAL	2187.81	1.000	2215.95	1.022

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	211.21	0.211	227.33	0.227
Cemento	385.04	0.135	385.04	0.135
A.G.	795.61	0.293	796.64	0.293
A.F.	809.56	0.346	818.79	0.350
TOTAL	2201.42	1.000	2227.81	1.020
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	211.21	0.211	225.91	0.226
Cemento	451.57	0.158	451.57	0.158
A.G.	849.85	0.313	850.96	0.313
A.F.	708.23	0.303	716.31	0.306
TOTAL	2220.87	1.000	2244.75	1.019

4.2.6.20. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Para Para finalizar se presenta la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa).

F'C	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
175	338.47	758.62	890.53	228.33
	1.00	2.24	2.63	28.67
210	385.04	796.64	818.79	227.33
	1.00	2.07	2.13	25.09
280	451.57	850.96	716.31	225.91
	1.00	1.88	1.59	21.26

4.2.7. MÉTODO O'REILLY

4.2.7.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Al no contar con datos previos y no tener un coeficiente de variación, la selección de la resistencia promedio se realizara de la misma manera que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 (f'c + 70)} \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.7.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.7.3. SELECCIÓN DEL TMN

El Tamaño máximo nominal es un dato del análisis granulométrico realizado anteriormente que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{TMN} = 1''$$

4.2.7.4. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

La selección del contenido de aire seguirá la misma metodología que el diseño de ACI.

$$\text{Cont. de aire} = 1.5 \%$$

4.2.7.5. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

Se determinó que en este método primara la forma de los agregados sobre su granulometría, por lo que no se puede hallar una relación optima basado en una granulometría ideal como los métodos anteriores.

Para determinar la relación optima de los agregados se realizara de la manera más precisa, que es la experimental que considera los agregados que utilizaremos, basado en la obtención del mínimo porcentaje de vacíos de la combinación de los agregados, por lo que se procederá de la siguiente manera según los ensayos normalizados ya establecidos:

- Hallar el peso unitario compactado de cada mezcla de los agregados, con las siguientes combinaciones de agregado fino y grueso respectivamente:

$$35:65, \quad 40:60, \quad 45:55, \quad 50:50, \quad 55:45.$$

Cabe recalcar que se debe trabajar con materiales secos y bien mezclados



Ilustración 4.21. Ensayo de Peso Unitario de la Combinación de los agregados

- Luego se determinara los pesos específicos para cada combinación, bajo la siguiente ecuación:

$$PEC_m = \frac{PEC_a * \%A + PEC_g * \%G}{100}$$

Dónde:

PEC_m (kg/m³) = Peso específico de la mezcla de los agregados

PEC_a (kg/m³) = Peso específico de la arena

%A = Porcentaje de arena en la mezcla

PEC_g (kg/m³) = Peso específico de la grava

%G = Porcentaje de grava en la mezcla

- Se hallara el porcentaje de vacíos de la combinación de los agregados, de cada mezcla antes realizada, bajo la siguiente ecuación:

$$\% Vacíos = \frac{PEC_m - PUC_m}{PEC_m} * 100$$

Dónde:

% Vacíos = Porcentaje de vacíos de la combinación de agregados

PEC_m (kg/m³) = Peso específico de la mezcla de los agregados

PUC_m (kg/m³) = Peso unitario compactado de la mezcla de los agregados (5 combinaciones).

- Cuando se tenga el contenido de vacíos de todas las combinaciones planteadas, se escogerá la que tenga menor porcentaje de vacíos, esta nos dará el proporcionamiento óptimo de la combinación de agregados (máxima compacidad).

En el caso que exista más de un agregado grueso, primero se tendrá que obtener una combinación óptima entre los agregados gruesos, luego se procederá a obtener el proporcionamiento óptimo esta vez entre la mezcla optima de los agregados gruesos y el agregado fino, con los pasos anteriormente descritos.

Para tener un solo sentido de términos, el proporcionamiento escogido se representara en con los valores de “ α ” y “ β ” correspondiente al agregado fino y grueso respectivamente:

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Después de realizar las pruebas a los agregados con los porcentajes antes mencionados se presentan los datos, con los que obtendremos la combinación optima de los agregados.

P.U.COMBINADO OPTIMO						
Volumen del envase			p^3	1/10	cm^3	2831.685
Nro de Ensayo	A.F.	35%	40%	45%	50%	55%
	A.G.	65%	60%	55%	50%	45%
ENSAYO 1	Peso del agregado (g)	5415.58	5571.00	5629.54	5591.54	5485.25
	PUC kg/m^3	1912.49	1967.38	1988.05	1974.63	1937.10
ENSAYO 2	Peso del agregado (g)	5404.25	5586.00	5631.84	5591.12	5483.82
	PUC kg/m^3	1908.49	1972.68	1988.87	1974.49	1936.59
ENSAYO 3	Peso del agregado (g)	5410.15	5579.84	5629.41	5598.42	5492.14
	PUC kg/m^3	1910.58	1970.50	1988.01	1977.06	1939.53

COMBINACIONES		35 : 65	40 : 60	45 : 55	50 : 50	55 : 45
P.U.C. Optimo	kg/m^3	1910.52	1970.19	1988.31	1975.39	1937.74
P.E.C.m	kg/m^3	2585.42	2566.51	2547.60	2528.69	2509.77
%Vacíos	%	26.10%	23.23%	21.95%	21.88%	22.79%

Cuadro 4.59. Prueba de Peso Unitario Combinado Optimo y del Porcentaje de Vacíos de la combinación de los agregados

Después de una línea de tendencia del grafico podemos obtener el P.U.Combinado Optimo más alto coincide con 1989.50 kg/cm^3 , y con el porcentaje del agregado fino de 45.70% por tanto de 54.30% del agregado grueso, estos se verificaran con los siguientes cálculos:

$$P. U. C. = 1989.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$P. E. C. m = \frac{2340 * 45.70\%}{2718 * 54.30\%} = 2544.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\%Vacios = \frac{2544.95 - 1989.50}{2544.95} = 21.83\%$$

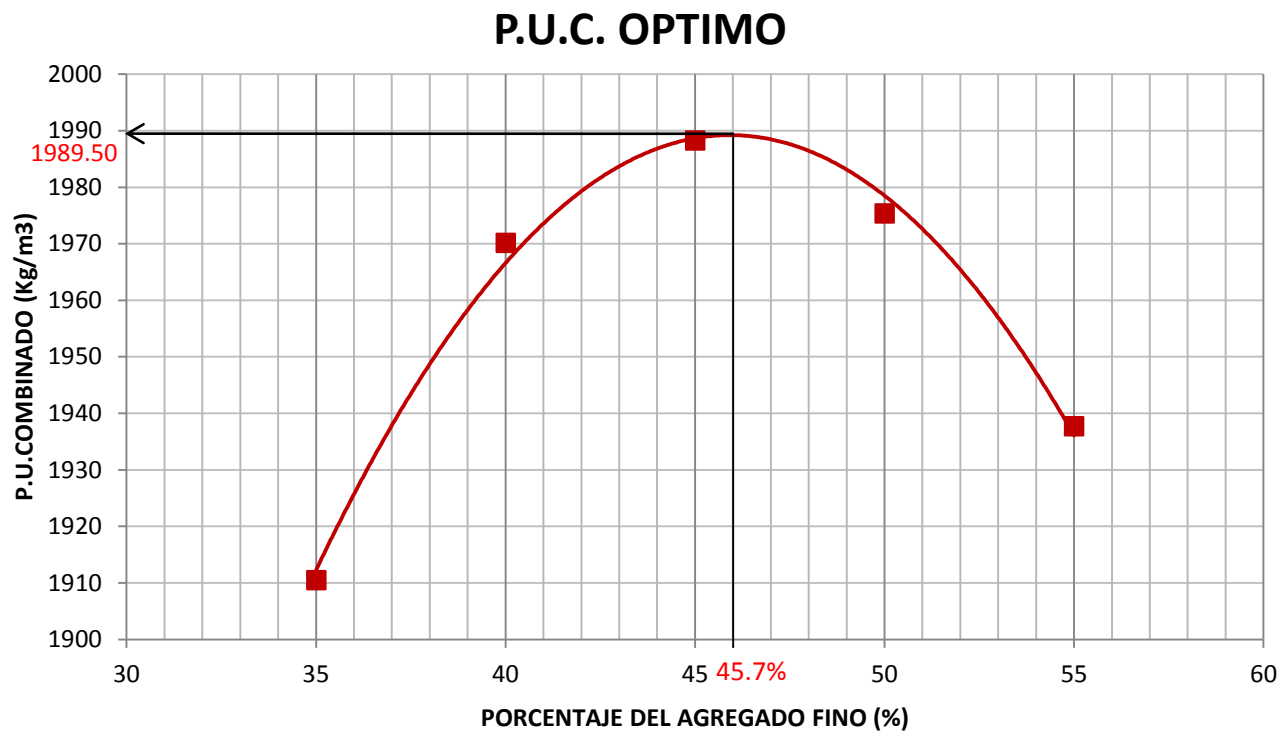


Fig. 4.45. Peso Unitario de la Combinación de los agregados Fino y Grueso

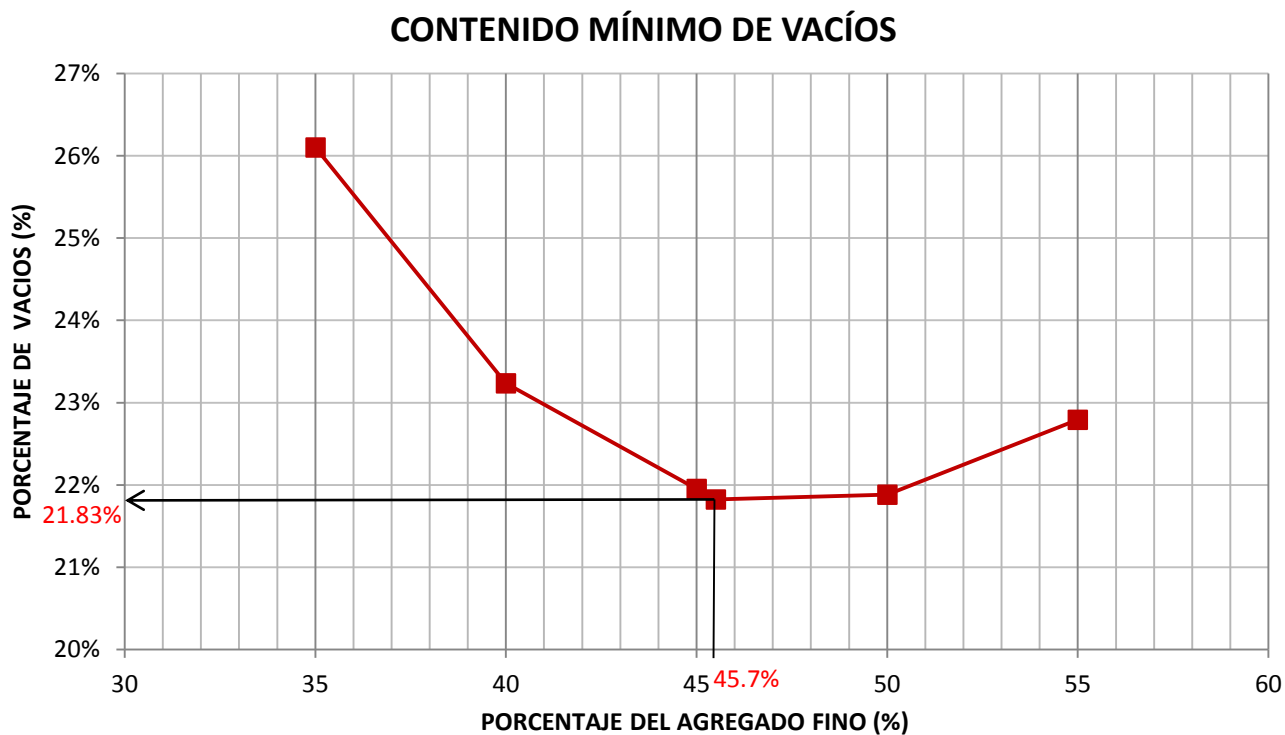


Fig. 4.46. Contenido mínimo de vacíos de la combinación de los agregados Fino y Grueso

El porcentaje de vacíos más bajo con el P.U. Combinado más alto será el ideal según este método para el diseño de mezcla por lo que los porcentajes de participación de los agregados fino (α) y grueso (β) querían de la siguiente manera respectivamente:

$$\alpha = 45.70\%$$

$$\beta = 54.30\%$$

4.2.7.6. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Es importante recalcar que se determinara la cantidad de agua en función una consistencia requerida, medida por el ensayo de Cono de Abrams.

De igual manera que el paso anterior, la cantidad de agua se obtendrá de manera experimental, siguiendo los siguientes pasos:

- Se debe realizar una mezcla para seis probetas cilíndricas con la siguiente dosificación de los componentes:
 - **Proporción de los agregados** = La mezcla optima de agregados fino y grueso se obtuvo en el paso anterior.
 - **Cantidad de Cemento** = Se determinara un valor en base a experiencias y que esté relacionada a la resistencia requerida.
 - **Cantidad de agua** = Se determinara en base a experiencias de la misma manera que el cemento.
- Al momento de realizar la mezcla, se colocara una cantidad menor a la fijada, y se realizara el ensayo de asentamiento con el Cono de Abrams, de ser el resultado del slump diferente al requerido, se ajustara la cantidad de agua en la realización de otra mezcla con las misma características; hasta que se obtenga por aproximación el asentamiento requerido inicialmente, así se obtendrá la cantidad de agua ideal que debe ser corregida por humedad y absorción con las proporciones de los agregados.
- Hallada la mezcla de concreto de cantidad de agua ideal, se procederá a realizar seis probetas que serán ensayadas a compresión a los 7 y 28 días, para asegurar su exactitud este ensayo se debe realizar no menos de tres veces (18 probetas, 9 probetas para cada edad), ya que con estos datos podremos obtener el coeficiente “A”.

Es necesaria la cantidad de probetas a realizar, ya que una vez determinado el coeficiente “A” se puede realizar con un asentamiento constante todos los tipos de mezclas de concreto.

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2

Por ser el método ACI el método con más confiabilidad y trayectoria se escogerá estos valores como base del diseño, tomando una cantidad menor de agua inicialmente y aumentarla hasta conseguir el asentamiento requerido.

Asentamiento requerido			4"	4''
Resistencia	Cemento Inicial	Agua Inicial	Agua Corr.	Agua Optima
175	307.32	193.00	220.00	205.69
210	345.63	193.00	225.00	210.77
280	414.16	193.00	239.00	224.91

Cuadro 4.60. Condiciones óptimas para el diseño de mezcla O'Reilly

Se muestra a continuación un cuadro resumen de los resultados promedios obtenidos de las 54 probetas de prueba sometidos a compresión para las diferentes resistencias, los datos completos de los ensayos se encuentran en los anexos de la presente investigación.

F'C (kg/cm ²)	F'CR (kg/cm ²)	EDAD	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)
175	245	7 días	141.902
		28 días	212.708
210	294	7 días	175.836
		28 días	264.159
280	364	7 días	222.563
		28 días	331.005

Cuadro 4.61. Cuadro resumen de la resistencia promedio de las probetas de prueba para el diseño de mezcla O'Reilly

4.2.7.7. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO (R_c)

El término se refiere a la resistencia a la compresión del mortero (unión del cemento y agregado fino), que por la variabilidad de características de estos componentes se tiene que realizar el ensayo de resistencia a la compresión del mortero según las normas ASTM C109, la cual fue realizada en las tres proporciones que se solicita en este diseño y se muestran los resultados en el acápite 4.1.2.1.

Según el diseño de O'Reilly la resistencia de cemento (R_c) se obtendrá realizando el grafico pertinente y obteniendo la resistencia correspondiente a la proporción de 1:1.40.

$$R_c = 415 \text{ kg/cm}^2$$

Proporción Cemento : Arena	1:1 (1)	1:2 (2)	1:3 (3)
Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	471.14	324.72	126.01

Resistencia a la Compresión del Mortero

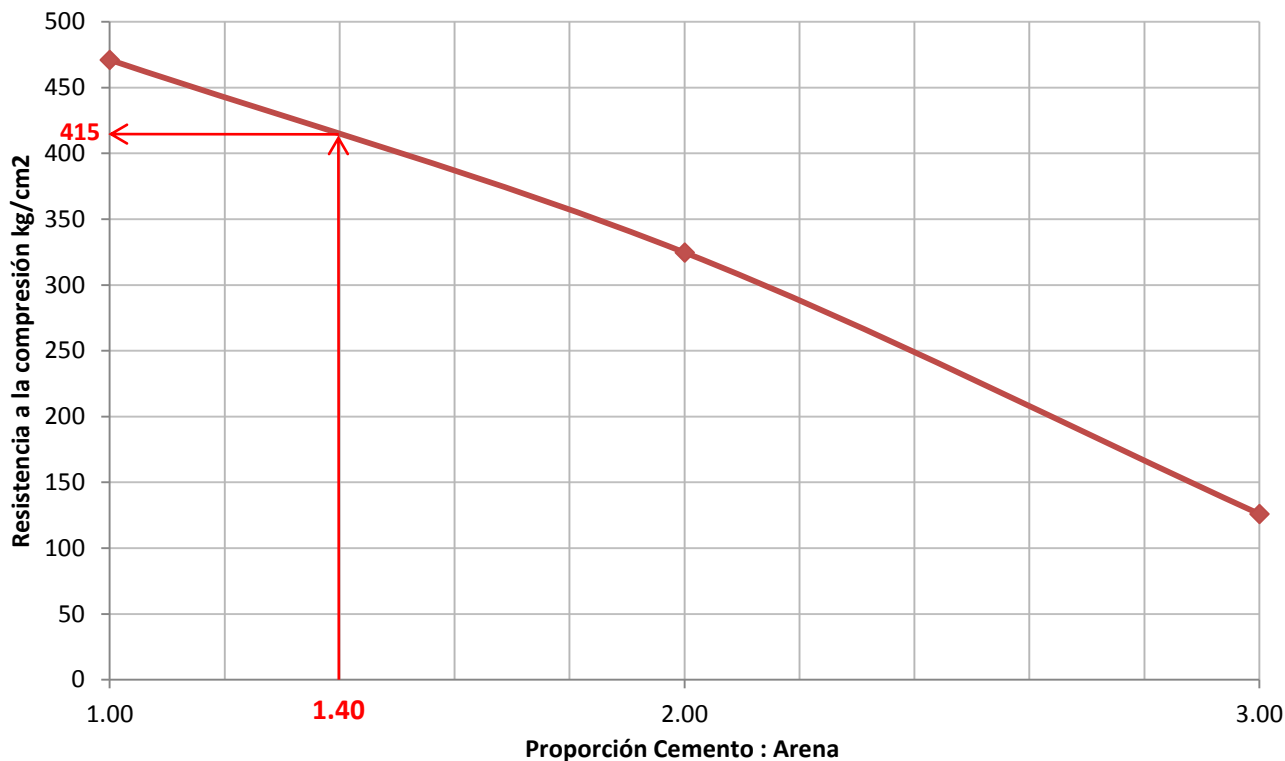


Fig. 4.47. Resistencia a la Compresión del Mortero- Análisis de O'Reilly

4.2.7.8. DETERMINACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA "A" DEL AGREGADO GRUESO

Para determinar la característica "A" del agregado grueso y medir su nivel de calidad, se usara los datos de la resistencia a la compresión a los 28 días de las probetas realizadas en el paso anterior (9 probetas de ser realizar como mínimo 3 ensayos). Para cada asentamiento requerido necesitar un nuevo valor de característica "A".

$$A = \frac{R_h}{R_c(M_1 * V + M_2)}$$

Dónde:

A = Característica del agregado grueso

R_h = Resistencia del concreto de prueba a la compresión a los 28 días.

R_c = Resistencia del cemento a la compresión a los 28 días

V = Coeficiente dependiente de la relación agua/cemento

M₁ y M₂ = Coeficiente de la consistencia de la mezcla

Los coeficientes de M_1 y M_2 se obtendrán de la primera tabla que se muestra a continuación en función a su asentamiento, y el coeficiente de V , se obtendrá de la siguiente tabla en función a su relación agua/cemento (w) correspondiente a los ensayos anteriormente realizados con la cantidad de agua óptima.

ASENTAMIENTO (cm)	VALOR M	ASENTAMIENTO (cm)	VALOR M
As 3	M_1 4.4447	As 10	M_1 4.0219
	M_2 0.2930		M_2 0.3572
As 4	M_1 4.3843	As 11	M_1 3.9615
	M_2 0.3014		M_2 0.3674
As 5	M_1 4.3239	As 12	M_1 3.9011
	M_2 0.3101		M_2 0.3780
As 6	M_1 4.2635	As 13	M_1 3.8407
	M_2 0.3189		M_2 0.3888
As 7	M_1 4.2031	As 14	M_1 3.7803
	M_2 0.3281		M_2 0.4000
As 8	M_1 4.1427	As 15	M_1 3.7199
	M_2 0.3375		M_2 0.4115
As 9	M_1 4.0823	As 16	M_1 3.6595
	M_2 0.3472		M_2 0.4233

Tabla 4.28. Valores de M_1 y M_2 para diferentes consistencias – Método O'Reilly¹¹⁰

w	VALOR V	w	VALOR V	w	VALOR V	w	VALOR V	w	VALOR V
0.30	0.5229	0.40	0.3979	0.50	0.3010	0.60	0.2218	0.70	0.1549
0.31	0.5086	0.41	0.3872	0.51	0.2924	0.61	0.2147	0.71	0.1487
0.32	0.4946	0.42	0.3768	0.52	0.2840	0.62	0.2076	0.72	0.1427
0.33	0.4815	0.43	0.3665	0.53	0.2757	0.63	0.2007	0.73	0.1367
0.34	0.4685	0.44	0.3565	0.54	0.2676	0.64	0.1938	0.74	0.1308
0.35	0.4559	0.45	0.3468	0.55	0.2556	0.65	0.1870	0.75	0.1249
0.36	0.4437	0.46	0.3372	0.56	0.2518	0.66	0.1805	0.76	0.1192
0.37	0.4318	0.47	0.3279	0.57	0.2441	0.67	0.1739	0.77	0.1135
0.38	0.4202	0.48	0.3186	0.58	0.2366	0.68	0.1675	0.78	0.1079
0.39	0.4089	0.49	0.3098	0.59	0.2291	0.69	0.1612	0.79	0.1024

Tabla 4.29. Valores del “w” para diferentes “V” – Método O'Reilly¹¹¹

¹¹⁰ (O'Reilly Díaz, Método para el diseño de hormigón de alto comportamiento, 1997, pág. 35)

¹¹¹ (O'Reilly Díaz, Método para el diseño de hormigón de alto comportamiento, 1997, pág. 35)

Los valores de M_1 y M_2 , dependen únicamente del asentamiento por lo que al interpolar los datos de la tabla, obtendremos los siguientes resultados, que serán aplicados en los cálculos de todas las resistencias requeridas.

INTERP.	Asentamiento (cm)	M_1	M_2
LS	11.00	3.9615	0.3674
M_1, M_2	10.16	4.0122	0.3588
LI	10.00	4.0219	0.3572

$$M_1 = 4.0122$$

$$M_2 = 0.3588$$

El valor de V es dependiente de la relación agua/cemento utilizada en las probetas de prueba de las diferentes resistencias y se obtendrá interpolando los datos de la tabla

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

Con la cantidad de 307.32 kg/m^3 de cemento y 205.69 lt/m^3 de agua óptima para alcanzar el asentamiento requerido se obtiene un valor de $w = a/c = 0.669$

INTERP.	W	V
LS	0.670	0.1739
w/V	0.669	0.1744
LI	0.660	0.1805

$$A = \frac{212.708}{415(4.0122 * 0.1744 + 0.3588)}$$

$$A = 0.4843$$

$$V = 0.1744$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$

Con la cantidad de 345.63 kg/m^3 de cemento y 210.77 lt/m^3 de agua óptima para alcanzar el asentamiento requerido se obtiene un valor de $w = a/c = 0.610$

INTERP.	W	V
LS	0.610	0.2147
w/V	0.610	0.2148
LI	0.600	0.2218

$$A = \frac{264.159}{415(4.0122 * 0.2148 + 0.3588)}$$

$$A = 0.5214$$

$$V = 0.2148$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Con la cantidad de 414.16 kg/m^3 de cemento y 224.91 lt/m^3 de agua óptima para alcanzar el asentamiento requerido se obtiene un valor de $w = a/c = 0.543$

INTERP.	W	V
LS	0.550	0.2556
w/V	0.543	0.2639
LI	0.540	0.2676

$$A = \frac{331.005}{415(4.0122 * 0.2639 + 0.3588)}$$

$$A = 0.5626$$

$$V = 0.2639$$

Existe otro método para hallar la característica “A”, el autor O'Reilly la denominó Método Físico-matemático, ya que radica en hallar la esfericidad estereométrica (relación entre la forma del agregado con una esfera de igual volumen) y redondez (suavidad de los contornos y grado de curvatura) del agregado grueso, para poder así clasificar los granos angulosos y redondeados con alto y bajo grado de esfericidad; estos datos se consiguen tras una comparación visual por medio de un estudio petrográfico y microscópico. Sin embargo, este método resulta ser menos exacto que el método práctico que se realiza en el laboratorio debido a que tiende a ser una medida semi-cuantitativa y subjetiva; pese a esto se desarrolló una “Carta de esfericidad y redondez”, solo para tener una idea de los rangos de valores según la forma del agregado, cabe recalcar que esta tabla no la propuso el ingeniero O'Reilly, por lo que solo servirá de referencia.



Fig. 4.48. Carta de Esfericidad y Redondez de Referencia del diseño O'Reilly¹¹²

¹¹² (DIMEZCO, 2010)

4.2.7.9. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CEMENTO

“El ahorro de cemento que se alcanza es de 15% y en algunos casos es mayor, en relación con los consumos exigidos por los otros métodos, sin incluir el ahorro, que traería aparejado la disminución del consumo energético en la fabricación del cemento.”¹¹³

Como se indicó anteriormente la cantidad de cemento usado en las probetas para hallar la característica “A”, eran un aproximado de acuerdo a las experiencias previas, pero ahora se podrá hallar el verdadero contenido de cemento con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\frac{R_{hr}}{A * R_c} - M_2}{M_1}$$

Dónde:

V = Coeficiente dependiente de la relación agua/cemento

R_{hr} = Resistencia del concreto requerida a la compresión a los 28 días.

R_c = Resistencia del cemento a la compresión a los 28 días

M₁ y M₂ = Coeficiente de la consistencia de la mezcla

A = Característica del agregado grueso

Donde de dicha ecuación obtendremos el valor de “V” que reemplazado en la tabla anteriormente indicada podremos obtener una relación agua/cemento óptima (w) y como ya conocemos la cantidad de agua óptima, se puede hallar la cantidad de cemento:

$$\text{Peso del cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua (lt/m}^3\text{)}}{\text{Relacion agua/cemento (w)}}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$V = \frac{\frac{245}{0.4843 * 415} - 0.3588}{4.0122}$$

$$V = 0.2144$$

$$w = 0.6104$$

$$\text{Peso del cemento} = \frac{205.69 \text{ lt/m}^3}{0.6104} = 336.98 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del cemento} = \frac{336.98 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 7.93 \text{ bls/m}^3$$

INTERP.	V	W
LS	0.2076	0.620
w/V	0.2144	0.6104
LI	0.2147	0.610

¹¹³ (O'Reilly Díaz, Método para el diseño de hormigón de alto comportamiento, 1997, pág. 24)

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$V = \frac{\frac{294}{0.5214 * 415} - 0.3588}{4.0122}$$

$$V = 0.2492$$

INTERP.	V	W
LS	0.2441	0.570
w/V	0.2492	0.5634
LI	0.2518	0.560

$$w = 0.5634$$

$$\text{Peso del cemento} = \frac{210.77 \text{ lt/m}^3}{0.6604} = 374.12 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del cemento} = \frac{374.12 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 8.80 \text{ bls/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$V = \frac{\frac{364}{0.5626 * 415} - 0.3588}{4.0122}$$

$$V = 0.2992$$

INTERP.	V	W
LS	0.2924	0.510
w/V	0.2992	0.5137
LI	0.301	0.500

$$w = 0.5021$$

$$\text{Peso del cemento} = \frac{224.91 \text{ lt/m}^3}{0.5021} = 447.91 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del cemento} = \frac{447.97 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 10.54 \text{ bls/m}^3$$

4.2.7.10. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS DE LOS COMPONENTES

Como se conoce el peso en kg y peso específico del aire, agua y cemento se puede calcular los volúmenes de los componentes.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{\text{Cont. de aire (\%)}}{100}$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua}}{\text{Peso especif. del agua } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del cemento (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso especif. del cemento (kg/m}^3\text{)}}$$

El componente de aire permanecerá constante, independiente de la resistencia requerida.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{1.5 \%}{100} = 0.015 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{205.69 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.206 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{336.98 \text{ kg/m}^3}{2850 \text{ kg/m}^3} = 0.118 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento)} = 0.015 + 0.206 + 0.118 = 0.339 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{210.77 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.211 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{374.12 \text{ kg/m}^3}{2850 \text{ kg/m}^3} = 0.131 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento)} = 0.015 + 0.211 + 0.131 = 0.357 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{224.91 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.225 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = \frac{447.91 \text{ kg/m}^3}{2850 \text{ kg/m}^3} = 0.157 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento)} = 0.015 + 0.225 + 0.157 = 0.397 \text{ m}^3$$

4.2.7.11. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Como los datos de los volúmenes absolutos de los demás componentes son conocidos, por lo que se puede hallar con una sencilla operación el volumen del agregado global (agregado fino + grueso).

$$\text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)} = 1 - \text{Vol. abs. (cemento, agua y aire)}$$

Habiendo obtenido en el paso anterior los porcentajes de participación de cada agregado, se puede determinar el volumen absoluto de cada uno:

$$\text{Volumen A. F. (m}^3\text{)} = \frac{\alpha}{100} \times \text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen A. G. (m}^3\text{)} = \frac{\beta}{100} \times \text{Vol. de agregado global (m}^3\text{)}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.00 - 0.339 = 0.661 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A.F.} = 0.661 \text{ m}^3 * 45.70 \% = 0.302 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A.G.} = 0.661 \text{ m}^3 * 54.30 \% = 0.359 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.00 - 0.358 = 0.643 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A.F.} = 0.643 \text{ m}^3 * 45.70 \% = 0.294 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A.G.} = 0.643 \text{ m}^3 * 54.30 \% = 0.349 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Vol. de agregado global} = 1.00 - 0.397 = 0.603 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A.F.} = 0.603 \text{ m}^3 * 45.70 \% = 0.276 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del A.G.} = 0.603 \text{ m}^3 * 54.30 \% = 0.327 \text{ m}^3$$

4.2.7.12. DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS

Para hallar el peso en kilogramos por metro cubico, solo basta con multiplicar los volúmenes de dichos componentes de agregados por su respectivo peso específico.

$$W_{\text{seco A.F.}} (\text{kg/m}^3) = \text{Volumen A.F.} (\text{m}^3) * \text{Peso Especif. A.F.}$$

$$W_{\text{seco A.G.}} (\text{kg/m}^3) = \text{Volumen A.G.} (\text{m}^3) * \text{Peso Especif. A.G.}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.302 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 706.94 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.359 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 975.66 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.294 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 687.57 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.349 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 948.93 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$W_{\text{seco A.F.}} = 0.276 \text{ m}^3 * 2340 \text{ kg/m}^3 = 644.76 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{seco A.G.}} = 0.327 \text{ m}^3 * 2718 \text{ kg/m}^3 = 889.84 \text{ kg/m}^3$$

4.2.7.13. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad para evitar errores de cálculo.

4.2.7.14. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Considerando los valores de porcentaje de absorción y de humedad de los agregados se procede a realizar el ajuste por humedad y absorción de los agregados según lo descrito en el Capítulo III apartado 3.5.9. de la presente investigación.

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	205.69	0.206	220.85	0.221
Cemento	336.98	0.118	336.98	0.118
A.G.	975.66	0.359	976.93	0.359
A.F.	706.94	0.302	715.00	0.306
TOTAL	2225.26	1.000	2249.75	1.019
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	210.77	0.211	225.51	0.226
Cemento	374.12	0.131	374.12	0.131
A.G.	948.93	0.349	950.16	0.350
A.F.	687.57	0.294	695.41	0.297
TOTAL	2221.39	1.000	2245.20	1.019
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.015	-	0.015
Agua	224.91	0.225	238.74	0.239
Cemento	447.91	0.157	447.91	0.157
A.G.	889.84	0.327	891.00	0.328
A.F.	644.76	0.276	652.11	0.279
TOTAL	2207.42	1.000	2229.75	1.017

4.2.7.15. DETERMINACIÓN LA PROPORCIÓN EN PESO

Para finalizar es común presentar la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa) para 1m^3 .

F'C	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
175	336.98	976.93	715.00	220.85
	1.00	2.90	2.12	27.85
210	374.12	950.16	695.41	225.51
	1.00	2.54	1.86	25.62
280	447.91	891.00	652.11	238.74
	1.00	1.99	1.46	22.65



4.2.8. MÉTODO DE PORRERO & GRASES

4.2.8.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Al no contar con datos previos y no tener un coeficiente de variación, la selección de la resistencia promedio se realizara de la misma manera que el diseño de ACI.

$$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 1 (f'c + 70)} \rightarrow f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 - \text{Caso 2 (f'c + 84)} \rightarrow f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.8.2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

El asentamiento es un requerimiento del diseño de mezcla que debe cumplir con lo estipulado en el diseño de ACI.

$$\text{Asentamiento} = 4''$$

4.2.8.3. SELECCIÓN DEL TMN

La selección del Tamaño máximo nominal se realizara según lo indicado en el Capítulo III apartado 3.4.3. de la presente investigación y del resultado obtenido por las pruebas realizadas y anteriormente mostradas en el apartado 4.1.1.1.2.

$$\text{TMN} = 1''$$

4.2.8.4. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN A/C - LEY DE ABRAMS

La ley de Abrams relaciona la resistencia del concreto con la relación agua/cemento, en este método el último término es definido por “ α ”.

$$\alpha = a/c$$

Otra forma de expresar esta ley es la siguiente:

$$\bar{R} = \frac{M}{N^\alpha}$$

$$\log \bar{R} = \log M - \alpha \log N$$

Dónde:

$\bar{R}$ = Resistencia media esperada

M y N = Constantes en función de las características de los componentes, edad de ensayo y modo de ejecución.

α = Relación agua/cemento

Después de una serie de ensayos de probetas cilíndricas de concreto con agregado grueso triturado con tamaño máximo de 25.4 mm, agregado fino natural, y el uso de cemento Portland tipo 1, se obtuvo las siguientes ecuaciones con la que se lograban buenos resultados, dependiendo de la edad a la que fueron ensayados.

$$\overline{R}_7 = 861.3 / 13.1^\alpha \quad \overline{R}_{28} = 902.5 / 8.69^\alpha \quad \overline{R}_{90} = 973.1 / 7.71^\alpha$$

De lo anterior se logró obtener una ecuación para determinar la relación agua/cemento cuando se requiera obtener los resultados esperados a los 28 días:

$$\alpha = 3.147 - 1.065 \log \overline{R}_{28}$$

Con la ecuación anterior se desarrolló una gráfica donde se puede hallar la resistencia en base a la relación a/c requerida o viceversa; hay que tener en cuenta que este coeficiente “ α ” no está corregida por los factores que se describirán en los puntos siguientes.

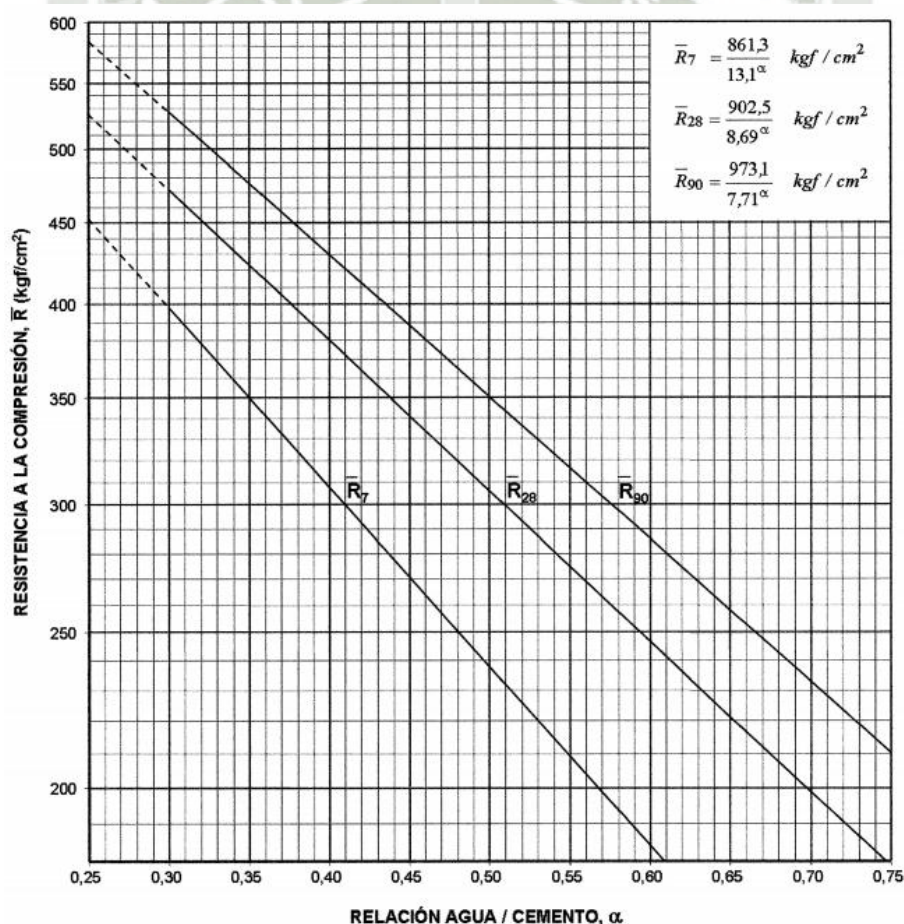


Fig. 4.49. Representación Gráfica de la Ley de Abrams ¹¹⁴

¹¹⁴ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 137)

En el caso que se diseñe por durabilidad debido a las condiciones atmosféricas agresivas, el valor de “ α ” se escogerá de la siguiente tabla, provista de la Norma COVENIN 1753; comparando con lo obtenido por el diseño de resistencia se debe escoger el valor más bajo de “ α ” para asegurar su resistencia y durabilidad.

Posible tipo de daño	Condiciones	α máxima
Deterioro del concreto Corrosión de las armaduras	Atmosfera común	0.75
	Litoral	0.60
	Alta humedad relativa	0.55
	En contacto con agua no corrosiva	0.50
	En contacto directo con agua marina o por salpicaduras	0.40
	En suelos selenitosos (con yesos)	0.40
	Ambientes industriales	Según el caso
Deterioro por deslavado o permeabilidad	Elementos delgados	0.45
	Concreto en masa*	0.65

Tabla 4.30. Máximos valores de “ α ” para distintas condiciones de servicio o ambientales según COVENIN 1753:2003 ¹¹⁵

Aplicando la formula obtendremos la relación agua/cemento además de las resistencias esperadas en diferentes edades.

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\alpha = 3.147 - 1.065 \log 245 = 0.603$$

$$\overline{R}_7 = 182.79 \text{ kg/cm}^2 \quad \overline{R}_{28} = 245.27 \text{ kg/cm}^2 \quad \overline{R}_{90} = 284.23 \text{ kg/cm}^2$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\alpha = 3.147 - 1.065 \log 294 = 0.518$$

$$\overline{R}_7 = 227.08 \text{ kg/cm}^2 \quad \overline{R}_{28} = 294.33 \text{ kg/cm}^2 \quad \overline{R}_{90} = 337.66 \text{ kg/cm}^2$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\alpha = 3.147 - 1.065 \log 364 = 0.419$$

$$\overline{R}_7 = 292.78 \text{ kg/cm}^2 \quad \overline{R}_{28} = 364.42 \text{ kg/cm}^2 \quad \overline{R}_{90} = 413.15 \text{ kg/cm}^2$$

¹¹⁵ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 139)

4.2.8.5. CORRECCIONES DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO “ α ”

Como ya se mencionó, los agregados con los que fue realizado este método empírico, pueden variar conforme sea su uso, por lo que se desarrolló coeficientes que puedan corregir y ajustar el factor de agua/cemento cuando se diseña por resistencia de acuerdo a las características de los agregados disponibles, siendo K_R y K_A correcciones del tamaño máximo y tipo de agregado respectivamente.

Con los datos físicos y mecánicas de los agregados podemos obtener lo siguientes factores de corrección de la relación agua/cemento:

Tamaño Máximo	6.35 (¼")	9.53 (3/8")	12.7 (½")	19.1 (¾")	25.4 (1")	38.1 (1½")	50.8 (2")	63.5 (2½")	76.2 (3")
Factor K_R	1.60	1.30	1.10	1.05	1.00	0.91	0.82	0.78	0.74

Tabla 4.31. K_R Factor para corregir “ α ” por tamaño máximo, mm (plg.)¹¹⁶

Gruesos Finos	Triturados	Semitriturados	Canto Rodado (Grava Natural)
	Arena Natural	Arena Triturada	
	1.00	0.97	0.91
	1.14	1.10	0.93

Tabla 4.32. K_A Factor para corregir “ α ” por tipo de agregado¹¹⁷

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

$$K_R = 1.00$$

$$K_A = 1.00$$

Por tanto el valor de a/c de las diferentes resistencias permanece inalterable por tener una corrección igual a la unidad

4.2.8.6. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL CEMENTO – LEY TRIANGULAR

El coeficiente para hallar el contenido de cemento tiene que ver con la relación triangular, fundamento que relaciona la trabajabilidad, relación agua/cemento y dosis de cemento.

$$C = \frac{k * T^n}{\alpha^m}$$

¹¹⁶ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 136)

¹¹⁷ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 137)

Dónde:

C (kg/m^3) = Contenido de cemento.

α = Relación agua/cemento.

T (cm) = Asentamiento en el Cono de Abrams.

k , m , n = Constantes en función de las características de los componentes del concreto y forma de elaboración.

Esta ecuación también puede expresarse de la siguiente manera:

$$\log C = \log k + n \log T - m \log \alpha$$

Como se expuso anteriormente, las pruebas empíricas fueron realizadas con ciertos tipos de materiales por lo que el contenido óptimo de cemento para lograr una resistencia requerida se obtenía con la siguiente ecuación, expresada en sus dos formas:

$$C = 117.2 \frac{T^{0.16}}{\alpha^{1.3}}$$

$$\log C = 2.069 + 0.16 \log T - 1.3 \log \alpha$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg}/\text{cm}^2$

$$C = 117.2 \frac{10.16^{0.16}}{0.603^{1.3}} = 328.13 \text{ kg}/\text{cm}^3 \quad C = \frac{328.13 \text{ kg}/\text{m}^3}{42.5 \text{ kg}/\text{bolsa}} = 7.72 \text{ bolsas}/\text{m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 210 \text{ kg}/\text{cm}^2$

$$C = 117.2 \frac{10.16^{0.16}}{0.518^{1.3}} = 399.18 \text{ kg}/\text{cm}^3 \quad C = \frac{399.18 \text{ kg}/\text{m}^3}{42.5 \text{ kg}/\text{bolsa}} = 9.39 \text{ bolsas}/\text{m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 280 \text{ kg}/\text{cm}^2$

$$C = 117.2 \frac{10.16^{0.16}}{0.419^{1.3}} = 525.51 \text{ kg}/\text{cm}^3 \quad C = \frac{525.51 \text{ kg}/\text{m}^3}{42.5 \text{ kg}/\text{bolsa}} = 12.36 \text{ bolsas}/\text{m}^3$$

Con la ecuación descrita anteriormente también se desarrolló también una gráfica donde se pueda obtener una variable en función a dos valores conocidos, estos términos son cantidad de cemento (sin corregir), relación agua/cemento (de los datos iniciales) y asentamiento.

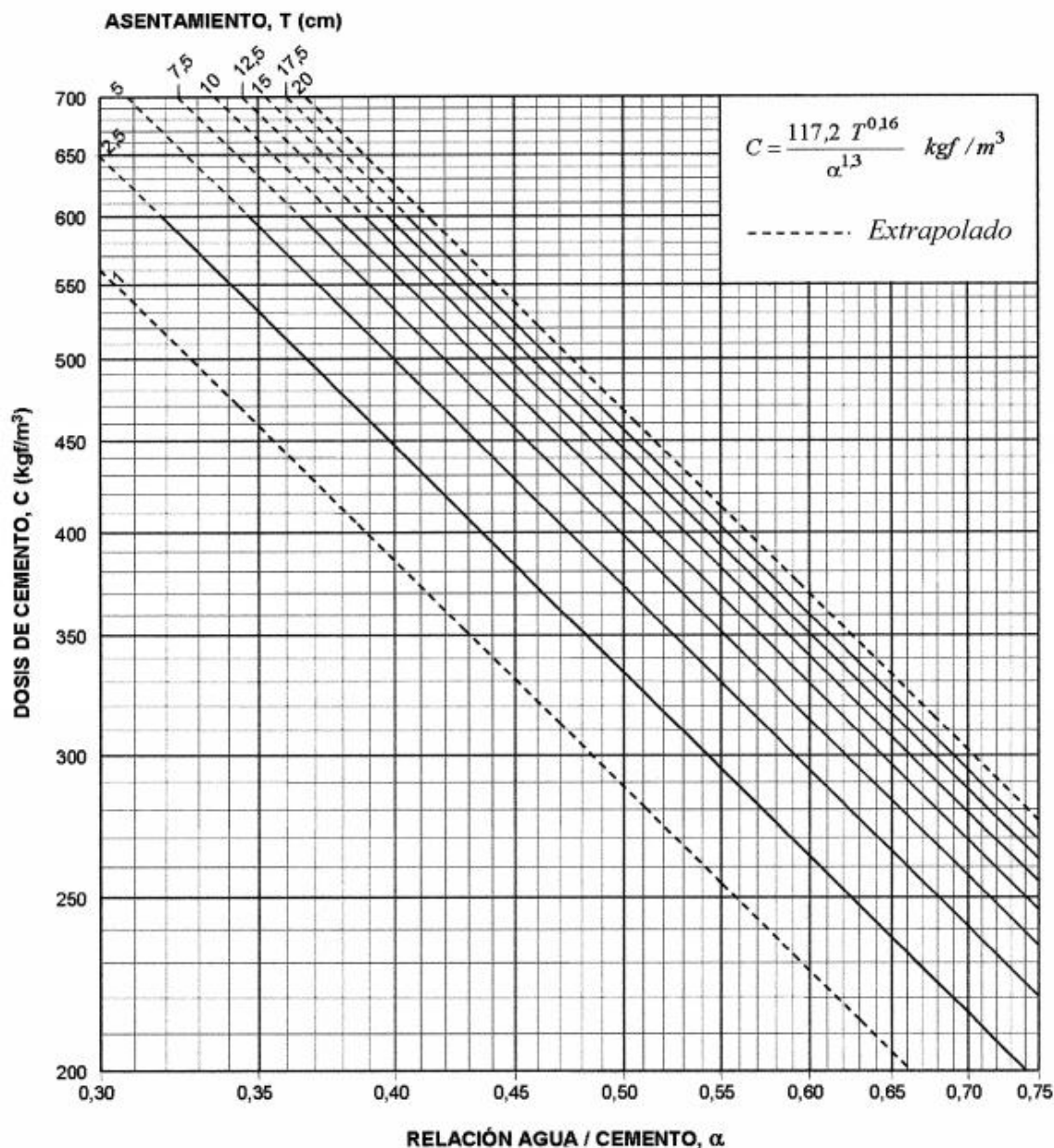


Fig. 4.50. Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de cemento (C) y la relación agua/cemento (α) ¹¹⁸

4.2.8.7. CORRECCIONES DE LA CANTIDAD DEL CEMENTO

Reiterando, este método empírico se realizó con componentes específicos por lo que es necesario hacer correcciones a la cantidad de cemento para ajustarlos y obtener los resultados requeridos, siendo C1 y C2 correcciones del tamaño máximo y tipo de agregado respectivamente.

¹¹⁸ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 140)

Con los datos físicos y mecánicas de los agregados podemos obtener los siguientes factores de corrección de la relación agua/cemento:

Tamaño Máximo	6.35 (¼")	9.53 (3/8")	12.7 (½")	19.1 (¾")	25.4 (1")	38.1 (1½")	50.8 (2")	63.5 (2½")	76.2 (3")
Factor C_1	1.33	1.20	1.14	1.05	1.00	0.93	0.88	0.85	0.82

Tabla 4.33. C_1 Factor para corregir "C" por tamaño máximo, mm (plg.) ¹¹⁹

	Gruesos	Triturados	Semitriturados	Canto Rodado (Grava Natural)
Finos				
Arena Natural		1.00	0.93	0.90
Arena Triturada		1.28	1.23	0.96

Tabla 4.34. C_2 Factor para corregir "C" por tipo de agregado ¹²⁰

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

$$C_1 = 1.00$$

$$C_2 = 1.00$$

Por tanto el valor del contenido de cemento de las diferentes resistencias permanece inalterable por tener una corrección igual a la unidad

De la misma manera que la relación agua/cemento, existe una tabla adicional de la norma COVENIN 1753, cuando se tenga condiciones especiales donde indica la cantidad mínima de cemento a utilizar en la mezcla para asegurar la resistencia y durabilidad del concreto.

Condiciones ambientales	Dosis mínima de cemento kgf/m^3
En cualquier circunstancia. Los concretos masivos de represa son un caso especial	270
En ambientes agresivos, marinos o concretos sometidos a desgaste	350

Tabla 4.35. Contenidos mínimos de cemento en función de las condiciones de servicio o ambientales según COVENIN 1753:2003 ¹²¹

¹¹⁹ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 141)

¹²⁰ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 142)

¹²¹ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 142)

4.2.8.8. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

El contenido de aire atrapado depende de múltiples factores, en este método al considerarlo mínimo en comparación al volumen de otros componentes del concreto, basta con obtener una aproximación cercana considerando sus dos principales variables, el tamaño máximo del agregado (P) y la cantidad de cemento (C).

$$V = \frac{C}{P}$$

Dónde:

V (lt/m³) = Volumen de aire atrapado

C (kg/m³) = Contenido de cemento.

P (mm) = Tamaño máximo de los agregados

DISEÑO DE MEZCLA

F'C = 175 kg/cm²

F'C = 210 kg/cm²

F'C = 280 kg/cm²

$$V = \frac{328.13 \text{ kg/m}^3}{25.40 \text{ mm}} = 12.9 \text{ lt/m}^3 \quad V = \frac{399.18 \text{ kg/m}^3}{25.40 \text{ mm}} = 15.7 \text{ lt/m}^3 \quad V = \frac{525.51 \text{ kg/m}^3}{25.40 \text{ mm}} = 20.7 \text{ lt/m}^3$$

4.2.8.9. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DEL CEMENTO

Como se conoce el peso en kg, y el peso específico del cemento, se puede calcular directamente el volumen del mismo. Sin embargo, en este método se determina que para la práctica se debe considerar un volumen menor al calculado por su peso específico, debido a que más adelante el cemento será mezclado con el agua, resultando en la siguiente formula:

$$\text{Volumen del cemento (m}^3\text{)} = C \text{ (kg/m}^3\text{)} * 0.0003$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen del cemento} = 328.13 * 0.0003 = 0.098 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen del cemento} = 399.18 * 0.0003 = 0.120 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Volumen del cemento} = 525.51 * 0.0003 = 0.158 \text{ m}^3$$

4.2.8.10. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA

Para determinar el volumen unitario de agua, se aplica la siguiente formula de acuerdo a la relación agua/cemento (α) anteriormente hallada:

$$\text{Volumen unitario de agua (lt/m}^3\text{)} = C \text{ (kg/m}^3\text{)} * \alpha$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen unitario de agua} = 328.13 * 0.603 = 197.71 \text{ lt/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen unitario de agua} = 399.18 * 0.518 = 206.86 \text{ lt/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Volumen unitario de agua} = 525.51 * 0.419 = 220.41 \text{ lt/m}^3$$

4.2.8.11. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN “ β ”

Para la determinación de la proporción de los agregados finos y gruesos, este método trata de lograr que la granulometría de la combinación de los agregados sea la más óptima, debiendo estar dentro de los límites o zonas granulométricas propuestas de acuerdo al tamaño máximo del agregado para tener un equilibrio de calidad y economía; estos límites de recomendación vienen definidos en el libro “Manual del concreto Fresco” (2da edición, 1979).

Este método interviene una nueva variable llamada relación beta “ β ”, referente a la relación existente entre el agregado fino con el agregado total (agregado grueso + fino), este se calcula de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{100 * A}{(A + G)}$$

Dónde:

β (%) = Relación Beta

A (%) = Porcentaje de agregado fino (arena)

G (%) = Porcentaje de agregado grueso (grava)

Cedazo		Tamaños máximos; mm (pulgadas)									
Abertura		88.9	76.2	63.5	50.8	38.1	25.4	19.1	12.7	9.53	6.35
Mm	pulg.	(3 1/2")	(3")	(2 1/2")	(2")	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(1/4")
88.9	3 ½	100 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76.2	3	95 - 80	100 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-
63.5	2 ½	92 - 60	92 - 70	100 - 90	-	-	-	-	-	-	-
50.8	2	85 - 50	87 - 55	87 - 65	100 - 90	-	-	-	-	-	-
38.1	1 ½	76 - 40	80 - 45	80 - 55	87 - 73	100 - 90	-	-	-	-	-
25.4	1	68 - 33	72 - 38	73 - 47	77 - 59	84 - 70	100 - 90	-	-	-	-
19.1	¾	63 - 30	68 - 35	68 - 43	73 - 53	77 - 61	90 - 70	100 - 90	-	-	-
12.7	½	57 - 28	62 - 32	62 - 37	68 - 44	70 - 49	75 - 55	85 - 65	100 - 90	-	-
9.53	3/8	53 - 25	58 - 30	60 - 35	65 - 40	65 - 43	68 - 45	75 - 55	98 - 90	100 - 90	-
6.35	¼	45 - 22	48 - 25	58 - 30	60 - 35	60 - 35	60 - 35	65 - 45	65 - 51	73 - 61	100 - 90
4.76	# 4	45 - 22	48 - 25	50 - 28	55 - 30	55 - 30	55 - 30	60 - 38	58 - 42	62 - 48	65 - 52
2.38	# 8	40 - 20	43 - 20	45 - 20	45 - 20	45 - 20	45 - 20	45 - 20	43 - 37	40 - 26	38 - 26
1.19	# 16	35 - 10	35 - 15	35 - 15	35 - 15	35 - 15	35 - 15	35 - 15	31 - 17	26 - 14	21 - 9
0.59	# 30	25 - 10	25 - 10	25 - 10	25 - 10	25 - 10	25 - 10	25 - 10	20 - 10	13 - 5	8 - 2
0.29	# 50	16 - 7	16 - 7	16 - 7	16 - 7	16 - 7	16 - 5	16 - 5	11 - 5	7 - 3	5 - 1
0.14	# 100	8 - 2	8 - 2	8 - 2	8 - 2	8 - 2	8 - 1	8 - 1	6 - 1	5 - 1	2 - 0

Tabla 4.36. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos de agregado. Porcentaje Pasantes ¹²²

¹²² (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 126)

El valor de β escogido debe proporcionar que la granulometría de la combinación de los agregados este dentro de la zona recomendada anteriormente, el procedimiento para determinar el valor de β se describe a continuación:

- a) Se realiza el análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos con las mallas normadas para determinar el porcentaje pasante de estos, como ejemplo se da la siguiente tabla.

ABERTURA mm	CEDAZO PULGADAS	GRUESO	ARENA	RESULTADO $\beta = 46,8\%$
25,4	1	97	-	98,4
19,1	3/4	52	-	74,5
12,7	1/2	25	-	60,1
9,53	3/8	6	100	50,0
6,35	1/4	1	96	45,5
4,76	#4	0	86	40,2
2,38	#8		68	31,8
1,19	#16		40	18,7
0,595	#30		32	15,0
0,298	#50		12	5,6
0,149	#100		4	1,9

Tabla 4.37. Granulometria del ejemplo de combinación de Agregados.¹²³

- b) Se trazan dos líneas verticales donde se graduará de 0 a 100 % referente al porcentaje pasante; en la derecha se colocan el agregado grueso y a la izquierda el agregado fino. En la línea horizontal se colocara la relación β (arena/agregado total) en porcentaje de 0 a 100% partiendo siempre de la línea vertical del agregado grueso.
- c) Se marcaran los porcentajes pasantes y los tamices que se utilizó en el análisis granulométrico independiente de cada agregado (fino y grueso) en su respectiva línea vertical.
- d) Se unirán los puntos marcados de los porcentajes pasantes del agregado grueso con el porcentaje de 100% de la línea vertical del agregado fino. ($\beta = 100\%$ sin grava) De manera inversa los puntos marcados de los porcentajes pasantes del agregado fino se unirán con el porcentaje 0% de la línea vertical agregado grueso ($\beta = 0\%$ sin arena).

¹²³ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 127)

- e) Con los límites granulométricos recomendados en la tabla 4.36, se marcarán y resaltarán los rangos de límites admisibles de combinación de agregados para cada tamiz utilizado en el análisis granulométrico de cada agregado.
- f) Cada línea tendrá sus límites, por lo que se identificara el máximo rango donde todas las líneas estén dentro de los valores admisibles recomendados, luego se trazara líneas verticales en los límites de este rango que interceptaran con el eje horizontal que definirá la relación máxima y mínima del valor “ β ”.
- g) Para determinar el valor de β , se recomienda escoger el punto medio entre β promedio (β mayor y menor) y β límite de la combinación más gruesa (β menor).

$$\beta = \frac{\beta_{promedio} + \beta_{menor}}{2}$$

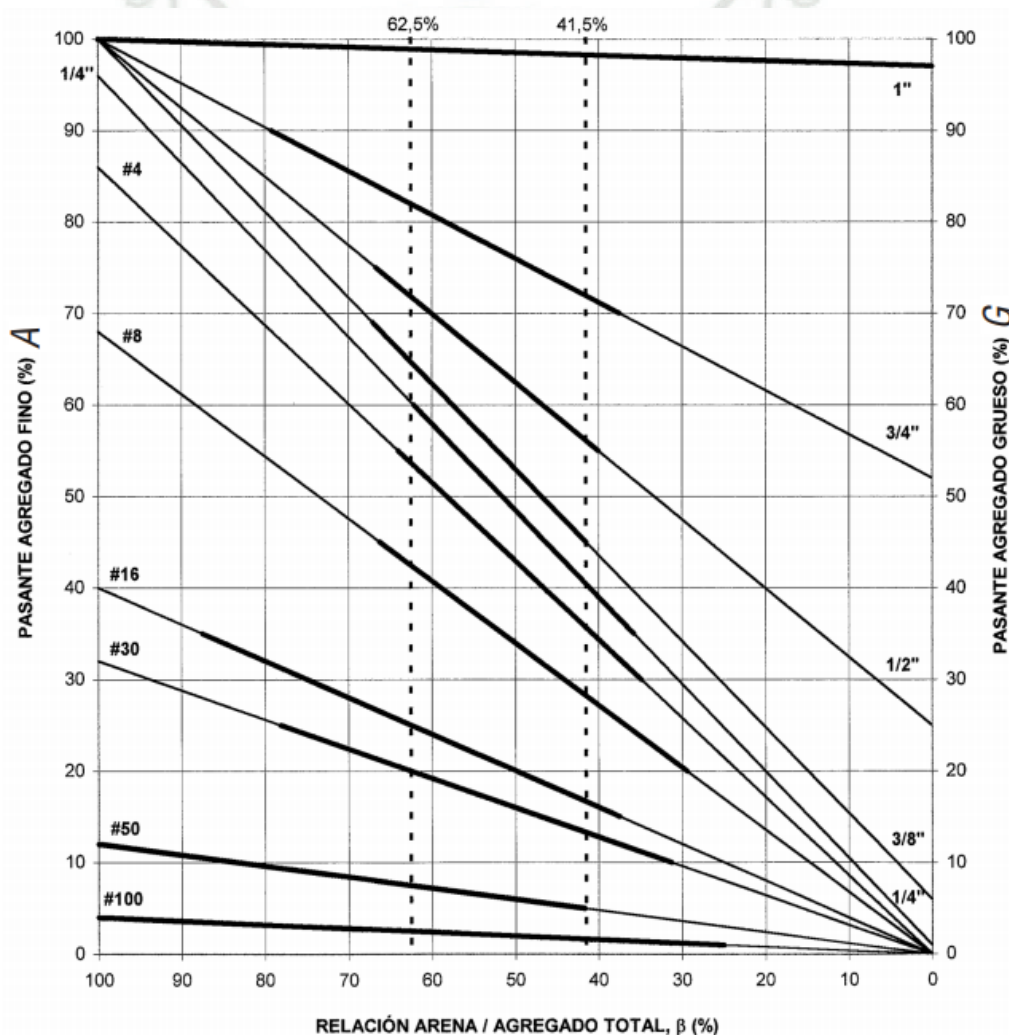


Fig. 4.51. Ejemplo de relación arena/agregado total, β (%) ¹²⁴

¹²⁴ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, pág. 128)

“Como indicaciones orientadoras puede decirse que una β hacia el lado de los finos, es decir una β con valor alto, produce concretos poco propensos a la segregación, apropiados para bombeo y colocación en sitios difíciles, pero de mayor costo por las mayores dosis de cemento que van a requerir. Por el contrario, valores bajos de β dan concretos más económicos pero con posibilidad de segregarse, adecuado para vaciados de fácil acceso y colocación, tales como fundaciones, pisos y pavimentos.”¹²⁵

DISEÑO DE MEZCLA $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$, $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$

Con los datos de la granulometría de los agregados podemos desarrollar la gráfica de la relación entre la arena y el agregado total, con los pasos antes mencionados, de donde el valor máximo del agregado grueso coincide con 52.08% y el valor mínimo del agregado fino coincide con 46.25%, siendo este el rango ideal de la combinación de los agregados, con el cual podemos obtener el promedio de estos para el cálculo del porcentaje ideal del agregado fino dentro del agregado total (agregado grueso fino).

¹²⁵ (Porrero S., Grases G., Ramos R., & Velazco J., Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural", 2014, págs. 129-130)

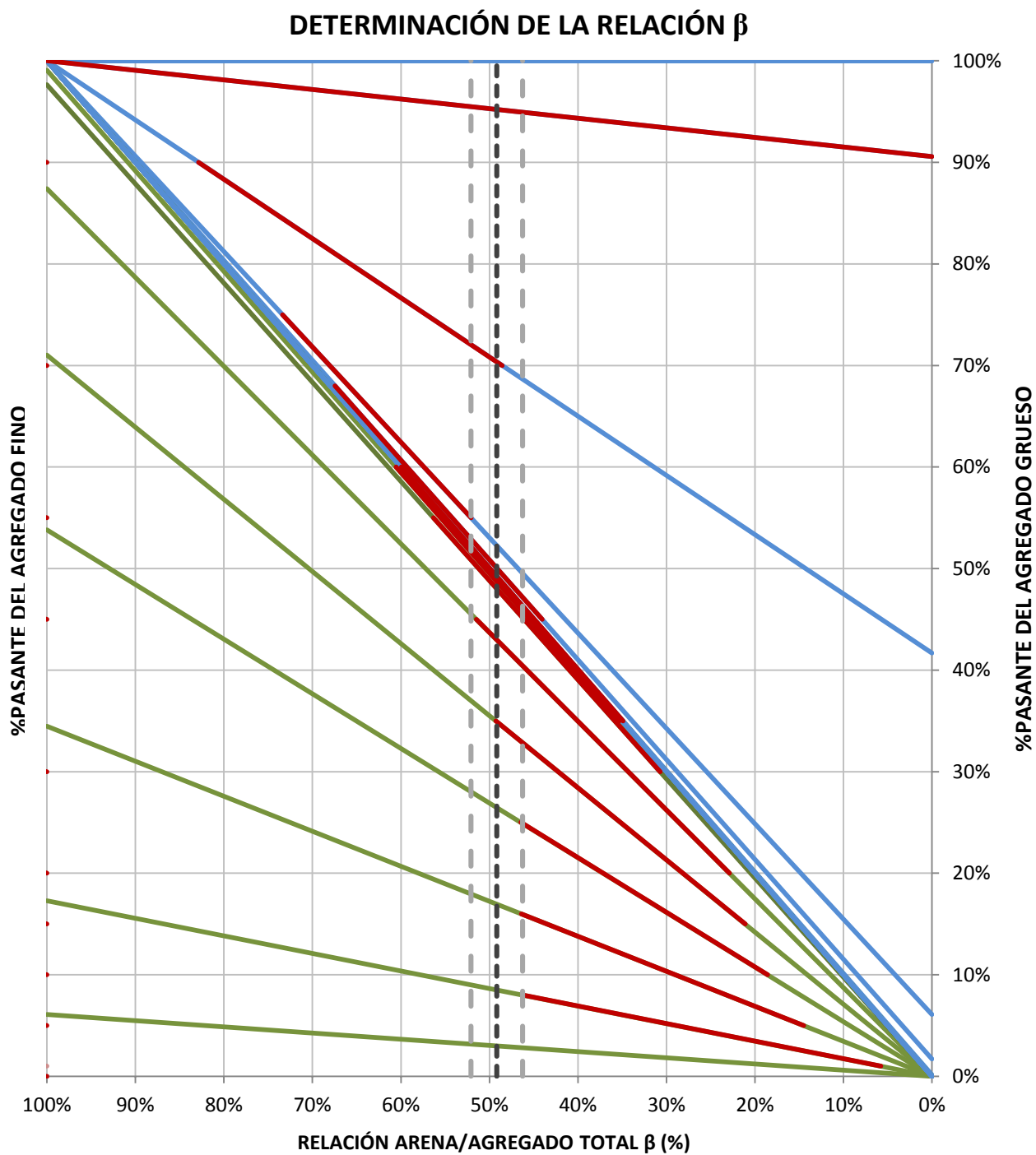


Fig. 4.52. Relación Arena/Agregado Total β (%)

Con el grafico anterior obtenemos el porcentaje del agregado fino dentro del agregado total por tanto:

$$\beta = 49.17\%$$

$$\alpha = 50.83\%$$

MALLA		% Pasante Promedio		%Proporcionamiento		CURVA RESULTANTE	LÍMITES GRANULOMÉTRICOS PORRERO & GRASES	
		A.F.	A.G.	A.F. (β)	A.G. (α)		LI	LS
Plg	mm	%	%	49.17%	50.83%	100.00%	LI	LS
2 ½"	63.5	100.00	100.00	49.17%	50.83%	100.00%	100%	100%
2"	50.8	100.00	100.00	49.17%	50.83%	100.00%	100%	100%
1 ½"	38.1	100.00	100.00	49.17%	50.83%	100.00%	100%	100%
1"	25.4	100.00	90.58	49.17%	46.05%	95.21%	90%	100%
¾"	19.05	100.00	41.69	49.17%	21.19%	70.36%	70%	90%
½"	12.7	100.00	6.09	49.17%	3.10%	52.26%	55%	75%
⅜"	9.525	100.00	1.71	49.17%	0.87%	50.03%	45%	68%
¼"	6.35	99.09	0.15	48.72%	0.07%	48.79%	35%	60%
# 4	4.75	97.66	0.00	48.01%	0.00%	48.01%	30%	55%
# 8	2.36	87.41	0.00	42.98%	0.00%	42.98%	20%	45%
# 16	1.18	71.03	0.00	34.92%	0.00%	34.92%	15%	35%
# 30	0.60	53.82	0.00	26.46%	0.00%	26.46%	10%	25%
# 50	0.30	34.49	0.00	16.96%	0.00%	16.96%	5%	16%
# 100	0.15	17.30	0.00	8.50%	0.00%	8.50%	1%	8%
# 200	0.075	6.10	0.00	3.00%	0.00%	3.00%	0%	0%

Cuadro 4.62. Proporciónamiento de los agregados por el diseño de mezcla de Porrero & Grases

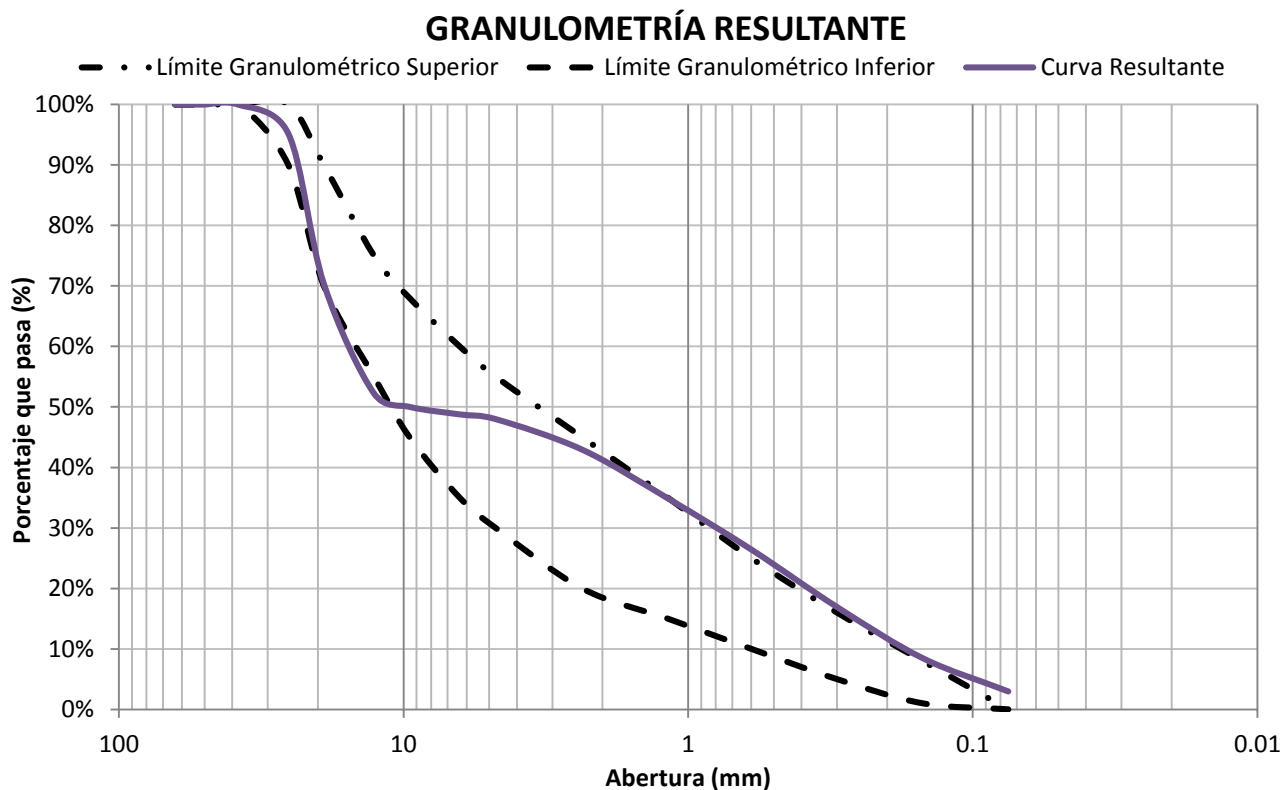


Fig. 4.53. Proporciónamiento de los agregados por el Diseño de Mezcla de Porrero & Grases

4.2.8.12. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES ABSOLUTOS (AGUA Y AIRE)

Como se conoce el peso en kg, y el peso específico del agua y aire, se puede calcular los volúmenes de cada componente.

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{\% \text{ Aire}}{100}$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso unitario del agua (Lt/m}^3\text{)}}{\text{Peso Especif. del agua (lts/m}^3\text{)}}$$

El volumen del cemento se calculó anteriormente por lo que para conocer el volumen absoluto de estos componentes del concreto, basta con sumar sus volúmenes (m³).

$$\text{Vol. abs. (aire, agua y cemento) (m}^3\text{)} = \text{Vol. aire} + \text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento}$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{12.9 \text{ lt/m}^3}{1000} = 0.0129 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{197.71 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.198 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (agua, aire y cemento)} = 0.0129 + 0.198 + 0.098 = 0.309 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{15.7 \text{ lt/m}^3}{1000} = 0.0157 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{206.86 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.207 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (agua, aire y cemento)} = 0.0157 + 0.207 + 0.120 = 0.342 \text{ m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$\text{Volumen del aire (m}^3\text{)} = \frac{20.7 \text{ lt/m}^3}{1000} = 0.0207 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agua (m}^3\text{)} = \frac{220.41 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.220 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs. (agua, aire y cemento)} = 0.0207 + 0.220 + 0.158 = 0.399 \text{ m}^3$$

4.2.8.13. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Como los datos de los volúmenes absolutos de los demás componentes son conocidos, se puede hallar con una sencilla operación el volumen del agregado global (agregado fino + grueso).

$$Vol. de agregado global (m^3) = 1.00 - Vol. abs. (agua y aire)$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Vol. de agregado global = 1.00 - 0.309 = 0.691 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Vol. de agregado global = 1.00 - 0.342 = 0.658 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Vol. de agregado global = 1.00 - 0.399 = 0.601 m^3$$

4.2.8.14. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GLOBAL

Para obtener el volumen absoluto del agregado global es necesario conocer el peso específico de los agregados combinados (fino + grueso), cual se determinara con la siguiente formula:

$$\gamma_{(A+G)} = \beta * \gamma_A + (1 - \beta) * \gamma_G$$

Dónde:

$\gamma_{(A+G)}$ (kg/m³) = Peso específico de los agregados combinados

β (%) = Relación del agregado fino y el agregado total.

γ_A (kg/m³) = Peso específico del agregado fino (arena)

γ_G (kg/m³) = Peso específico del agregado grueso (grava)

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm², F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm²

$$\gamma_{(A+G)} = 0.4917 * 2340 + (1 - 0.4917) * 2718$$

$$\gamma_{(A+G)} = 2532.16 \text{ kg/m}^3$$

4.2.8.15. DETERMINACIÓN DEL PESO DEL AGREGADO GLOBAL

Conociendo el peso específico de la combinación del agregado fino + grueso, se puede definir la siguiente ecuación:

$$V_{(A+G)} = \frac{\text{Agregado global (kg/m}^3\text{)}}{\gamma_{(A+G)}}$$

Para determinar el volumen absoluto de los agregados conociendo el volumen de los demás componentes se puede realizar con una diferencia de estos con la unidad.

$$V_{(A+G)} = Vol. de agregado global (m^3)$$

Reemplazando el valor de $V_{(A+G)}$ en las dos anteriores ecuaciones se puede obtener el valor del agregado global correspondientes a la suma de los peso del agregado fino y grueso.

$$Agregado global (kg/m^3) = \gamma_{(A+G)} * Vol. de agregado global (m^3)$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Agregado global = 2532.16 * 0.691 = 1749.54 kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Agregado global = 2532.16 * 0.658 = 1665.32 kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Agregado global = 2532.16 * 0.601 = 1522.45 kg/m^3$$

4.2.8.16. DETERMINACIÓN DE PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS

Para hallar el peso en kilogramos por metro cubico de los agregados, se utilizara la relación “ β ” con las siguientes ecuaciones.

$$W_{seco A.F.} (kg/m^3) = \beta * Agregado global (kg/m^3)$$

$$W_{seco A.G.} (kg/m^3) = (1 - \beta) * Agregado global (kg/m^3)$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$W_{seco A.F.} = 0.4917 m^3 * 1749.54 kg/m^3 = 860.16 kg/m^3$$

$$W_{seco A.G.} = 0.5083 m^3 * 1749.54 kg/m^3 = 889.38 kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$W_{seco A.F.} = 0.4917 m^3 * 1665.32 kg/m^3 = 818.76 kg/m^3$$

$$W_{seco A.G.} = 0.5083 m^3 * 1665.32 kg/m^3 = 846.56 kg/m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$W_{seco A.F.} = 0.4917 m^3 * 1522.45 kg/m^3 = 748.52 kg/m^3$$

$$W_{seco A.G.} = 0.5083 m^3 * 1522.45 kg/m^3 = 773.94 kg/m^3$$

4.2.8.17. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS (INCLUIDO EL CEMENTO)

Habiendo obtenido en el paso anterior los porcentajes de participación de cada agregado, se puede determinar el volumen absoluto de cada uno:

$$Volumen A.F. (m^3) = W_{seco} A.F. (kg/m^3) \times \gamma_{(A+G)} (kg/m^3)$$

$$Volumen A.G. (m^3) = W_{seco} A.G. (kg/m^3) \times \gamma_{(A+G)} (kg/m^3)$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 kg/cm²

$$Volumen del A.F. = 860.16 \times 2532.16 = 0.340 m^3$$

$$Volumen del A.G. = 889.38 \times 2532.16 = 0.351 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 210 kg/cm²

$$Volumen del A.F. = 818.76 \times 2532.16 = 0.323 m^3$$

$$Volumen del A.G. = 846.56 \times 2532.16 = 0.334 m^3$$

DISEÑO DE MEZCLA F'C = 280 kg/cm²

$$Volumen del A.F. = 748.52 \times 2532.16 = 0.296 m^3$$

$$Volumen del A.G. = 773.94 \times 2532.16 = 0.306 m^3$$

4.2.8.18. PRESENTACIÓN DE VALORES DE DISEÑO

Se presenta los pesos de los componentes en estado seco, es recomendable comprobar que la suma de los volúmenes resulte en la unidad para evitar errores de cálculo.

4.2.8.19. AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Considerando los valores de porcentaje de absorción y de humedad de los agregados se procede a realizar el ajuste según lo descrito en el Capítulo III apartado 3.5.9.

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 175 kg/cm²				
Aire	-	0.013	-	0.013
Agua	197.71	0.198	215.01	0.215
Cemento	328.13	0.098	328.13	0.098
A.G.	889.38	0.351	890.53	0.328
A.F.	860.16	0.340	869.97	0.372
TOTAL	2275.38	1.000	2303.64	1.025

COMPONENTE	DISEÑO SECO		DISEÑO CORREGIDO	
	PESO	VOLUMEN	PESO	VOLUMEN
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³
F'C = 210 kg/cm²				
Aire	-	0.016	-	0.016
Agua	206.86	0.207	223.33	0.223
Cemento	399.18	0.120	399.18	0.120
A.G.	846.56	0.334	847.66	0.312
A.F.	818.76	0.323	828.09	0.354
TOTAL	2271.36	1.000	2298.26	1.025
F'C = 280 kg/cm²				
Aire	-	0.021	-	0.021
Agua	220.41	0.220	235.46	0.235
Cemento	525.51	0.158	525.51	0.158
A.G.	773.94	0.306	774.94	0.285
A.F.	748.52	0.296	757.05	0.324
TOTAL	2268.37	1.000	2292.96	1.022

4.2.8.20. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Para finalizar es común presentar la proporción de los materiales en peso según la cantidad de cemento, y en el caso del agua en función a la cantidad de bolsas de cemento (lt/bolsa) para 1m³.

F'C	CEMENTO	A.G.	A.F.	AGUA
175	328.13	890.53	869.97	215.01
	1.00	2.71	2.65	27.85
210	399.18	847.66	828.09	223.33
	1.00	2.12	2.07	23.78
280	525.51	774.94	757.05	235.46
	1.00	1.47	1.44	19.04

4.3. RESUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA

DATO/DISEÑO	ACI			WALKER			MODULO DE FINEZA		
F'C (kg/cm ²)	175	210	280	175	210	280	175	210	280
f'cr (kg/cm ²)	245	294	364	245	294	364	245	294	364
Asentamiento	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
TMN	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"
Cant. Agua (lt/m ³)	193	193	193	197	197	197	193	193	193
Cont. Aire (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
a/c	0.628	0.558	0.466	0.628	0.558	0.466	0.628	0.558	0.466
Wcemento (kg/m ³)	307.32	345.63	414.16	313.69	352.79	422.75	307.32	345.63	414.16
Wcemento (kg/m ³)	7.23	8.13	9.75	7.38	8.30	9.95	7.23	8.13	9.75
Vol. Cemento (m ³)	0.108	0.121	0.145	0.110	0.124	0.148	0.108	0.121	0.145
Wseco A.G. (kg/m ³)	1100.49	1100.49	1100.49	1082.76	1094.07	1110.87	1066.72	1068.42	1073.87
Vol. A.G. (m ³)	0.405	0.405	0.405	0.398	0.403	0.409	0.392	0.393	0.395
Wseco A.F. (kg/m ³)	653.51	622.05	565.79	654.18	612.35	540.44	682.58	649.66	588.71
Vol. A.F. (m ³)	0.279	0.266	0.242	0.280	0.262	0.231	0.292	0.278	0.252
DISEÑO CORREGIDO									
Cant. Agua (m ³)	207.77	207.27	206.36	211.72	211.08	209.99	208.11	207.59	206.63
Wseco A.G. (kg/m ³)	1101.92	1101.92	1101.92	1084.17	1095.49	1112.32	1072.21	1073.92	1079.39
Vol. A.G. (m ³)	0.405	0.405	0.405	0.399	0.403	0.409	0.394	0.395	0.397
Wseco A.F. (kg/m ³)	660.96	629.15	572.24	661.64	619.33	546.60	701.38	667.56	604.92
Vol. A.F. (m ³)	0.282	0.269	0.245	0.283	0.265	0.234	0.300	0.285	0.259

Cuadro 4.63. Cuadro resumen del diseño de mezcla ACI, Walker y Modulo de Fineza para $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm²

DATO/DISEÑO	FÜLLER			BOLOMEY			FAURY		
F'C (kg/cm ²)	175	210	280	175	210	280	175	210	280
f'cr (kg/cm ²)	245	294	364	245	294	364	245	294	364
Asentamiento	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
TMN	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"
Cant. Agua (lt/m ³)	198.79	198.79	198.79	198.79	198.79	198.79	211.21	211.21	211.21
Cont. Aire (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
a/c	0.624	0.549	0.468	0.624	0.549	0.468	0.624	0.549	0.468
Wcemento (kg/m ³)	318.56	362.39	425.01	318.56	362.39	425.01	338.47	385.04	451.57
Wcemento (kg/m ³)	7.50	8.53	10.00	7.50	8.53	10.00	7.96	9.06	10.63
Vol. Cemento (m ³)	0.112	0.127	0.149	0.112	0.127	0.149	0.119	0.135	0.158
Wseco A.G. (kg/m ³)	1151.52	1126.20	1090.03	1236.17	1194.97	1136.13	757.64	795.61	849.85
Vol. A.G. (m ³)	0.424	0.414	0.401	0.455	0.440	0.418	0.279	0.293	0.313
Wseco A.F. (kg/m ³)	645.30	631.11	610.84	572.43	571.90	571.15	880.49	809.56	708.23
Vol. A.F. (m ³)	0.276	0.270	0.261	0.245	0.244	0.244	0.376	0.346	0.303
DISEÑO CORREGIDO									
Cant. Agua (m ³)	213.63	213.30	212.83	212.78	212.61	212.37	228.33	227.33	225.91
Wseco A.G. (kg/m ³)	1153.02	1127.66	1091.44	1237.77	1196.53	1137.60	758.62	796.64	850.96
Vol. A.G. (m ³)	0.424	0.415	0.402	0.455	0.440	0.419	0.279	0.293	0.313
Wseco A.F. (kg/m ³)	652.66	638.30	617.80	578.95	578.42	577.66	890.53	818.79	716.31
Vol. A.F. (m ³)	0.279	0.273	0.264	0.247	0.247	0.247	0.381	0.350	0.306

Cuadro 4.64. Cuadro resumen del diseño de mezcla Füller, Bolomey y Faury para $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm²

DATO/DISEÑO	O'REILLY			PORRERO & GRASES		
F'C (kg/cm²)	175	210	280	175	210	280
f'cr (kg/cm ²)	245	294	245	245	294	364
Asentamiento	4"	4"	4"	4"	4"	4"
TMN	1"	1"	1"	1"	1"	1"
Cant. Agua (lt/m ³)	205.69	210.77	224.91	197.71	206.86	220.41
Cont. Aire (%)	1.5	1.5	1.5	1.29	1.57	2.07
a/c	0.6104	0.5634	0.5021	0.603	0.518	0.419
Wcemento (kg/m ³)	336.98	374.12	447.91	328.13	399.18	525.51
Wcemento (bls/m ³)	7.93	8.80	10.54	7.72	9.39	12.36
Vol. Cemento (m ³)	0.118	0.131	0.157	0.098	0.120	0.158
Wseco A.G. (kg/m ³)	975.66	948.93	889.84	889.38	846.56	773.94
Vol. A.G. (m ³)	0.359	0.349	0.327	0.351	0.334	0.306
Wseco A.F. (kg/m ³)	706.94	687.57	644.76	860.16	818.76	748.52
Vol. A.F. (m ³)	0.302	0.294	0.276	0.340	0.323	0.296
DISEÑO CORREGIDO						
Cant. Agua (m ³)	220.85	225.51	238.74	215.01	223.33	235.46
Wseco A.G. (kg/m ³)	976.93	950.16	891.00	890.53	847.66	774.94
Vol. A.G. (m ³)	0.359	0.350	0.328	0.328	0.312	0.285
Wseco A.F. (kg/m ³)	715.00	695.41	652.11	869.97	828.09	757.05
Vol. A.F. (m ³)	0.306	0.297	0.279	0.372	0.354	0.324

Cuadro 4.65. Cuadro resumen del diseño de mezcla O'Reilly y Porrero & Grases para f'c 175, 210 y 280 kg/cm²

4.4. COMPARATIVO DE LA DOSIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA

4.4.1. COMPARATIVO ENTRE DISEÑOS CON UNA RESISTENCIA

MÉTODO	F'C	175 kg/cm ²					
	COMPONENTES	CEMENTO	%f(ACI)	A.G.	A.F.	AF/AG	AGUA
ACI	PESO	307.32	0.00%	1101.92	660.96	0.600	207.77
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.59	2.15		28.73
WALKER	PESO	313.69	2.07%	1084.17	661.64	0.610	211.72
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.46	2.11		28.68
MODULO DE FINEZA	PESO	307.32	0.00%	1072.21	701.38	0.654	208.11
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.49	2.28		28.78
FÜLLER	PESO	318.56	3.66%	1153.02	652.66	0.566	213.63
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.62	2.05		28.50
BOLOMEY	PESO	318.56	3.66%	1237.77	578.95	0.468	212.78
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.89	1.82		28.39
FAURY	PESO	338.47	10.13%	758.62	890.53	1.174	228.33
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.24	2.63		28.67
O'REILLY	PESO	336.98	9.65%	976.93	715.00	0.732	220.85
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.90	2.12		27.85
PORRERO & GRASES	PESO	328.13	6.77%	890.53	869.97	0.977	215.01
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.71	2.65		27.85

Cuadro 4.66. Cuadro comparativo de la dosificación entre diseño para un $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

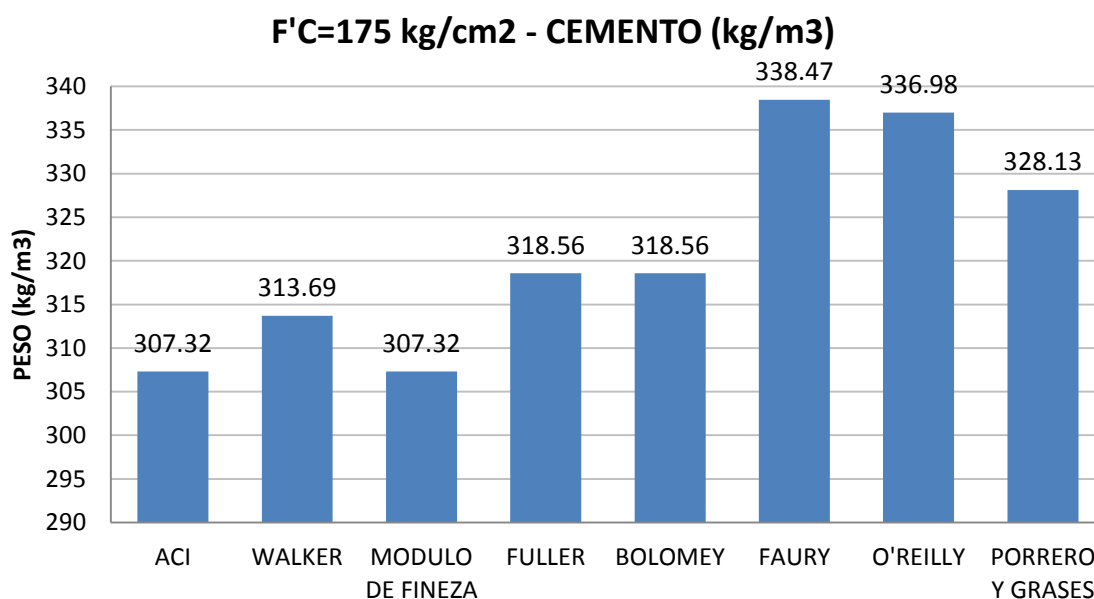


Fig. 4.54. Comparación de la dosificación del cemento entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

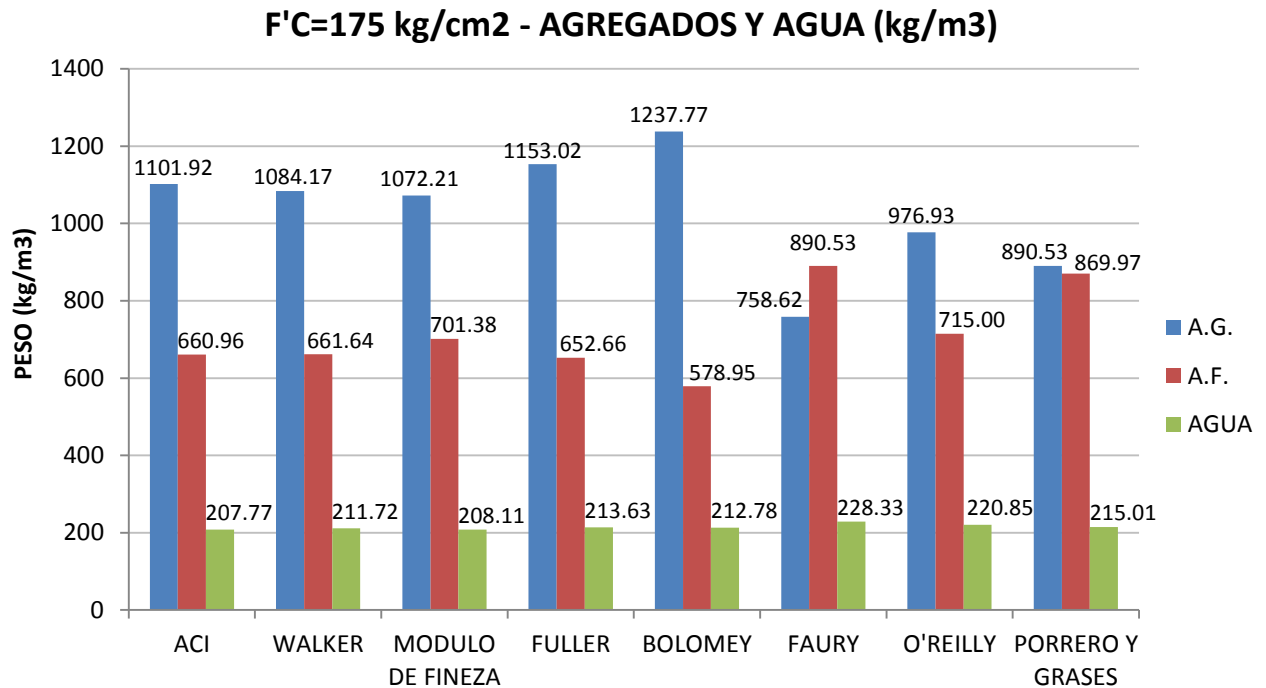


Fig. 4.55. Comparación de la dosificación de los agregados y agua entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Se observa respecto a la cantidad de cemento que los diseños convencionales de ACI, y Modulo de Fineza tienen la misma proporción, y son tomados como valores estándares para la comparación con los demás diseños, el diseño de Walker tiene un porcentaje más alto que estos dos a pesar de tener la misma naturaleza; Füller y Bolomey tienen ambos mayor cantidad de cemento en una proporción de +3.66%; el diseño de Faury a pesar de tener la naturaleza de Füller y Bolomey requiere la mayor cantidad de cemento en esta resistencia de +10.13%, Los diseños de O'Reilly y Porrero & Grases tienen una proporción mayor de cemento en 9.65% y 6.77% respectivamente.

Con respecto al agua, la mayoría de diseños mantiene un valor promedio siendo los valores de Faury y O'Reilly los que más agua necesitan; en referencia a los agregados se muestra en la tabla anterior un factor de relación agregado fino/grueso donde a mayor valor de este significara una mayor cantidad de agregado fino sobre el agregado grueso, y en viceversa cuando se tenga un valor menor, considerando este se debe mencionar que todos los diseños consideran una mayor proporción de agregado grueso siendo el método de Faury el único que propone un proporcionamiento claramente distinto, seguido por el diseño de Porrero & Grases que busca un equilibrio entre los agregados.

MÉTODO	F'C	210 kg/cm ²					
	COMPONENTES	CEMENTO	%f(ACI)	A.G.	A.F.	AF/AG	AGUA
ACI	PESO	345.63	0.00%	1101.92	629.15	0.571	207.27
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.19	1.82		25.49
WALKER	PESO	352.79	2.07%	1095.49	619.33	0.565	211.08
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.11	1.76		25.43
MODULO DE FINEZA	PESO	345.63	0.00%	1073.92	667.56	0.622	207.59
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.11	1.93		25.53
FÜLLER	PESO	362.39	4.85%	1127.66	638.30	0.566	213.30
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.11	1.76		25.01
BOLOMEY	PESO	362.39	4.85%	1196.53	578.42	0.483	212.61
	DOSIFICACIÓN	1.00		3.30	1.60		24.93
FAURY	PESO	385.04	11.40%	796.64	818.79	1.028	227.33
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.07	2.13		25.09
O'REILLY	PESO	374.12	8.24%	950.16	695.41	0.732	225.51
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.54	1.86		25.62
PORRERO & GRASES	PESO	399.18	15.49%	847.66	828.09	0.977	223.33
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.12	2.07		23.78

Cuadro 4.67. Cuadro comparativo de la dosificación entre diseño para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

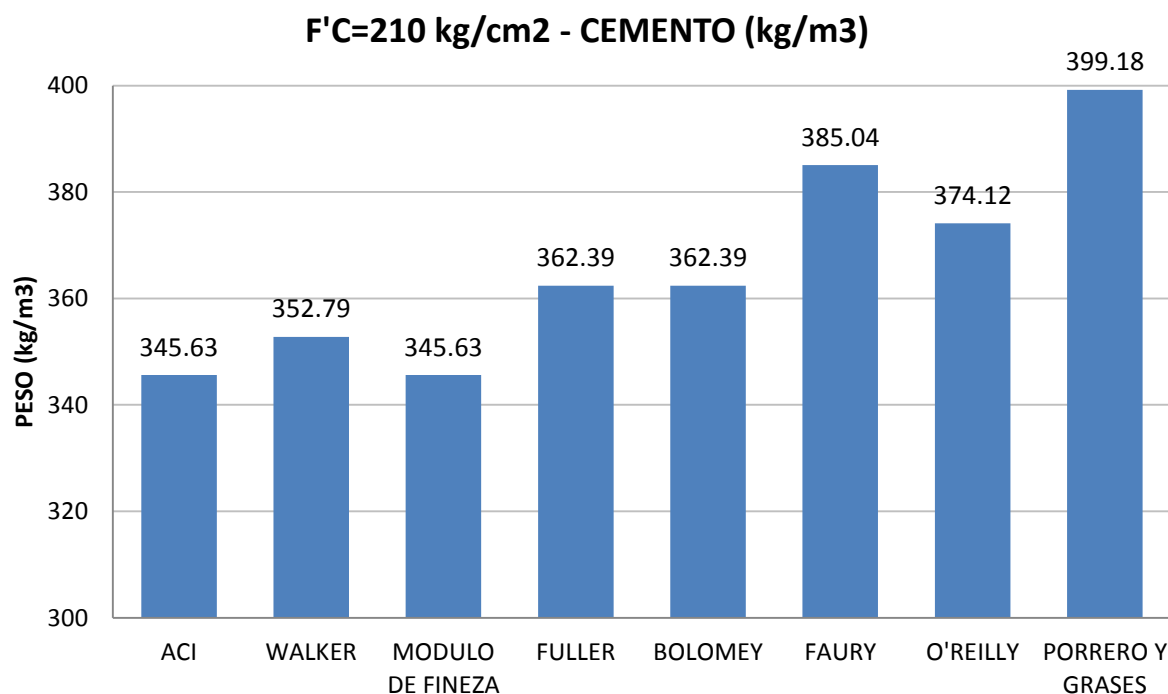


Fig. 4.56. Comparación de la dosificación del cemento entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

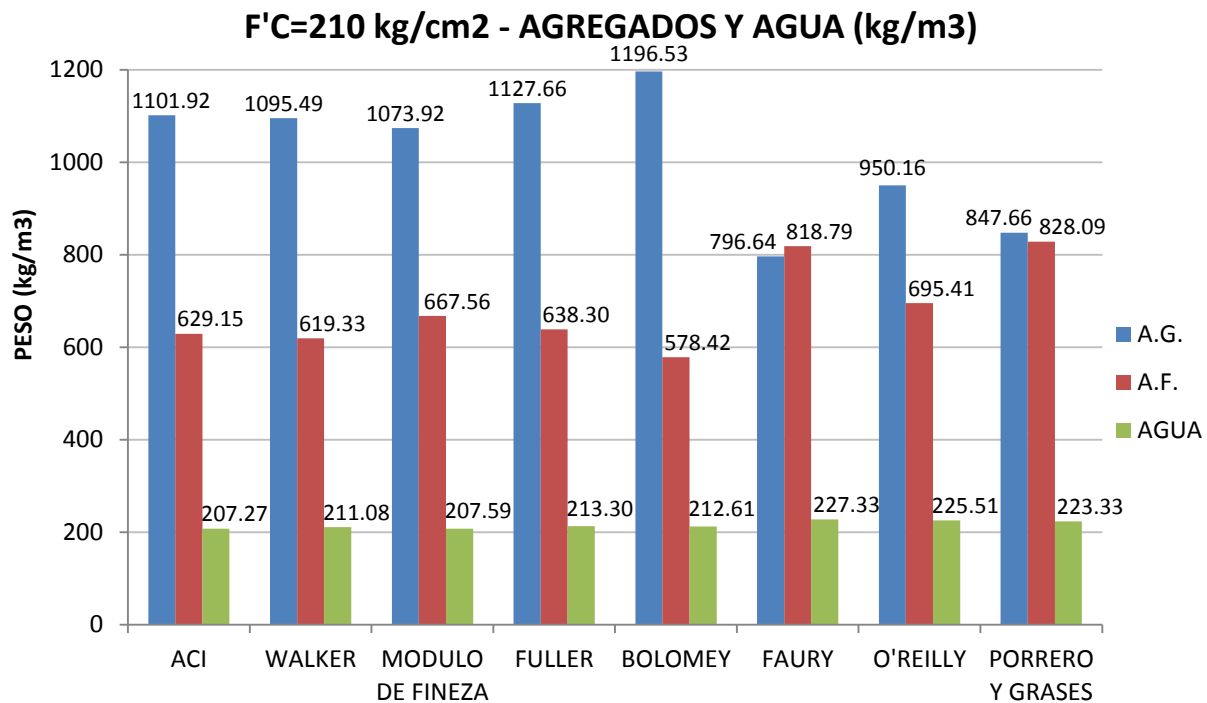


Fig. 4.57. Comparación de la dosificación de los agregados y agua entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Los diseños de ACI y Modulo de fineza nuevamente requieren la misma cantidad de cemento, siendo las más bajas en comparación a los otros diseños, seguido por el diseño de Walker con +2.07%; Füller y Bolomey esta vez requieren +4.85% en proporción a los métodos convencionales; el diseño de Faury tiene proporción mayor de +11.40%, mientras el diseño de O'Reilly acorta su diferencia con los diseños convencionales con un porcentaje de 8.24%. El diseño de Porrero & Grases claramente muestra un gran margen de diferencia con respecto a los métodos convencionales disparando su valor hasta un +15.49% siendo esta vez el diseño con más cantidad de cemento.

Referente al agua esta permanece regular en todos los diseños, con la peculiaridad que mientras más resistencia se necesite, menor será la cantidad de agua utilizada en la mezcla, sin embargo, en los diseños de Faury, O'Reilly y Porrero & Grases requieren de una mayor cantidad de agua, esto debido también a que necesitan más cemento. La proporción de los agregados en general disminuye requiriendo más agregado grueso, sin embargo en los diseños de Füller, O'Reilly y Porrero & Grases, esta proporción se mantiene constante; adema se puede notar el cambio más significativo en el diseño de Faury donde esta vez tiene una proporción equilibrada entre sus agregados.

MÉTODO	F'C	280 kg/cm ²					
	COMPONENTES	CEMENTO	%f(ACI)	A.G.	A.F.	AF/AG	AGUA
ACI	PESO	414.16	0.00%	1101.92	572.24	0.519	206.36
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.66	1.38		21.18
WALKER	PESO	422.75	2.07%	1112.32	546.60	0.491	209.99
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.63	1.29		21.11
MODULO DE FINEZA	PESO	414.16	0.00%	1079.39	604.92	0.560	206.63
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.61	1.46		21.20
FÜLLER	PESO	425.01	2.62%	1091.44	617.80	0.566	212.83
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.57	1.45		21.28
BOLOMEY	PESO	425.01	2.62%	1137.60	577.66	0.508	212.37
	DOSIFICACIÓN	1.00		2.68	1.36		21.24
FAURY	PESO	451.57	9.03%	850.96	716.31	0.842	225.91
	DOSIFICACIÓN	1.00		1.88	1.59		21.26
O'REILLY	PESO	447.91	8.15%	891.00	652.11	0.732	238.74
	DOSIFICACIÓN	1.00		1.99	1.46		22.65
PORRERO & GRASES	PESO	525.51	26.88%	774.94	757.05	0.977	235.46
	DOSIFICACIÓN	1.00		1.47	1.44		19.04

Cuadro 4.68. Cuadro comparativo de la dosificación entre diseño para un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

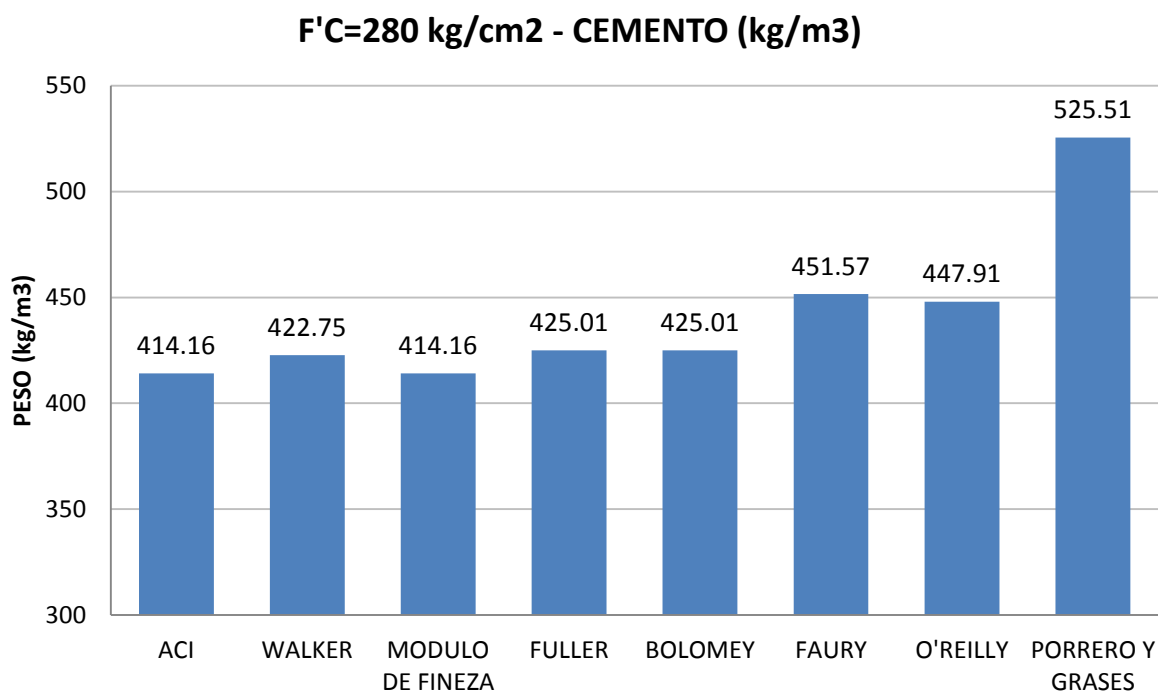


Fig. 4.58. Comparación de la dosificación del cemento entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

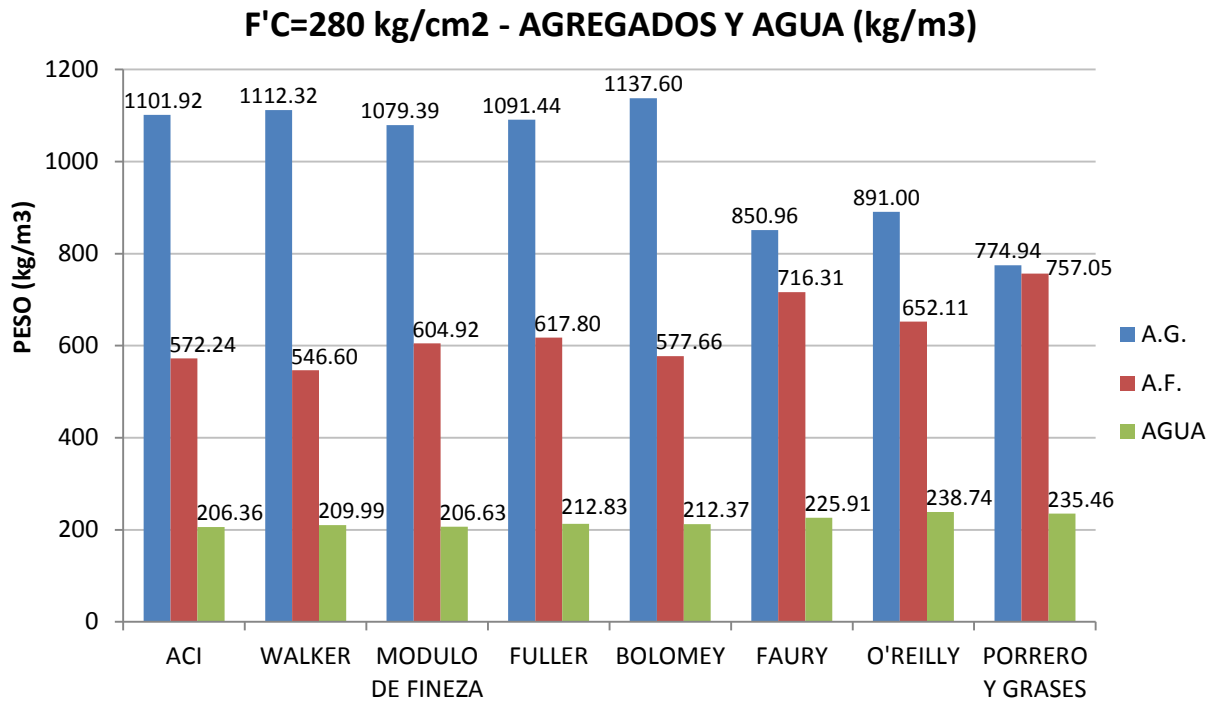


Fig. 4.59. Comparación de la dosificación de los agregados y agua entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

En la resistencia de 280 kg/cm^2 , se nota claramente que la cantidad de cemento de los diseños se ajustan más a los convencionales, sufriendo todos los diseños una menor proporción de diferencia, siendo de Füller y Bolomey de 2.62% a los que se asemeja el diseño de Walker con un constante 2.07%, el diseño de Faury con una gran diferencia con respecto a la anterior 9.03% y de O'Reilly de 8.15%, Sin embargo el único diseño que no cumple con esto es el de Porrero & Grases quien se dispara nuevamente con mayor cantidad de cemento siendo de 26.88% de los valores estándares.

Nuevamente los diseños de Faury, O'Reilly y Porrero & Grases son los que requieren mayor cantidad de agua, esta vez con el diseño de O'Reilly con el mayor requerimiento. Referente a los agregados los diseños tienen un valor menor a la anterior resistencia lo que significa una mayor cantidad de agregado grueso, con la diferencia de Füller, O'Reilly y Porrero & Grases quienes aún mantiene su proporción. Aquí nuevamente se puede recalcar que el diseño que más cambio sufre es el de Faury por ahora requerir más agregado grueso que fino, lo que no se cumplía en las resistencias anteriores.

4.4.2. COMPARATIVO ENTRE RESISTENCIAS DE UN DISEÑO

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	ACI				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	307.32	1101.92	660.96	207.77	2277.98
	Proporción	13.49%	48.37%	29.02%	9.12%	
210	Peso (kg/m ³)	345.63	1101.92	629.15	207.27	2283.97
	Proporción	15.13%	48.25%	27.55%	9.07%	
280	Peso (kg/m ³)	414.16	1101.92	572.24	206.36	2294.68
	Proporción	18.05%	48.02%	24.94%	8.99%	

Cuadro 4.69. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño ACI

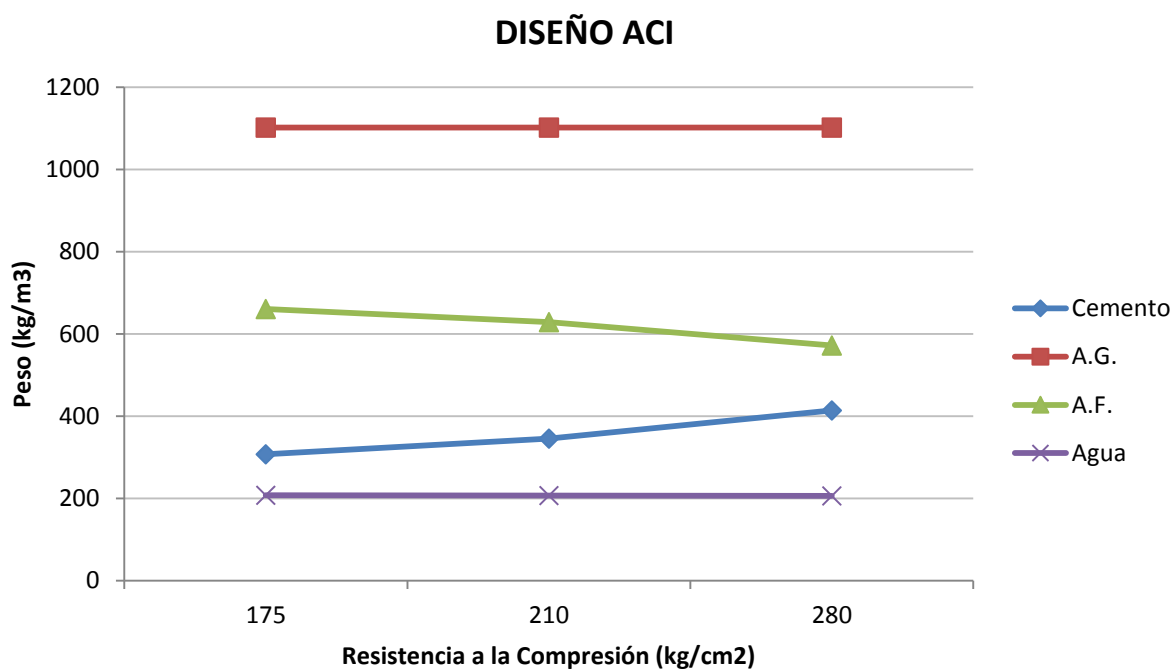


Fig. 4.60. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de ACI

Se puede observar que en el método ACI, conforme cambie la resistencia a la compresión requerida tendrá la siguiente tendencia: El cemento aumentará su cantidad a más resistencia; el agregado grueso es un valor que es independiente de la resistencia que se requiera manteniéndose constante, el agregado fino disminuirá su valor a más resistencia de la misma manera que el agua, siendo el peso de los componentes por separado mayor cuando se tenga más resistencia.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	WALKER				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	313.69	1084.17	661.64	211.72	2271.22
	Proporción	13.81%	47.74%	29.13%	9.32%	
210	Peso (kg/m ³)	352.79	1095.49	619.33	211.08	2278.69
	Proporción	15.48%	48.08%	27.18%	9.26%	
280	Peso (kg/m ³)	422.75	1112.32	546.60	209.99	2291.66
	Proporción	18.45%	48.54%	23.85%	9.16%	

Cuadro 4.70. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de WALKER

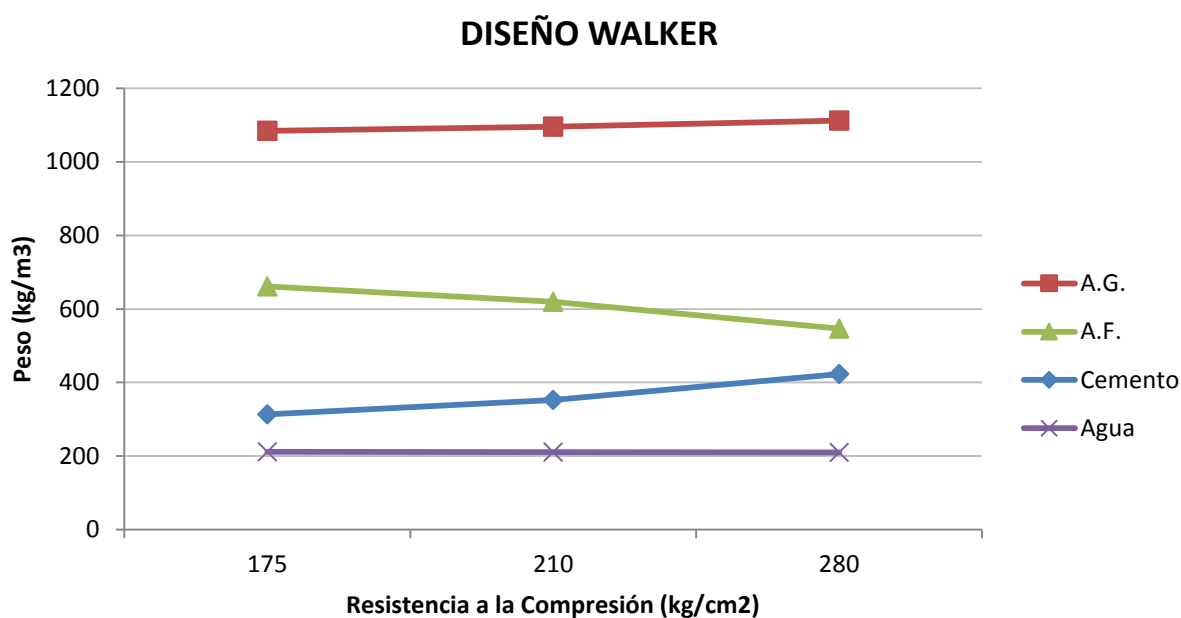


Fig. 4.61. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de WALKER

El comportamiento de Walker es muy parecido al de ACI, con una cantidad de cemento mayor en un 2.07% en todas sus resistencias y siguiendo las mismas tendencias antes descritas con la diferencia que el agregado grueso ahora es una valor que aumentara ligeramente a lo largo de la resistencia mientras que el agregado fino disminuirá más que el diseño de ACI, con una pendiente más fuerte, la cantidad de agua solicitada por el diseño es mayor al requerir también un mayor cemento

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	307.32	1072.21	701.38	208.11	2289.02
	Proporción	13.43%	46.84%	30.64%	9.09%	
210	Peso (kg/m ³)	345.63	1073.92	667.56	207.59	2294.69
	Proporción	15.06%	46.80%	29.09%	9.05%	
280	Peso (kg/m ³)	414.16	1079.39	604.92	206.63	2305.10
	Proporción	17.97%	46.83%	26.24%	8.96%	

Cuadro 4.71. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de Modulo de Fineza de la Combinación de los agregados.

DISEÑO MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS

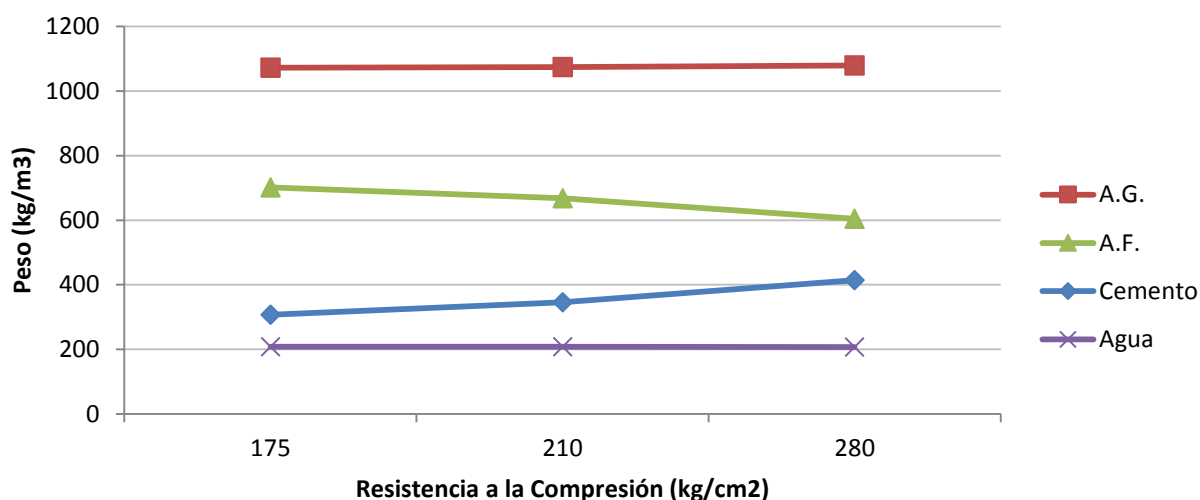


Fig. 4.62. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de Modulo de Fineza de la Combinación de los agregados.

El comportamiento del diseño de Modulo de Fineza es muy parecido al de ACI conservando la misma cantidad de cemento, sin embargo con respecto al agregado grueso este diseño requiere una ligera menor cantidad y conforme aumenta la resistencia este aumenta con ella disminuyen del agregado fino, este último también tiene mayores proporciones que los diseños anteriores, y por consiguiente también requerirá por la absorción de los agregados una mayor cantidad de agua que se irá disminuyendo conforme pasan las resistencias.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	FÜLLER				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	318.56	1153.02	652.66	213.63	2337.86
	Proporción	13.63%	49.32%	27.92%	9.14%	
210	Peso (kg/m ³)	362.39	1127.66	638.30	213.30	2341.66
	Proporción	15.48%	48.16%	27.26%	9.11%	
280	Peso (kg/m ³)	425.01	1091.44	617.80	212.83	2347.09
	Proporción	18.11%	46.50%	26.32%	9.07%	

Cuadro 4.72. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de FÜLLER

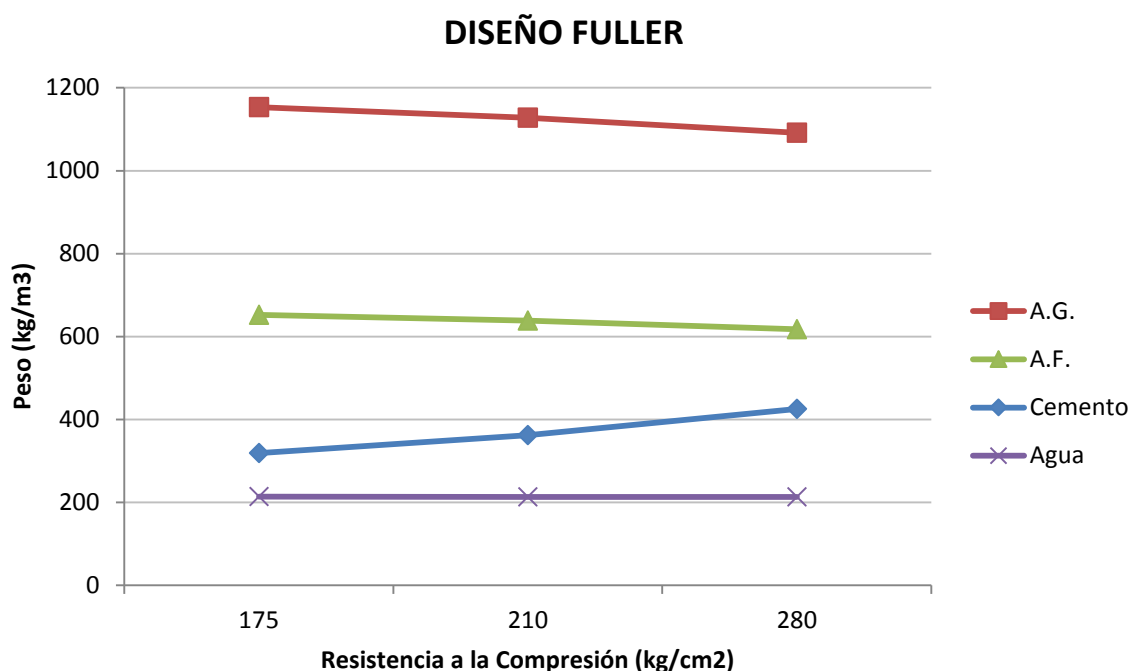


Fig. 4.63. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de FÜLLER

El diseño de Füller, es un método que requiere mayor porcentaje de cemento dentro de la mezcla, que irá aumentando conforme la resistencia lo solicite, con respecto al agregado grueso este tiene una mayor proporción que los otros métodos anteriores e ira disminuyendo a la par con el agregado fino pero en una menor pendiente cuando la resistencia avance. Se requiere una mayor cantidad de agua que a mayor resistencia se reducirá ligeramente al igual que los otros métodos.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	BOLOMEY				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	318.56	1237.77	578.95	212.78	2348.06
	Proporción	13.57%	52.71%	24.66%	9.06%	
210	Peso (kg/m ³)	362.39	1196.53	578.42	212.61	2349.95
	Proporción	15.42%	50.92%	24.61%	9.05%	
280	Peso (kg/m ³)	425.01	1137.60	577.66	212.37	2352.65
	Proporción	18.07%	48.35%	24.55%	9.03%	

Cuadro 4.73. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de BOLOMEY

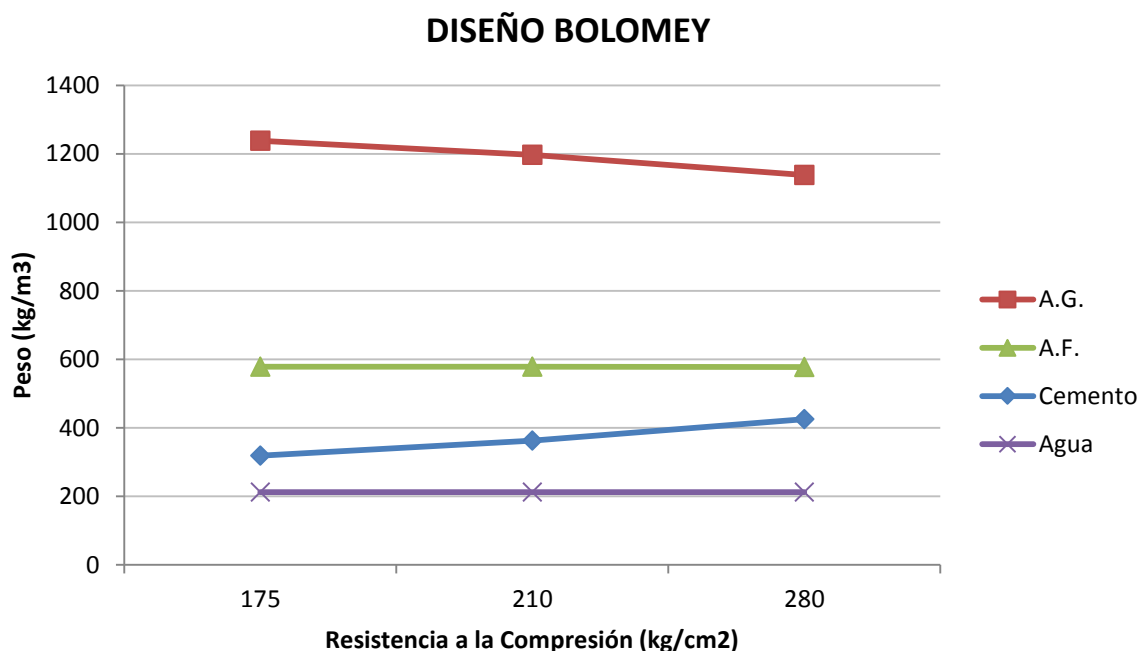


Fig. 4.64. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de BOLOMEY

El diseño de Bolomey tiene la misma naturaleza que Füller, sin embargo este necesita menos porcentaje de cemento en la mezcla,; en referencia a los agregado, el diseño de Bolomey es el método que mayor cantidad de agregado grueso necesita y a la par necesita la menor cantidad de agregado fino lo que resulta en un valor muy bajo de relación agregado fino/grueso con respecto a los otros métodos, esta condición se mantiene en las tres resistencias, teniendo una ligera nivelando conforma avanza la resistencia, este valor también confirma la conclusión que a menor relación entre agregados se requerirá menor agua.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	FAURY				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	338.47	758.62	890.53	228.33	2215.95
	Proporción	15.27%	34.23%	40.19%	10.30%	
210	Peso (kg/m ³)	385.04	796.64	818.79	227.33	2227.81
	Proporción	17.28%	35.76%	36.75%	10.20%	
280	Peso (kg/m ³)	451.57	850.96	716.31	225.91	2244.75
	Proporción	20.12%	37.91%	31.91%	10.06%	

Cuadro 4.74. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de FAURY

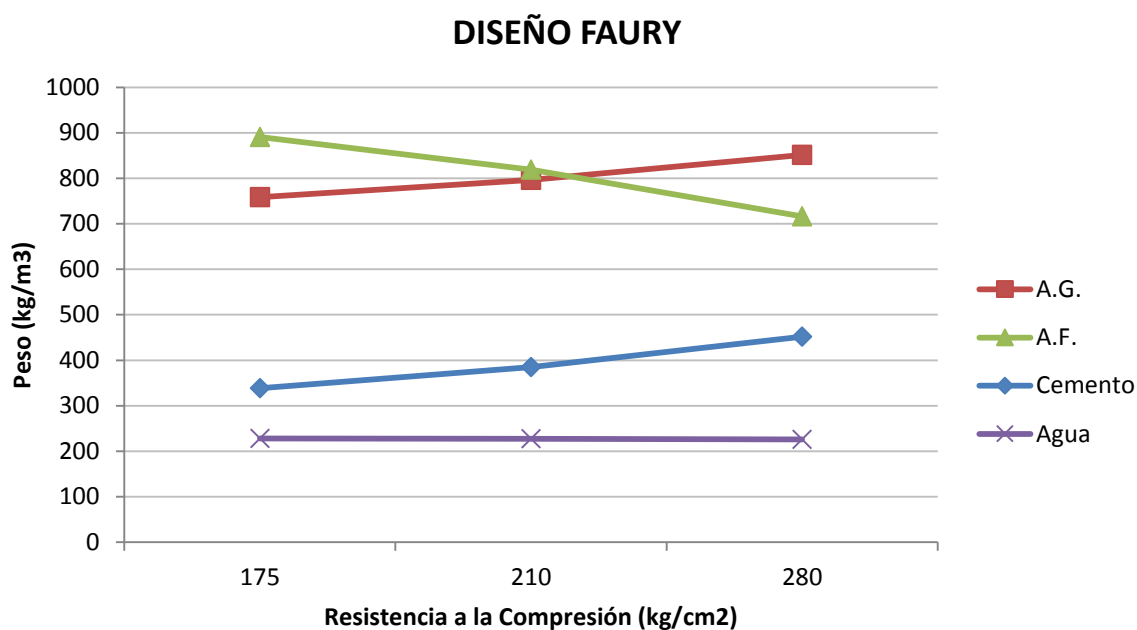


Fig. 4.65. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de FAURY

Aunque el diseño de Faury sea basado también en curvas granulométricas este tiene una diferente manera de hallar el proporcionamiento de su cemento, lo que resulta en un mayor porcentaje que los anteriores, especialmente en el diseño de 175 kg/cm² en el cual se nota la mayor diferencia; con respecto a los agregados se nota claramente la tendencia que a mayor resistencia requerida, se necesitara más agregado grueso y menos de fino pero con una pendiente bastante pronunciada que cae en un cruce de estos dos componentes siendo en el diseño de 175 kg/cm² mayor cantidad de fino que grueso, (lo que confirma su mayor cantidad de cemento para nivelar la resistencia) y en la resistencia de 280 kg/cm² se

intercambia la situación, aumentando la relación agregado fino/grueso y por tanto también requerir mayor cantidad de agua que los otros métodos no solo por la mayor cantidad de cemento sino también por la proporción de los agregados.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	O'REILLY				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	336.98	976.93	715.00	220.85	2249.75
	Proporción	14.98%	43.42%	31.78%	9.82%	
210	Peso (kg/m ³)	374.12	950.16	695.41	225.51	2245.20
	Proporción	16.66%	42.32%	30.97%	10.04%	
280	Peso (kg/m ³)	447.91	891.00	652.11	238.74	2229.75
	Proporción	20.09%	39.96%	29.25%	10.71%	

Cuadro 4.75. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de O'REILLY

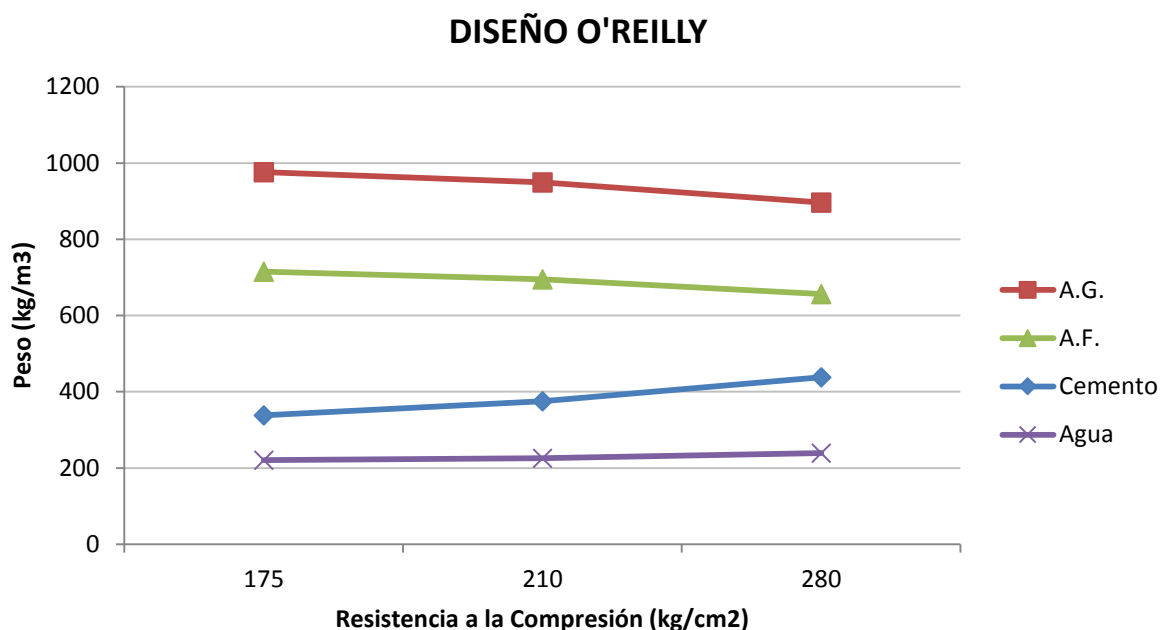


Fig. 4.66. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de O'REILLY

El diseño de O'Reilly también presenta un alto contenido de cemento que va aumentando en una pendiente no tan pronunciada que resulta también en un mayor uso de agua sin embargo conforme esta aumenta para satisfacer una resistencia mayor, los agregados fino y grueso se reducen, manteniendo la proporción entre esto; este diseño presenta también un mejor equilibrio entre la proporción de sus agregados con una relación fino/grueso mayor.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	PORRERO & GRASES				
	COMPONENTES	Cemento	A.G.	A.F.	Agua	TOTAL
175	Peso (kg/m ³)	328.13	890.53	869.97	215.01	2303.64
	Proporción	14.24%	38.66%	37.76%	9.33%	
210	Peso (kg/m ³)	399.18	847.66	828.09	223.33	2298.26
	Proporción	17.37%	36.88%	36.03%	9.72%	
280	Peso (kg/m ³)	525.51	774.94	757.05	235.46	2292.96
	Proporción	22.92%	33.80%	33.02%	10.27%	

Cuadro 4.76. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de Porrero & Grases

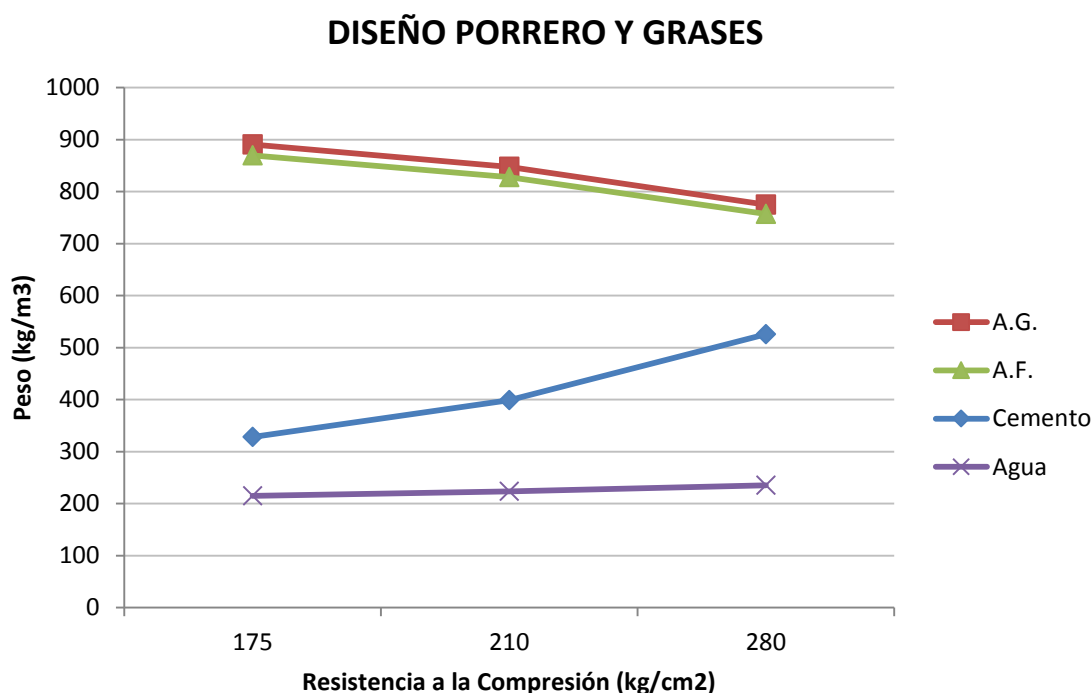


Fig. 4.67. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de Porrero & Grases

El diseño de Porrero & Grases es el método que tiene la mayor pendiente con respecto al aumento del cemento llegando a ser en dos de sus resistencias (210 y 280 kg/cm²) la que mayor cantidad requiere; con respecto a los agregados este diseño tiene el comportamiento de reducir tanto el agregado fino como grueso conforme se requiera mayor resistencia, sin embargo mantiene la proporción equilibrada entre estos componentes, siendo casi del 50%, lo que provoca con un alto contenido de agua por sus agregados y cantidad de cemento.

4.4.3. COMPARACIÓN DE RELACIÓN A/C ENTRE DISEÑOS

La elección de la relación a/c, en los diseños convencionales se determina a partir de la resistencia requerida f'_{cr} , mientras que los diseños racionales además de la resistencia requerida también se considera el perfil del agregado como un factor donde un agregado redondeado necesitara más cemento; en el diseño de O'Reilly se obtiene la relación a/c a partir de experiencias en laboratorio afectado a una corrección pertinente y el diseño de Porrero & Grases tiene su propia ecuación de la Ley Abrams para obtener dicho valor. A continuación se muestra una gráfica comparativa de la relación a/c de los diferentes métodos de diseño con sus respectivas ecuaciones

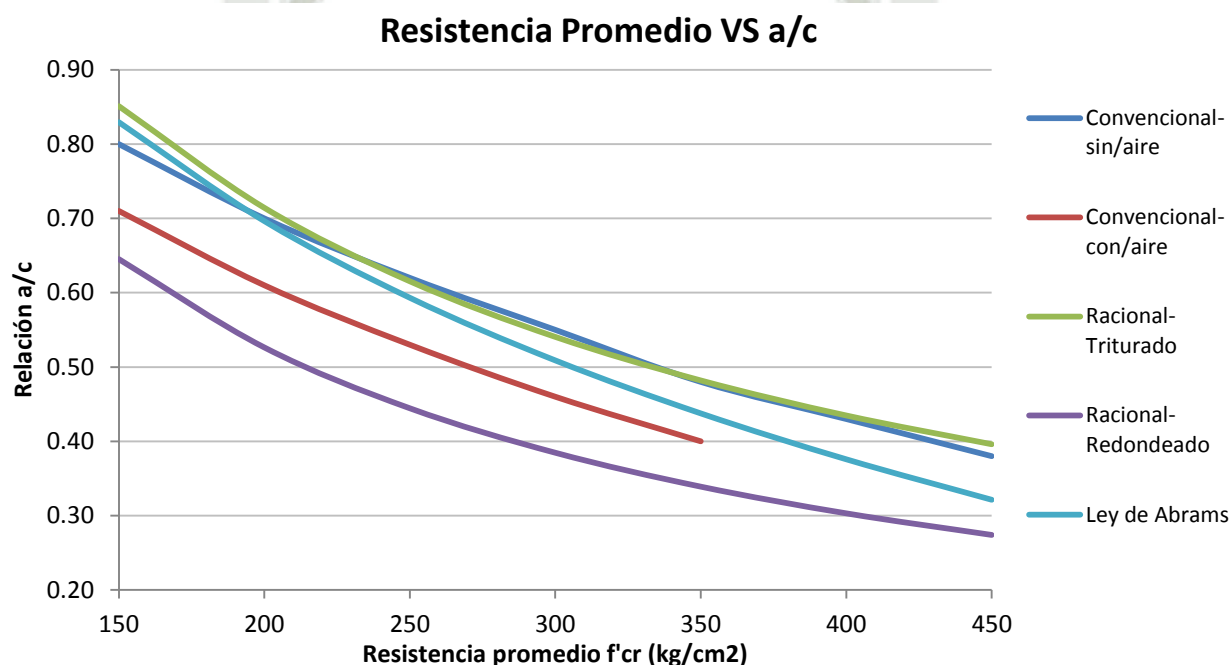


Fig. 4.68. Resistencia Promedio VS a/c por diferentes métodos de mezcla

f'_{cr} kg/cm ² (28 días)	Relación a/c en peso				
	Diseño Convencional		Diseño Racional		Ley de Abrams
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado	Triturado	Redondeado	
			0.0045	0.007	
150	0.80	0.71	0.851	0.645	0.829
200	0.70	0.61	0.714	0.526	0.696
250	0.62	0.53	0.615	0.444	0.593
300	0.55	0.46	0.541	0.385	0.509
350	0.48	0.4	0.482	0.339	0.438
400	0.43	-	0.435	0.303	0.376
450	0.38	-	0.396	0.274	0.321

Cuadro 4.77. Resistencia Promedio VS a/c por diferentes métodos de mezcla

Método Convencional sin aire =	$a/c = -0.384 \ln(f'cr) + 2.7333$
Método Convencional con aire =	$a/c = -0.366 \ln(f'cr) + 2.5444$
Método Racional – Triturado =	$a/c = -0.414 \ln(f'cr) + 2.9127$
Método Racional – Redondeado =	$a/c = -0.337 \ln(f'cr) + 2.3159$
Ley de Abrams (Porrero & Grases) =	$a/c = -0.463 \ln(f'cr) + 3.147$

4.4.4. COMPARACIÓN DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE DISEÑO

Los diseños convencionales obtiene el proporcionamiento de los agregados por medio de Tablas que depende principalmente del TMN, Modulo de Fineza de los agregados, cantidad de cemento y perfil del agregado, mientras que los diseños de racionales obtienen esta proporción por diferentes métodos en base a curvas granulométricas propuestas por sus autores, siendo los diseños de Bolomey y Faury los que consideran al cemento como un agregado más; por lo que se presenta una comparación de las curvas propuestas por los autores para las condiciones que se presentan en esta investigación.

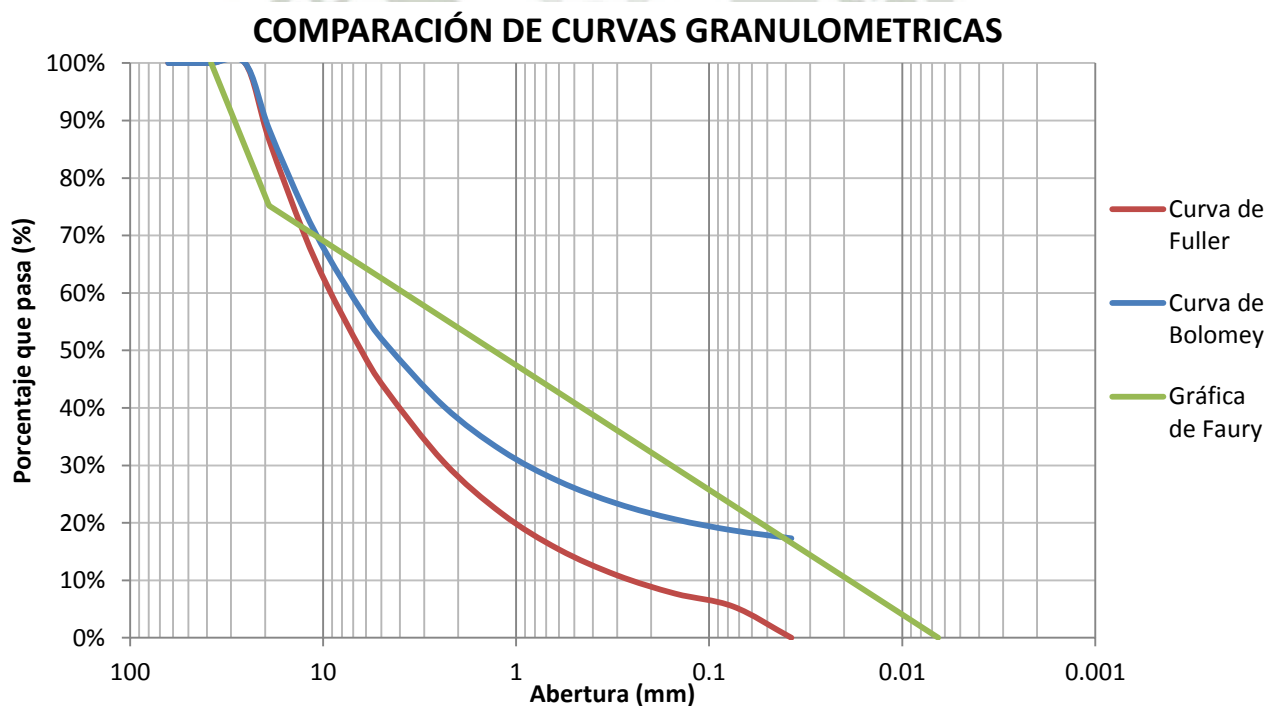


Fig. 4.69. Comparación de curvas granulométricas Fuller, Bolomey y Faury

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS APLICADOS AL CONCRETO

5.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

5.1.1. ASENTAMIENTO

La prueba de asentamiento es uno de los procedimientos más utilizados en el control de calidad del concreto, donde podemos determinar y controlar la consistencia de la mezcla en estado fresco anteriormente fijada al realizar el diseño de mezcla, esta propiedad está relacionada proporcionalmente al contenido de agua en la mezcla e inversamente a la resistencia del concreto. Las normas que describen el procedimiento para determinar el asentamiento son las siguientes:

- NTP. 339.035 HORMIGÓN. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.
- ASTM C 143. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.

PROCEDIMIENTO

- Humedecer los elementos que van a estar en contacto con la mezcla.
- Colocar el cono de Abrams en un superficie plana, rígida, no absorbente y libre de vibraciones, luego pisar las aletas para evitar que se mueva y agregar la mezcla en tres capas de igual tamaño, en cada capa compactar con una varilla lisa de acero de 16 mm de diámetro y punta semiesférica, con 25 golpes distribuidos uniformemente, en la primera capa la varilla no debe chocar el fondo, para la segunda y tercera capa, la varilla debe penetrar ligeramente la capa anterior.
- En la última capa debe sobrar concreto, usar la barra como regla para enrasar la superficie, luego se levanta verticalmente el cono de Abrams en un tiempo de 5 ± 2 segundos, sin girarlo ni moverlo lateralmente. Todo el procedimiento desde la primera capa hasta levantar el cono debe durar como máximo 2 minutos con 30 segundos.
- Se coloca el cono de Abrams invertido en un costado y se mide el asentamiento desde el centro de la mezcla hasta la parte inferior de la varilla usada como regla.



Ilustración 5.1. Ensayo de Asentamiento del concreto en estado fresco

- Se tiene una tolerancia permisible en el ensayo de asentamiento siendo la siguiente:
 - 1.5 cm para asentamientos menores a 7.5 cm
 - 2.5 cm para asentamientos mayores o iguales a 7.5 cm

RESULTADOS

MÉTODO	F'C (kg/cm ²)	SLUMP PROMEDIO (plg)	F'C (kg/cm ²)	SLUMP PROMEDIO (plg)	F'C (kg/cm ²)	SLUMP PROMEDIO (plg)
ACI	175	4.03	210	3.53	280	2.47
WALKER		4.13		3.47		2.33
MÓDULO DE FINEZA		4.30		3.73		2.72
FÜLLER		3.60		3.27		2.80
BOLOMEY		4.80		3.97		2.32
FAURY		2.93		2.73		2.57
O'REILLY		3.40		3.35		3.22
PORRERO & GRASES		3.43		2.87		2.03

Cuadro 5.1. Cuadro resumen de asentamiento promedio por resistencia requerida

MÉTODO	F'C (kg/cm2)	ENSAYO	SLUMP (plg)	SLUMP PROM. (plg)	MÉTODO	F'C (kg/cm2)	ENSAYO	SLUMP (plg)	SLUMP PROM. (plg)
ACI	175	1	4.20	4.03	BOLOMEY	175	1	5.00	4.80
		2	4.10				2	4.70	
		3	3.80				3	4.70	
	210	1	3.40	3.53		210	1	4.10	3.97
		2	3.80				2	4.00	
		3	3.40				3	3.80	
	280	1	2.40	2.47		280	1	2.10	2.32
		2	2.30				2	2.30	
		3	2.70				3	2.55	
WALKER	175	1	4.20	4.13	FAURY	175	1	2.90	2.93
		2	4.30				2	3.10	
		3	3.90				3	2.80	
	210	1	3.50	3.47		210	1	2.60	2.73
		2	3.80				2	2.80	
		3	3.10				3	2.80	
	280	1	2.30	2.33		280	1	2.60	2.57
		2	2.20				2	2.55	
		3	2.50				3	2.55	
MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	175	1	4.60	4.30	O'REILLY	175	1	3.40	3.40
		2	4.00				2	3.40	
		3	4.30				3	3.40	
	210	1	4.00	3.73		210	1	3.45	3.35
		2	3.70				2	3.35	
		3	3.50				3	3.25	
	280	1	2.80	2.72		280	1	3.40	3.22
		2	2.80				2	3.05	
		3	2.55				3	3.20	
FÜLLER	175	1	3.20	3.60	PORRERO & GRASES	175	1	3.50	3.43
		2	3.80				2	3.50	
		3	3.80				3	3.30	
	210	1	3.10	3.27		210	1	2.90	2.87
		2	3.10				2	2.70	
		3	3.60				3	3.00	
	280	1	3.10	2.80		280	1	1.90	2.03
		2	2.70				2	2.20	
		3	2.60				3	2.00	

Cuadro 5.2. Asentamiento promedio de cada método y resistencia requerida

Siendo este el primer ensayo de control de calidad realizado al concreto en estado fresco, con la intención de obtener un asentamiento requerido de 4 pulgadas (10.16cm), podemos concluir con lo siguiente a partir de los resultados obtenidos y del análisis comparativo en las siguientes tablas

5.1.1.1. ASENTAMIENTO PROMEDIO $F'C=175 \text{ kg/cm}^2$

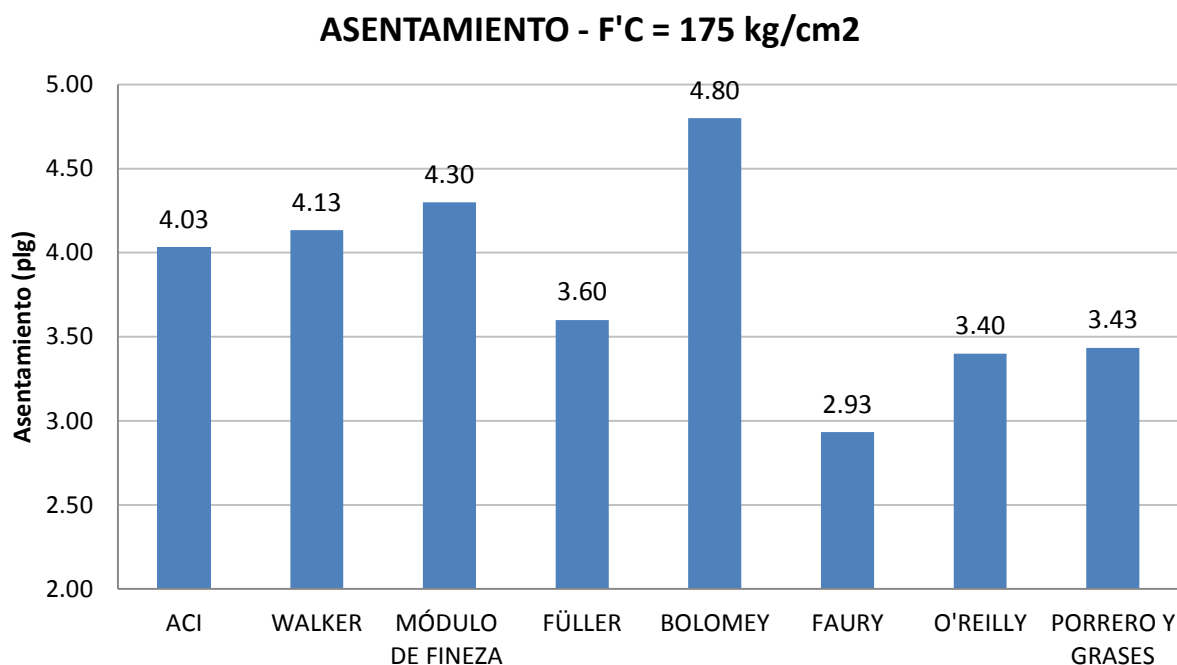


Fig. 5.1. Comparación de Asentamiento entre métodos con una resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	SLUMP PROMEDIO		a/c		Relación agregado fino/grueso	Porcentaje respecto al requerido
		(plg)	(cm)	Diseño	Efectivo		
175	ACI	4.03	10.24	0.628	0.676	0.600	100.83%
	WALKER	4.13	10.50	0.628	0.675	0.610	103.33%
	MÓDULO DE FINEZA	4.30	10.92	0.628	0.677	0.654	107.50%
	FÜLLER	3.60	9.14	0.624	0.671	0.566	90.00%
	BOLOMEY	4.80	12.19	0.624	0.668	0.468	120.00%
	FAURY	2.93	7.45	0.624	0.675	1.174	73.33%
	O'REILLY	3.40	8.64	0.610	0.655	0.732	85.00%
	PORRERO & GRASES	3.43	8.72	0.603	0.655	0.977	85.83%

Cuadro 5.3. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Comparando los diseños convencionales de ACI, Walker y Modulo de Fineza debido a tienen la misma relación a/c con una similar cantidad de cemento, por lo que podemos ver la influencia de

los agregados en el asentamiento con los resultados obtenidos: notamos que se tiene un mayor asentamiento con el diseño de Módulo de Fineza debido a que presenta una menor proporción de agregado fino con respecto al grueso, seguido por Walker y ACI.

Füller es un diseños que requiere una mayor cantidad de cemento, con una menor relación a/c, que sumado a una menor relación de fino/grueso resulta en un asentamiento muy bajo, el diseño de Bolomey que tiene la misma naturaleza con una aún menor relación a/c, generaría un bajo asentamiento sin embargo se presenta un asentamiento superior a los convencionales debido a la proporción demasiado baja de agregados presentando una mezcla pedregosa y con poca cohesión entre sus partículas. Faury por el contrario tiene una relación a/c igual a la de ACI con una mayor cantidad de cemento en su mezcla, sin embargo la relación af/ag es demasiado alta, y revisando el nivel de absorción del agregado fino este consume más agua de la mezcla resultando en una mezcla muy pastosa, seca y compacta lo que se refleja en su bajo asentamiento que no llega al requerido.

Los diseños de O'Reilly y Porrero & Grases usan una mayor cantidad de cemento y agua lo que resulta en las relaciones a/c más bajas comparadas a los demás diseños, lo que significaría que el agua no es suficiente para hidratar a la cantidad excesiva de cemento y además ganar la asentamiento requerido

5.1.1.2. ASENTAMIENTO PROMEDIO $F'C=210 \text{ kg/cm}^2$

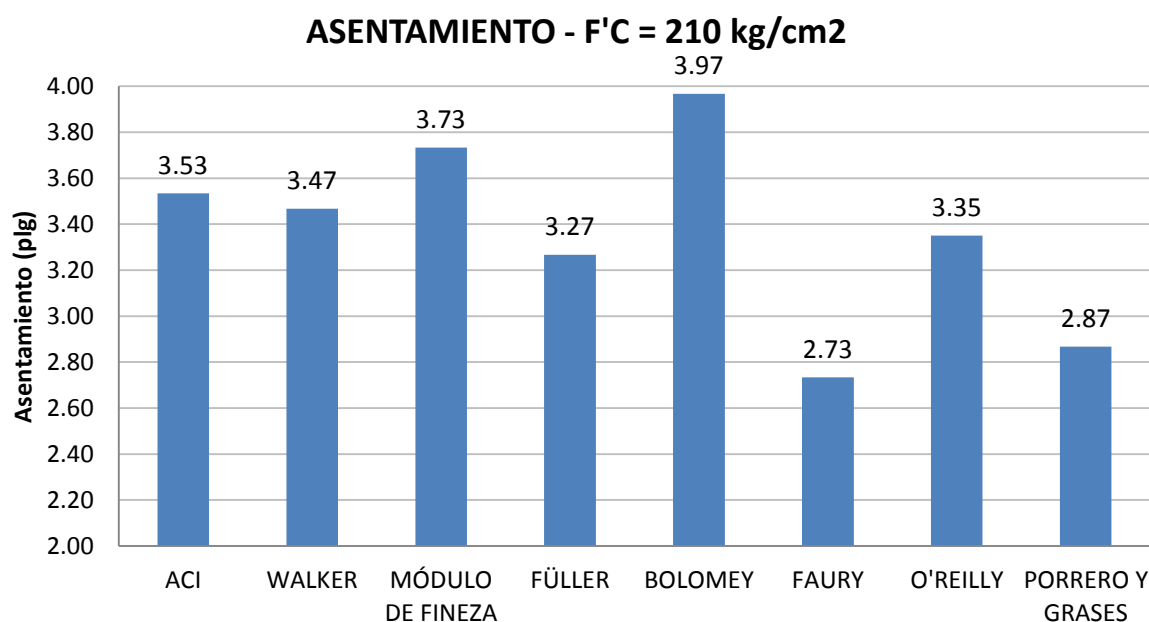


Fig. 5.2. Comparación de Asentamiento entre métodos con una resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	SLUMP PROMEDIO		a/c		Relación agregado fino/grueso	Porcentaje respecto al requerido
		(plg)	(cm)	diseño	Efectivo		
210	ACI	3.53	8.97	0.558	0.600	0.571	88.33%
	WALKER	3.47	8.81	0.558	0.598	0.565	86.67%
	MÓDULO DE FINEZA	3.73	9.48	0.558	0.601	0.622	93.33%
	FÜLLER	3.27	8.30	0.549	0.589	0.566	81.67%
	BOLOMEY	3.97	10.08	0.549	0.587	0.483	99.17%
	FAURY	2.73	6.94	0.549	0.590	1.028	68.33%
	O'REILLY	3.35	8.51	0.563	0.603	0.732	83.75%
	PORRERO & GRASES	2.87	7.28	0.518	0.559	0.977	71.67%

Cuadro 5.4. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=210$ kg/cm²

Los diseños de ACI y Walker en la resistencia de 210 kg/cm² tienen una similar relación a/c y relación agregado fino/grueso, por lo que se podía predecir una asentamiento similar, el diseño de Modulo de Fineza tiene un asentamiento mayor debido a que utiliza una mayor cantidad de agregado fino en la mezcla.

Comparando los métodos racionales los cuales tiene una similar relación a/c, podemos ver que se cumple la misma tendencia que los diseños convencionales sobre que a mayor relación entre agregados se tendrá un asentamiento mayor; sin embargo el diseño de Bolomey nuevamente presenta un alto asentamiento debido a su baja proporción de agregados. El diseño de Faury tiene un asentamiento bajo por su condición pastosa esto posiblemente se deba a la naturaleza de su diseño, que da una mayor importancia al encofrado para usarse en concreto prefabricado y post-tensado, lo que resulta una alta relación entre agregados que desencadena nuevamente en el asentamiento no llegue al requerido.

Comparando estos diseños con los convencionales podemos ver una ligera tendencia a que cuando se da una menor relación a/c se tendrá un menor asentamiento, con excepción de Bolomey por las razones antes explicadas.

El método de O'Reilly y Porrero & Grases tienen la característica de mantener la proporción de sus agregados a lo largo de la resistencias, por lo que solo varia la relación a/c, siendo en este caso O'Reilly con una relación a/c más cercana a la de los diseños tradicionales, pero con una relación entre agregados más alto lo que resulta en un asentamiento mayor, mientras que el diseño de Porrero & Grases presenta una baja relación a/c, lo que representa un incremento importante del cemento con bajo contenido de agua, que termina en un asentamiento muy bajo.

5.1.1.3. ASENTAMIENTO PROMEDIO $F'C=280 \text{ kg/cm}^2$

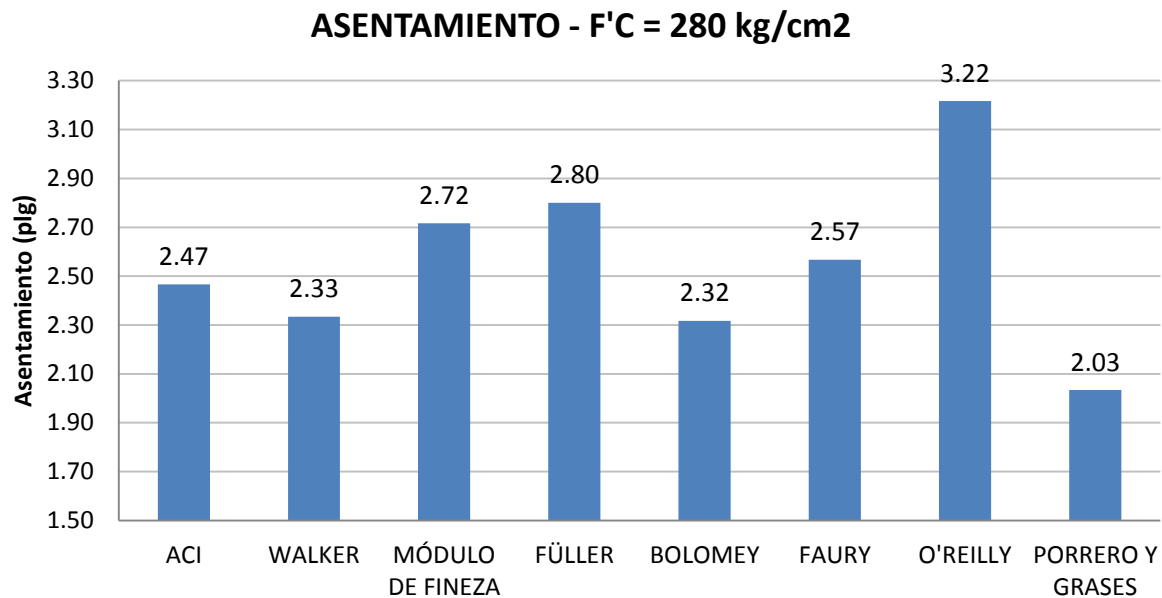


Fig. 5.3. Comparación de Asentamiento entre métodos con una resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	SLUMP PROMEDIO		a/c		Relación agregado fino/grueso	Porcentaje respecto al requerido
		(plg)	(cm)	diseño	efectivo		
280	ACI	2.47	6.27	0.466	0.498	0.519	61.67%
	WALKER	2.33	5.93	0.466	0.497	0.491	58.33%
	MÓDULO DE FINEZA	2.72	6.90	0.466	0.499	0.560	67.92%
	FÜLLER	2.80	7.11	0.468	0.501	0.566	70.00%
	BOLOMEY	2.32	5.88	0.468	0.500	0.508	57.92%
	FAURY	2.57	6.52	0.468	0.500	0.842	64.17%
	O'REILLY	3.22	8.17	0.502	0.533	0.732	80.42%
	PORRERO & GRASES	2.03	5.16	0.419	0.448	0.977	50.83%

Cuadro 5.5. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

En esta resistencia, el diseño de Modulo de Fineza es ligeramente mayor a ACI y Walker debido a que tiene una mayor cantidad de agregado fino en la mezcla. Los diseños racionales de Füller, Bolomey y Faury presentan también una relación a/c más cercana a las obtenidas de los diseños convencionales, por lo que se puede hacer una mejor comparación entre los diseños respecto a la proporción de los agregados, siendo el diseño de Füller superior a los convencionales mientras que la proporción de Bolomey y Faury se estabiliza formando una mezcla más trabajable lo que hace obtener resultados más equilibrados con el resto de diseños

Esta ocasión el diseño de O'Reilly presenta una notable mayor relación a/c, lo que ocasiona que el asentamiento sea mayor que los demás diseños, por el contrario el diseño de Porrero & Grases con una relación muy baja de a/c sumando a su proporción de agregados obtiene el menor valor de asentamiento.

5.1.1.4. ASENTAMIENTO VS RESISTENCIA PROMEDIO

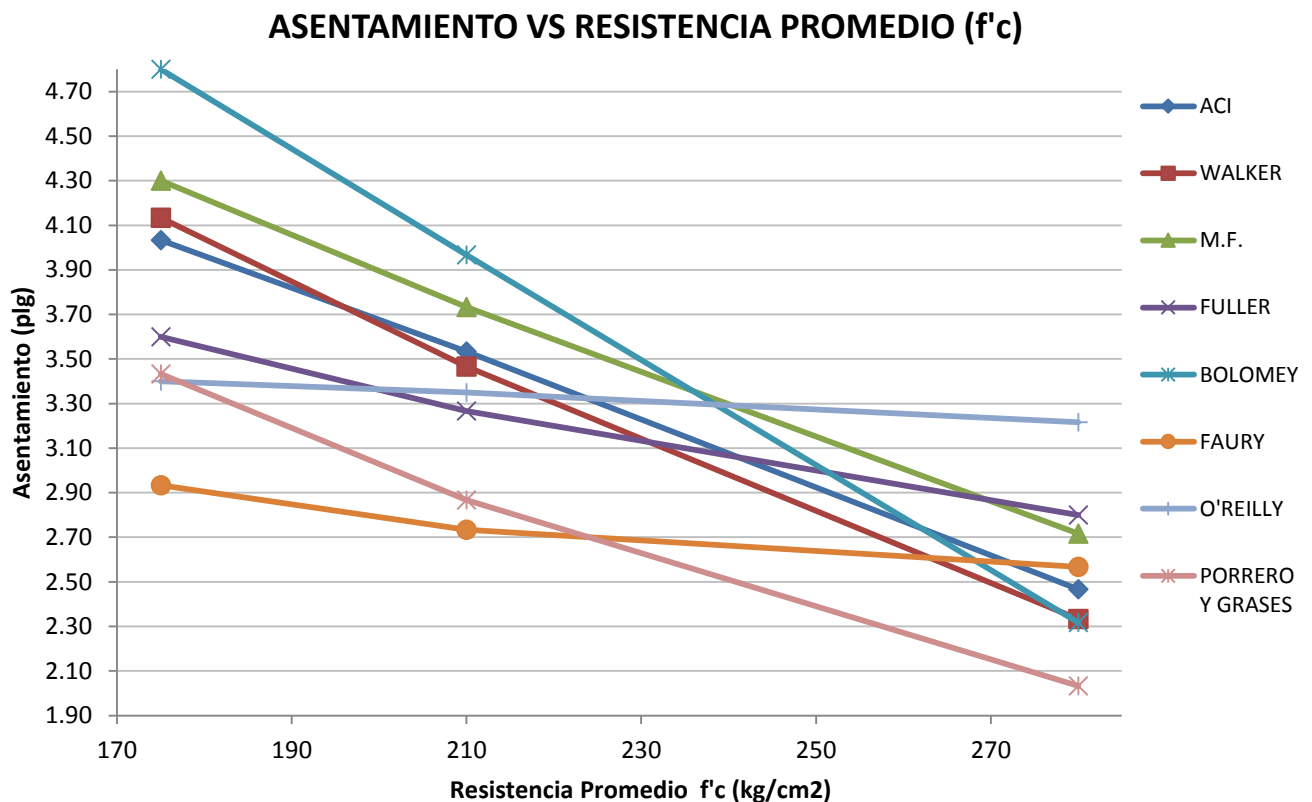


Fig. 5.4. Asentamiento vs Resistencia Promedio f'_c

Los diseños convencionales de ACI, Walker y Módulo de Fineza tienen la naturaleza de que en su diseño de mezcla no se trabaja con un asentamiento exacto sino con un rango de asentamientos lo cual los hace más flexibles a cumplir con lo requerido, en este caso se usó el rango de (3 a 4 pulgadas), por lo que se nota que la mayoría de sus diseños cumplen relativamente con lo pedido; estos diseños tienen una pendiente similar siendo el diseño de Módulo de Fineza el que tiende a tener un mayor asentamiento por la mayor proporción de sus agregados ya que los tres tienen una similar relación a/c; en resumen los tres diseños cumplen con lo esperado cuando se trata de resistencias bajas, siendo que a mayor resistencia estas saldrán del margen esperado resultando en mezclas secas y poco manejables.

El resto de diseños se caracterizan por requerir un valor de asentamiento exacto para desarrollar sus procedimientos de dosificación, por lo que los resultados esperados deberían de obtenerse en base a un asentamiento ideal requerido.

Los diseños de Füller y Bolomey tienen un nivel de asentamiento más inestable con diferentes pendientes, siendo que el diseño de Füller con una pendiente menor logra obtener un asentamiento mayor en resistencias altas, mientras que en resistencias bajas, esta se queda muy por detrás de los diseños convencionales formando una mezcla relativamente seca; por el otro lado, el diseño de Bolomey tiene un alto asentamiento en resistencias bajas sin embargo estas son generadas no por una buena trabajabilidad sino por una mala consistencia de la mezcla por el alto contenido de partículas de mayor tamaño (agregado grueso), lo que en resistencias posteriores se ajusta a los demás diseños siendo uno de los menores asentamientos por lo que este diseño tiene una pendiente muy pronunciada con respecto al asentamiento. El diseño de Porrero & Grases presenta una fuerte pendiente igual que el diseño de Bolomey sin embargo esta se encuentra establecida con asentamientos menores, generando en resistencias altas, un muy bajo asentamiento.

Los diseños de Faury y O'Reilly tienen un comportamiento diferente al resto, ambos presentan una pendiente mínima de variación de asentamiento siendo prácticamente el mismo valor a lo largo de las resistencias con una ligera reducción, estos casos se debe a dos factores de producción que influyen en estos asentamientos; el diseño de O'Reilly obtiene al cantidad de agua a partir de ensayos previos para obtener un mismo asentamiento, mientras que el diseño de Faury al tener un cambio brusco entre el proporcionamiento de los agregados a lo largo de la resistencia hace que el comportamiento del asentamiento no tenga una forma tan definida.

En conclusión se puede notar que la relación a/c está ligada al asentamiento, siendo que mayor valor de este se pueda conseguir un mayor asentamiento; sin embargo en menor proporción existe otra influencia en el asentamiento, siendo que cuando se tenga una misma relación a/c, la diferencia de resultados la determina la proporción de los agregados, donde se tendrá un mayor asentamiento a una mayor relación agregado fino/grueso, es decir bajo la presencia de más agregado fino en la mezcla, cuidando de no llegar a extremos en este valor ya que resultaría mezclas muy pedregosas o pastosas en menor o mayor valor de este respectivamente, causando diferente comportamiento del concreto. En general los asentamientos se reducen conforme se solicita una mayor resistencia por requerir una mayor cantidad de cemento que no es proporcional a la cantidad de agua.

5.1.2. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO

Con esta prueba determinaremos el peso de la mezcla por m^3 de concreto (densidad). El peso normalmente varía entre 2240 kg/m^3 a 2460 kg/cm^3 para concreto de peso normal. Las normas que describen el procedimiento para determinar el peso unitario son las siguientes:

- NTP. 339.046. HORMIGÓN. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cubico, rendimiento y contenido de aire del hormigón.
- ASTM C138. Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

PROCEDIMIENTO

- Se debe conocer el volumen de un recipiente y seguidamente se pesa vacío.
- Se humedecen todos los materiales que estarán en contacto con la mezcla.
- Se agrega la mezcla colocándola en tres capas, y varillándola con una barra lisa con punta semiesférica con 25 golpes distribuidos uniformemente en cada capa. Enseguida de cada capa se debe golpear suavemente las partes externas con un mazo de goma de 10 a 15 veces para eliminar los huecos generados por la varilla y las burbujas atrapadas en la mezcla. En la última capa enrasar la superficie con la varilla hasta que sea uniforme.
- Se limpia los bordes y material adherido a las paredes externas y se pesa la el recipiente con la mezcla.



Ilustración 5.2. Ensayo de Peso Unitario del concreto en estado fresco

CÁLCULOS

PESO UNITARIO

$$P.U. = \frac{W_{total} - W_{recip}}{V_{recip}}$$

Dónde:

P.U. (kg/m³) = Peso unitario de la mezcla.

Wtotal (kg) = Peso total de la mezcla + recipiente.

Wrecip (kg) = Peso del recipiente vacío.

Vrecip (m³) = Volumen del recipiente.

RENDIMIENTO RELATIVO

El rendimiento relativo es un indicador de la relación entre el volumen real obtenida a partir de una dosificación de los componentes del concreto y el volumen de diseño, es decir la cantidad de mezcla en estado fresco que se puede conseguir con una dosificación impuesta por el diseño de cada mezcla, donde este valor debe estar en el rango 1 ± 0.02 para considerarse aceptable. Un valor mayor a 1 significa un exceso de producción de concreto mientras que un valor menor a 1 representa una falta de producción de concreto para lograr lo requerido.

$$Rendimiento\ Relativo = \frac{P.U.\ real}{P.U.\ teorico} = \frac{P.U.}{WT\ com}$$

Dónde:

P.U. (kg/m³) = Peso unitario real de la mezcla. P.U. Real

WTcom (kg/m³) = Peso total de los componentes de la mezcla. P.U. Teórico

RESULTADOS

El ensayo de peso unitario se realizó en un recipiente de volumen 7 litros y con un peso del envase vacío de 2452 g, estos datos servirán para los cálculos efectuados en la siguiente tabal de resultados

PESO UNITARIO							RENDIMIENTO	
MÉTODO	F'C (kg/cm ²)	ENSAYO	W TOTAL (mezc+recp) (kg)	W mezcla (kg)	PESO UNITARIO (kg/m ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (kg/m ³)	W total componentes (kg/m ³)	RENDIMIENTO RELATIVO
ACI	175	1	18122	15670	2238.57	2259.10	2277.98	0.992
		2	18316	15864	2266.29			
		3	18359	15907	2272.43			
	210	1	18256	15804	2257.71	2260.38	2283.97	0.990
		2	18520	16068	2295.43			
		3	18048	15596	2228.00			
	280	1	18096	15644	2234.86	2264.14	2294.68	0.987
		2	18348	15896	2270.86			
		3	18459	16007	2286.71			
WALKER	175	1	17930	15478	2211.14	2251.10	2271.22	0.991
		2	18489	16037	2291.00			
		3	18210	15758	2251.14			
	210	1	18533	16081	2297.29	2258.43	2278.69	0.991
		2	18229	15777	2253.86			
		3	18021	15569	2224.14			
	280	1	18421	15969	2281.29	2274.86	2291.66	0.993
		2	18196	15744	2249.14			
		3	18511	16059	2294.14			
MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	175	1	18184	15732	2247.43	2262.29	2289.02	0.988
		2	18288	15836	2262.29			
		3	18392	15940	2277.14			
	210	1	18162	15710	2244.29	2265.19	2294.69	0.987
		2	18398	15946	2278.00			
		3	18365	15913	2273.29			
	280	1	18480	16028	2289.71	2271.81	2305.10	0.986
		2	18345	15893	2270.43			
		3	18239	15787	2255.29			
FÜLLER	175	1	18635	16183	2311.86	2362.19	2337.86	1.010
		2	19214	16762	2394.57			
		3	19113	16661	2380.14			
	210	1	18738	16286	2326.57	2351.67	2341.66	1.004
		2	19101	16649	2378.43			
		3	18902	16450	2350.00			
	280	1	18809	16357	2336.71	2330.38	2347.09	0.993
		2	18759	16307	2329.57			
		3	18726	16274	2324.86			

BOLOMEY	175	1	19361	16909	2415.57	2390.43	2348.06	1.018
		2	19210	16758	2394.00			
		3	18984	16532	2361.71			
	210	1	19155	16703	2386.14	2375.48	2349.95	1.011
		2	18706	16254	2322.00			
		3	19380	16928	2418.29			
	280	1	18900	16448	2349.71	2348.76	2352.65	0.998
		2	18886	16434	2347.71			
		3	18894	16442	2348.86			
FAURY	175	1	17655	15203	2171.86	2157.38	2215.95	0.974
		2	17169	14717	2102.43			
		3	17837	15385	2197.86			
	210	1	17873	15421	2203.00	2209.14	2227.81	0.992
		2	17973	15521	2217.29			
		3	17902	15450	2207.14			
	280	1	18038	15586	2226.57	2218.33	2244.75	0.988
		2	17989	15537	2219.57			
		3	17914	15462	2208.86			
O'REILLY	175	1	17905	15453	2207.57	2220.48	2249.75	0.987
		2	17958	15506	2215.14			
		3	18123	15671	2238.71			
	210	1	18022	15570	2224.29	2214.48	2245.20	0.986
		2	17972	15520	2217.14			
		3	17866	15414	2202.00			
	280	1	17903	15451	2207.29	2195.81	2229.75	0.985
		2	17622	15170	2167.14			
		3	17943	15491	2213.00			
PORRERO & GRASES	175	1	18135	15683	2240.43	2242.33	2303.64	0.973
		2	17914	15462	2208.86			
		3	18396	15944	2277.71			
	210	1	18198	15746	2249.43	2217.90	2298.26	0.965
		2	17919	15467	2209.57			
		3	17815	15363	2194.71			
	280	1	17833	15381	2197.29	2176.33	2292.96	0.949
		2	17585	15133	2161.86			
		3	17641	15189	2169.86			

Cuadro 5.6. Peso Unitario y Rendimiento promedio de cada método y resistencia requerida

Con los datos anteriores, a continuación se presenta la tabla resumen de peso unitario y rendimiento promedio de los diseños y resistencias requeridas.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	PESO UNITARIO PROMEDIO (kg/m ³)	W total componentes (kg/m ³)	RENDIMIENTO RELATIVO
175	ACI	2259.10	2277.98	0.992
	WALKER	2251.10	2271.22	0.991
	MÓDULO DE FINEZA	2262.29	2289.02	0.988
	FÜLLER	2362.19	2337.86	1.010
	BOLOMEY	2390.43	2348.06	1.018
	FAURY	2157.38	2215.95	0.974
	O'REILLY	2220.48	2249.75	0.987
	PORRERO & GRASES	2242.33	2303.64	0.973
210	ACI	2260.38	2283.97	0.990
	WALKER	2258.43	2278.69	0.991
	MÓDULO DE FINEZA	2265.19	2294.69	0.987
	FÜLLER	2351.67	2341.66	1.004
	BOLOMEY	2375.48	2349.95	1.011
	FAURY	2209.14	2227.81	0.992
	O'REILLY	2214.48	2245.20	0.986
	PORRERO & GRASES	2217.90	2298.26	0.965
280	ACI	2264.14	2294.68	0.987
	WALKER	2274.86	2291.66	0.993
	MÓDULO DE FINEZA	2271.81	2305.10	0.986
	FÜLLER	2330.38	2347.09	0.993
	BOLOMEY	2348.76	2352.65	0.998
	FAURY	2218.33	2244.75	0.988
	O'REILLY	2195.81	2229.75	0.985
	PORRERO & GRASES	2176.33	2292.96	0.949

Cuadro 5.7. Cuadro resumen de Peso Unitario y Rendimiento promedio por resistencia requerida

Continuando con el análisis de los datos obtenidos, se procederá a mostrar los gráficos comparativos entre sus diversas resistencias requeridas.

5.1.2.1. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO $F'C=175 \text{ kg/cm}^2$

PESO UNITARIO - $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

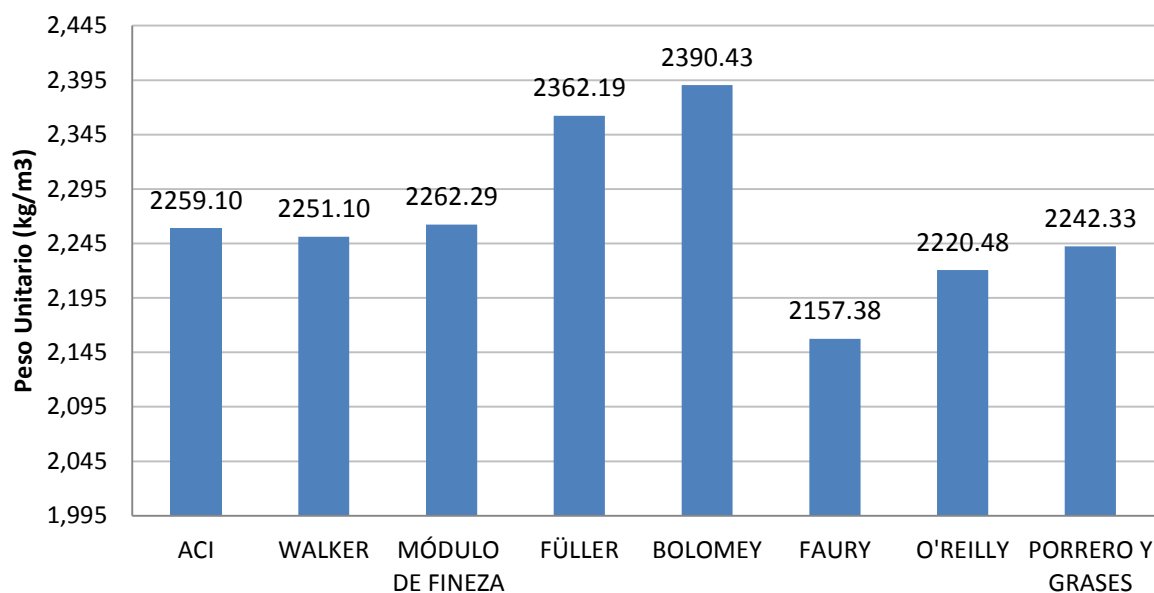


Fig. 5.5. Comparación de Peso Unitario entre métodos con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

RENDIMIENTO - $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$

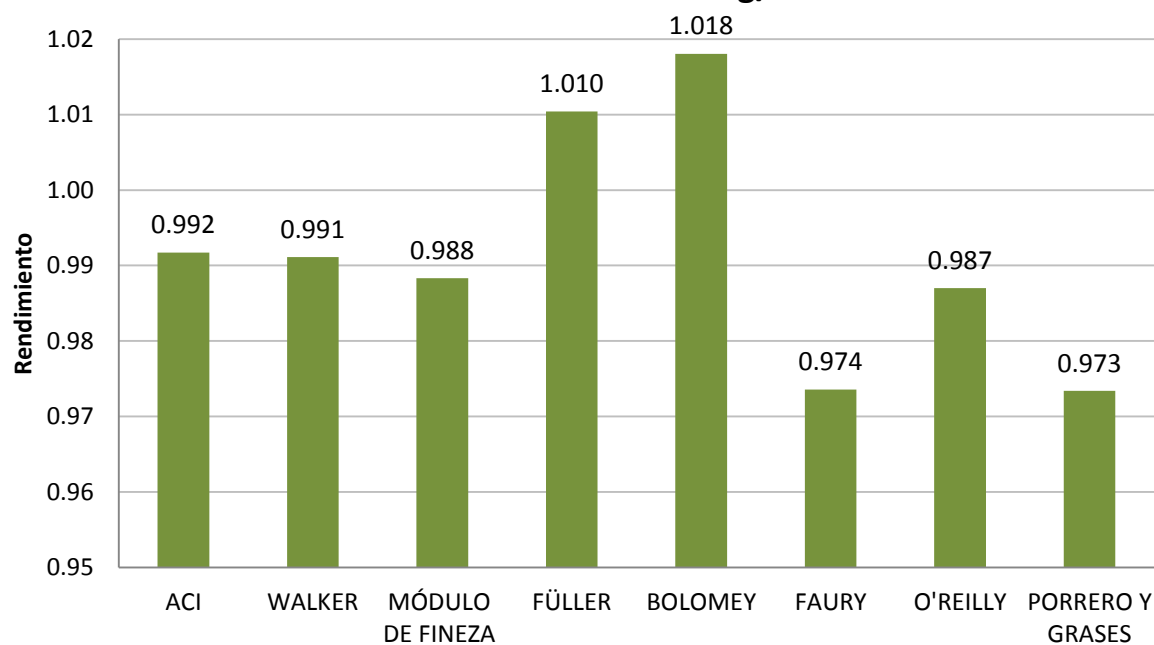


Fig. 5.6. Comparación del Rendimiento entre métodos con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	Peso Unitario (kg/m ³)	Rendimiento Relativo	a/c		Relación agregado fino/grueso
				Diseño	Efect.	
175	ACI	2259.10	0.992	0.628	0.676	0.600
	WALKER	2251.10	0.991	0.628	0.675	0.610
	MÓDULO DE FINEZA	2262.29	0.988	0.628	0.677	0.654
	FÜLLER	2362.19	1.010	0.624	0.671	0.566
	BOLOMEY	2390.43	1.018	0.624	0.668	0.468
	FAURY	2157.38	0.974	0.624	0.675	1.174
	O'REILLY	2220.48	0.987	0.610	0.655	0.732
	PORRERO & GRASES	2242.33	0.973	0.603	0.655	0.977

Cuadro 5.8. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c=175$ kg/cm²

Los diseños de ACI, Walker y Modulo de Fineza tienen un peso unitario similar debido a que su cercana proporción de agregados, con respecto al rendimiento relativo ACI y Walker tienen un rendimiento similar seguido por Modulo de Fineza que tiene una menor a estas dos, estos rendimientos son menores a la unidad lo que significaría una producción menor de concreto que la esperada, lo que es normal después de producirse las reacciones entre los componentes del concreto, ya que presentan una similar cantidad de cemento y relación a/c si estos datos son comparados con la relación de agregado fino/grueso podemos identificar que a mayor relación fino/grueso se tendrá menor rendimiento relativo.

Bolomey debido a su gran cantidad de agregado grueso presenta mayor peso unitario seguido por Füller, los cuales superan ampliamente a los demás diseños. Sin embargo ambos diseños que tienen una relación entre agregados muy baja, lo que se nota en los resultados con un rendimiento alto que ocasiona que sea superior a la unidad lo que significa una sobreproducción del concreto.

El diseño de Faury a pesar de que es el que requiere la mayor cantidad de cemento, con respecto a su peso unitario es el menor comparado con los otros diseños por su alta proporción de agregados es decir una gran cantidad de agregado fino respecto al grueso, por el mismo motivo respecto al rendimiento este también es el menor de los diseños saliendo del rango aceptable de 1 ± 0.02 .

O'Reilly y Porrero & Grases tienen un peso unitario menor que ACI pero mayor que Faury, debido a su alta proporcionalidad de agregados donde también se obtiene un bajo rendimiento del concreto, siendo el de Porrero & Grases el de menor rendimiento de los diseños.

5.1.2.2. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO $F'C=210 \text{ kg/cm}^2$

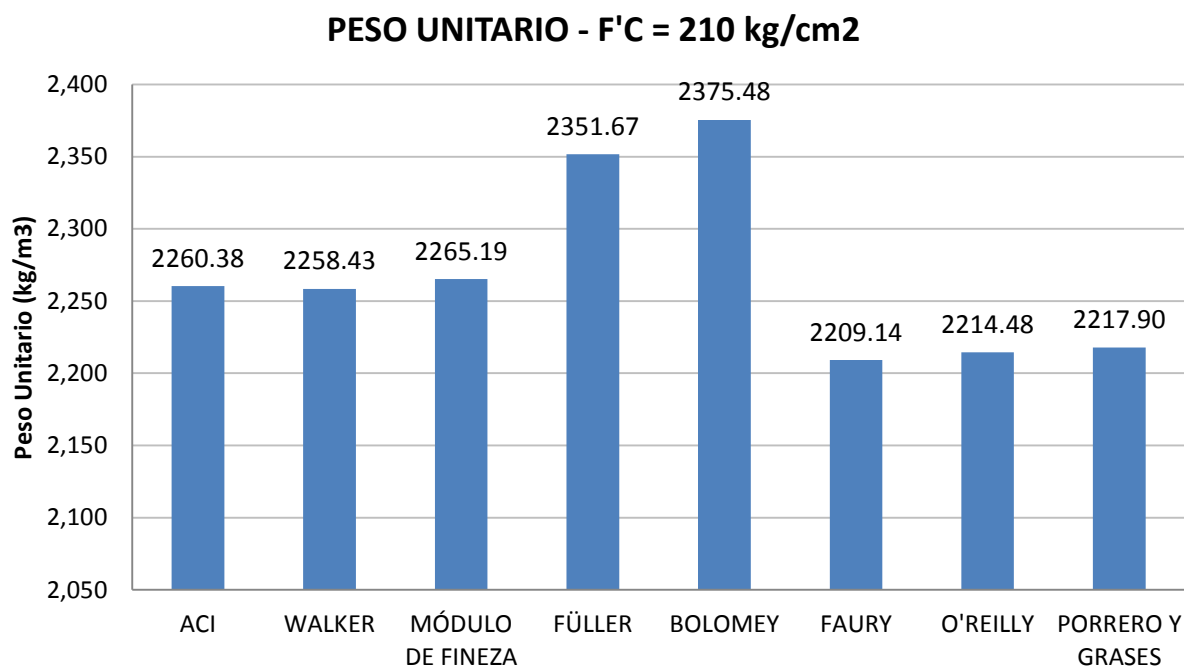


Fig. 5.7. Comparación de Peso Unitario entre métodos con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

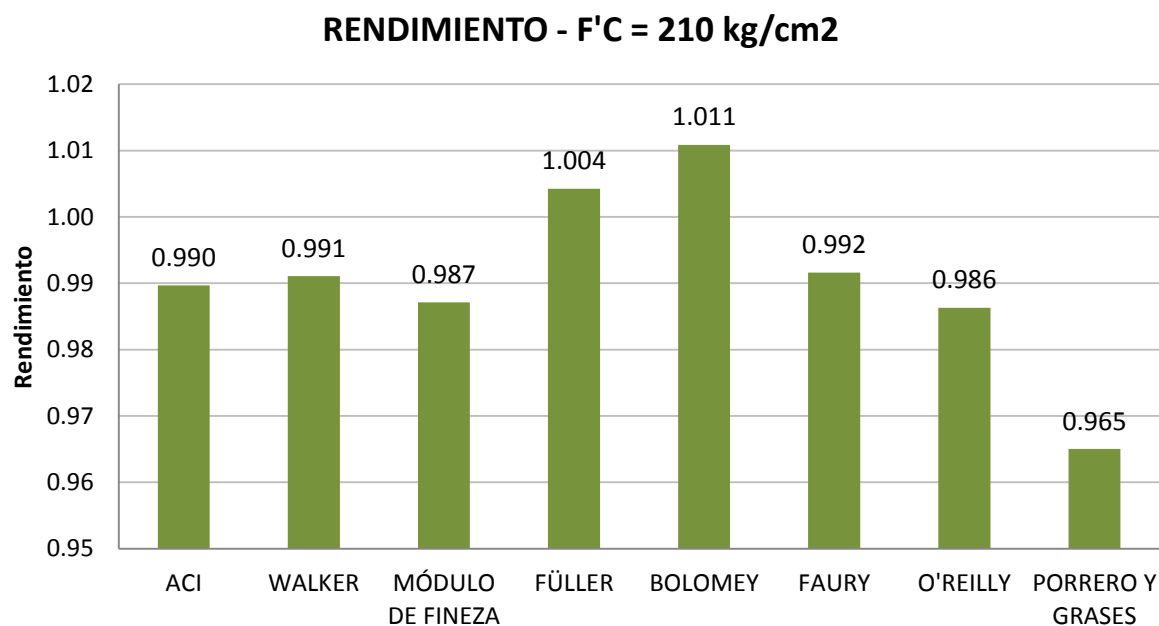


Fig. 5.8. Comparación del Rendimiento entre métodos con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	Peso Unitario (kg/m ³)	Rendimiento Relativo	a/c		Relación agregado fino/grueso
				diseño	Efect.	
210	ACI	2260.38	0.990	0.558	0.600	0.571
	WALKER	2258.43	0.991	0.558	0.598	0.565
	MÓDULO DE FINEZA	2265.19	0.987	0.558	0.601	0.622
	FÜLLER	2351.67	1.004	0.549	0.589	0.566
	BOLOMEY	2375.48	1.011	0.549	0.587	0.483
	FAURY	2209.14	0.992	0.549	0.590	1.028
	O'REILLY	2214.48	0.986	0.563	0.603	0.732
	PORRERO & GRASES	2217.90	0.965	0.518	0.559	0.977

Cuadro 5.9. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Nuevamente los diseños de ACI, Walker y Modulo de Fineza tienen un peso unitario similar debido a que su cercana proporción de agregados, con respecto al rendimiento relativo ACI y Walker tienen un rendimiento similar seguido por Modulo de Fineza con un rendimiento menor, esta vez los rendimientos se alejan de la unidad con valores más pequeños, es decir producen menos concreto que la resistencia anterior, estas resultados se apoyan nuevamente en la baja proporcionalidad de los agregados.

El peso unitario de Füller y Bolomey se reduce respecto a la resistencia anterior sin embargo estos siguen siendo ampliamente mayores que los otros métodos con respecto al rendimiento relativo los resultados siguen la misma tendencia que el peso unitario siendo el mayor Bolomey seguido por Füller, estando aun por encima de la unidad.

El peso unitario de Faury esta vez presenta una notoria mejoría que lo hace acercarse a los diseños prácticos, además de un mejor rendimiento que lo hace acercarse a los diseños convencionales superando a los prácticos.

El peso unitario de O'Reilly disminuye su valor debido al aumento de cemento producido en su mezcla logrando un que su rendimientos sea similar al de Modulo de Fineza.

El diseño de Porrero & Grases genera que en esta resistencia el peso unitario se reduzca junto con su rendimiento siendo este menor que la unidad, lo que nos indica que la producción de este concreto es escasa a la requerida.

5.1.2.3. PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO $F'C=280 \text{ kg/cm}^2$

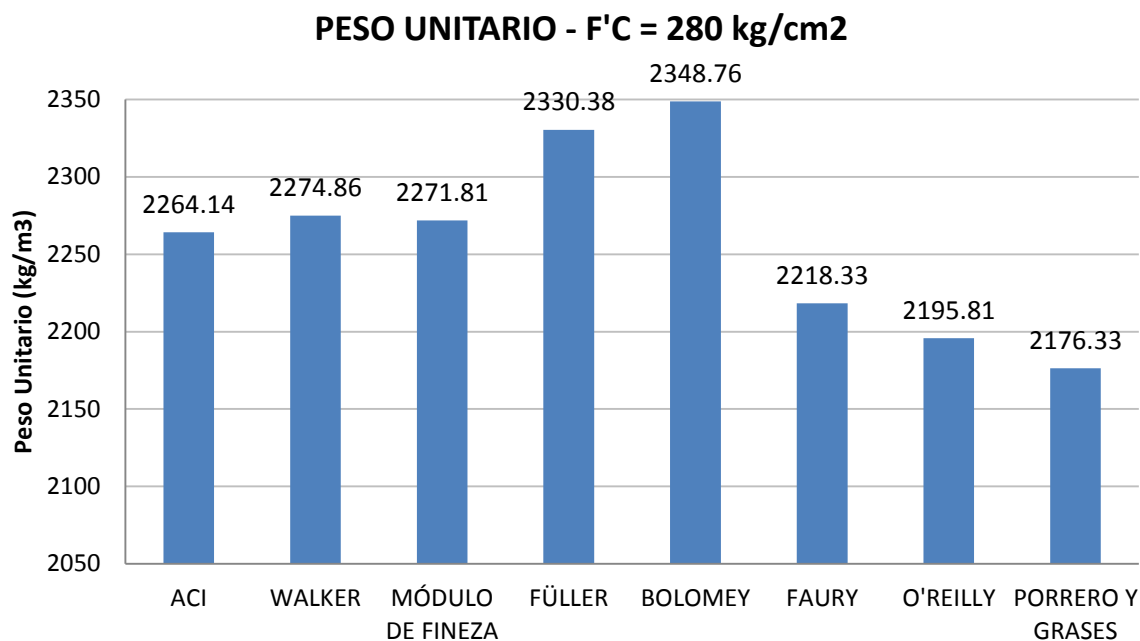


Fig. 5.9. Comparación de Peso Unitario entre métodos con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

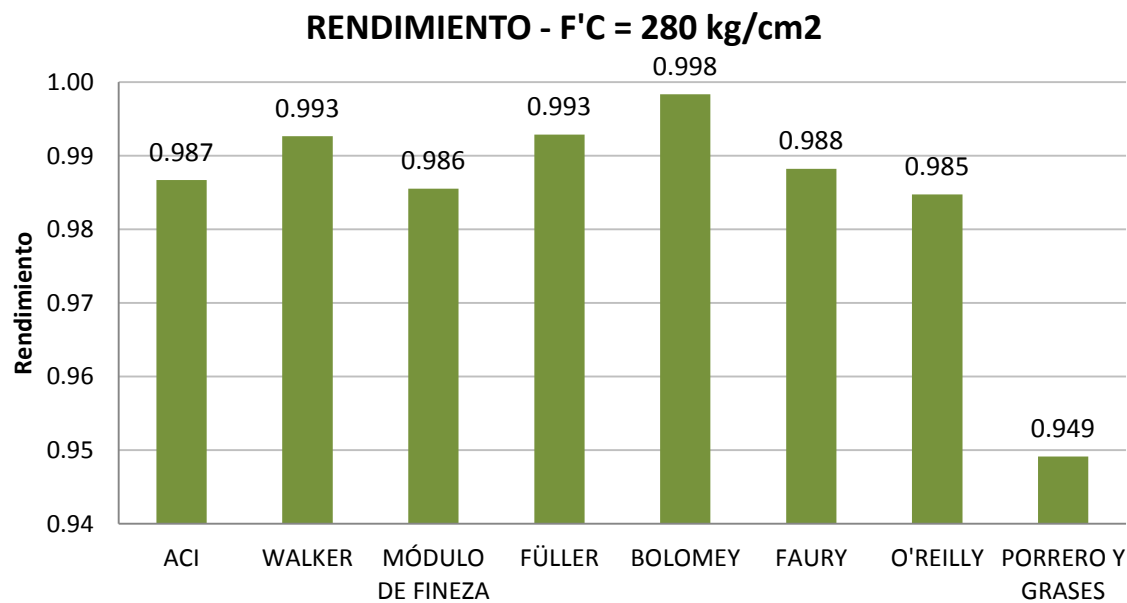


Fig. 5.10. Comparación de Rendimiento entre métodos con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	Peso Unitario (kg/m ³)	Rendimiento Relativo	a/c		Relación agregado fino/grueso
				diseño	Efect	
280	ACI	2264.14	0.987	0.466	0.498	0.519
	WALKER	2274.86	0.993	0.466	0.497	0.491
	MÓDULO DE FINEZA	2271.81	0.986	0.466	0.499	0.560
	FÜLLER	2330.38	0.993	0.468	0.501	0.566
	BOLOMEY	2348.76	0.998	0.468	0.500	0.508
	FAURY	2218.33	0.988	0.468	0.500	0.842
	O'REILLY	2195.81	0.985	0.502	0.533	0.732
	PORRERO & GRASES	2176.33	0.949	0.419	0.448	0.977

Cuadro 5.10. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Ya que en este diseño, las relaciones a/c de la mayoría de los diseños son más cercanas la influencia de la relación entre agregado fino/grueso se notara más en los resultados. Siendo el primer análisis de los pesos unitarios de los diseños ACI, Walker y Modulo de Fineza con un ligero aumento en esta resistencia, lo que en el rendimiento relativo se nota en una disminución, con el diseño de Modulo de fineza inferior a los otros dos.

El peso unitario de Füller y Bolomey se reduce respecto a la resistencia anterior siendo más cercana a las de ACI, pero aun con un ligero mayor valor; en el rendimiento también los valores se ajustan siendo estos dos aun los mayores por la cantidad de agregado grueso presente en su diseño, nuevamente Bolomey predominando como la mayor seguido por el diseño de Füller. Sin embargo el diseño de Walker llega a alcanzar estos diseños por su baja proporción de grueso.

El peso unitario de Faury esta vez crece debido a su proporción radical de agregados siendo mayores que los diseños prácticos pero menores que las convencionales, con respecto al rendimiento el diseño de Porrero & Grases presenta un rendimiento muy por debajo que el resto debido al alta cantidad de cemento en su mezcla que al momento de reaccionar con el agua reduce su volumen.

En esta ocasión ninguno de los diseños supera a la unidad lo que significa que todos los diseños produce una cantidad de concreto inferior a la cantidad teórica que se debió haber obtenido.

5.1.2.4. PESO UNITARIO VS RESISTENCIA PROMEDIO

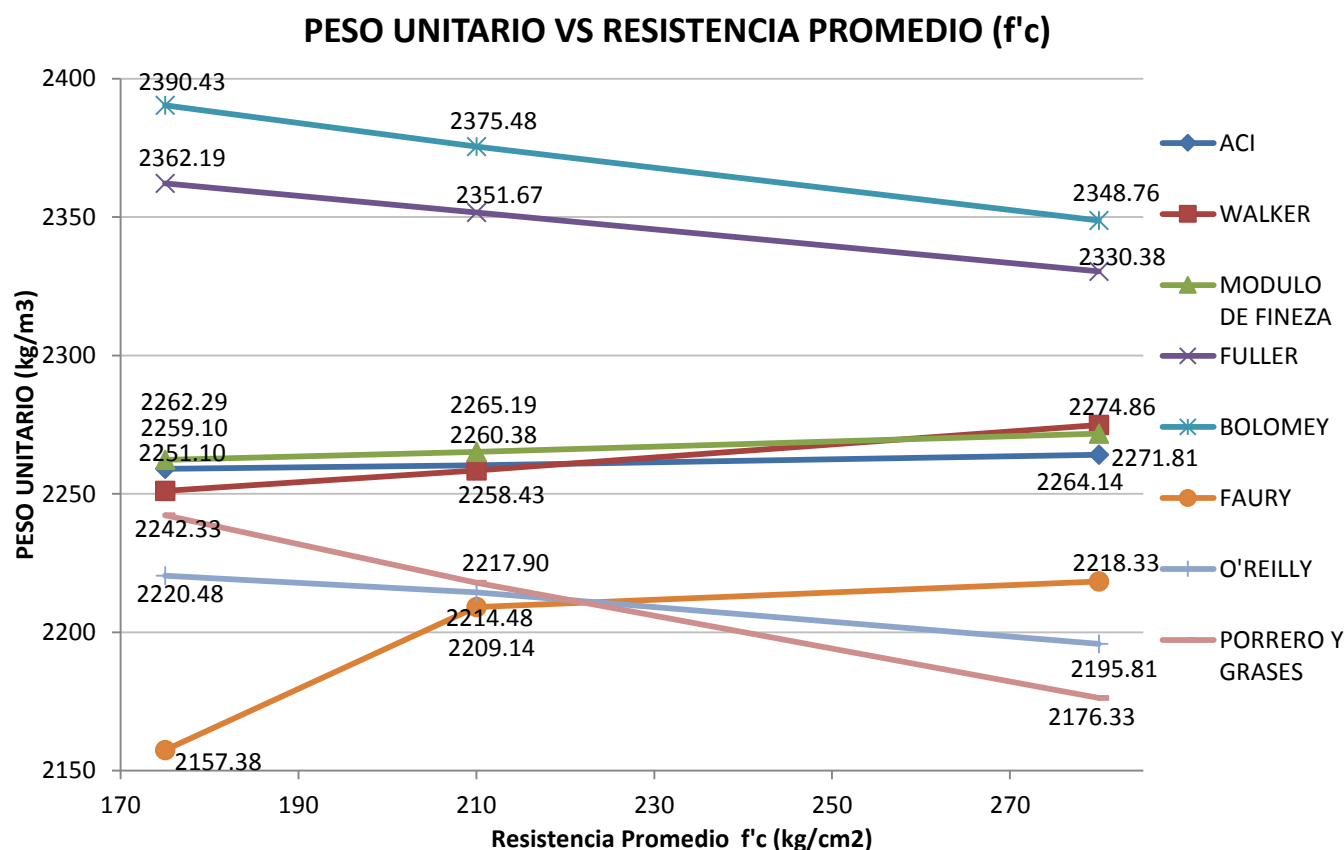


Fig. 5.11. Peso Unitario VS Resistencia Promedio $f'c$

Para un análisis cuantitativo y comparativo se presenta la siguiente tabla donde con los resultados obtenidos se muestra porcentaje resultante a partir del diseño base de ACI.

MÉTODO	Peso Unitario (kg/m³)					
	175 kg/cm²	% respecto a ACI	210 kg/cm²	% respecto a ACI	280 kg/cm²	% respecto a ACI
ACI	2259.10	100.00%	2260.38	100.00%	2264.14	100.00%
WALKER	2251.10	99.65%	2258.43	99.91%	2274.86	100.47%
MÓDULO DE FINEZA	2262.29	100.14%	2265.19	100.21%	2271.81	100.34%
FÜLLER	2362.19	104.56%	2351.67	104.04%	2330.38	102.93%
BOLOMEY	2390.43	105.81%	2375.48	105.09%	2348.76	103.74%
FAURY	2157.38	95.50%	2209.14	97.73%	2218.33	97.98%
O'REILLY	2220.48	98.29%	2214.48	97.97%	2195.81	96.98%
PORRERO & GRASES	2242.33	99.26%	2217.90	98.12%	2176.33	96.12%

Cuadro 5.11. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

El grafico y tabla anteriormente mostrada nos ayudara para determinar la tendencia del comportamiento del peso unitario de los diseños de mezcla a lo largo de sus resistencias requeridas de 175, 210 y 280 kg/cm², de donde se puede decir:

Los diseños de mezcla Bolomey y Füller tienen un valor de peso unitario por encima de los otros métodos, siendo Bolomey el mayor de todos, donde a más resistencia requerida este acortara su valor acercándose a la de Füller, también podemos reconocer que ambos diseños tiene una pendiente critica en su peso unitario.

Los diseños de ACI, Walker y Modulo de Fineza tienen un peso unitario muy similar, siendo ligeramente mayor el diseño de Modulo de fineza en resistencias bajas mientras que en resistencias altas es ligeramente mayor el diseño de Walker, Estos tres diseños tienen una pendiente más controlada que los diseños de Füller y Bolomey por lo que se puede predecir que su peso unitario se mantendrá regularmente constante y con un ligero aumento a lo largo de las resistencias

El diseño de O'Reilly tiene la misma tendencia que los diseños racionales sin embargo este tiene un peso unitario mucho menor a esta, con una tendencia a tener un menor peso unitario a lo largo de las resistencias. El diseño de Faury tiene un comportamiento distinto ya que en la resistencia de 175 kg/cm² era el diseño que más bajo peso unitario tenia, ya que la mayoría de sus componentes eran de agregado fino lo que generaba el menor peso sin embargo en la resistencia de 210 kg/cm² este peso unitario se acerca a los diseños prácticos, para luego superara a estos diseños acercándose cada vez más a los métodos convencionales.

Para finalizar el diseño de Porrero & Grases es un diseño que en la resistencia de 175 kg/cm² presenta un peso unitario, cercano a los convencionales, sin embargo conforme pasan las resistencias requeridas, la mezcla tiene un peso unitario mucho menor debido que en sus proporciones se requiere una cantidad mayor cemento cuando las proporciones de ambos agregados se reducen, logrando así que en la resistencia de 280 kg/cm² ser la menor de todos los diseños con un gran margen de diferencia con el resto, este diseño tiene una pendiente pronunciada similar a la de Füller y Bolomey.

5.1.3. CONTENIDO DE AIRE

El aire atrapado presente en la mezcla generalmente va del rango del 1% al 3% cuando no se incorpora aire como es en el caso de esta investigación, y esta dependerá del TMN y granulometría del agregado con el cual fue realizada la mezcla. Esta cantidad de aire es necesaria para la resistencia a la exposición de ciclos de congelación y deshielo o a químicos descongelantes. Las normas que describen el procedimiento para determinar el contenido de aire por el método de presión son las siguientes:

- NTP. 339.083 HORMIGÓN. Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión
- ASTM C 231. Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

El método de presión trata de igualar un volumen conocido de aire a una presión conocida en una cámara de aire hermética con el volumen de aire desconocido de la muestra de concreto.¹²⁶

PROCEDIMIENTO

- Se humedecen todos los materiales que estarán en contacto con la mezcla.
- Utilizando la olla de Washington se agrega la mezcla colocándola en tres capas, y varillándola con una barra lisa con punta semiesférica con 25 golpes distribuidos uniformemente en cada capa; enseguida de cada capa se debe golpear suavemente las partes externas con un mazo de goma de 10 a 15 veces para eliminar los huecos generados por la varilla y las burbujas de aire atrapadas en la mezcla. En la última capa enrasar la superficie con la varilla hasta que sea uniforme.
- Se limpia los bordes de la olla y colocamos la tapa humedecida anteriormente, ajustándolo por sus 4 lados sin que haya fugas hasta lograr un cierre hermético.
- Se cierra la válvula de aire que hay entre la cámara de aire y la olla de Washington, seguido se abren las dos llaves de desagüe y se vierte agua a través de una hasta que salga por el otro desagüe, se debe mover suavemente la tapa del recipiente para que salga todo el aire por la misma llave de desagüe.

¹²⁶ (NTP 339.083, 2002)



Ilustración 5.3. Ensayo de Contenido de aire del concreto en estado fresco

- Se cierra la válvula de escape de la cámara y se bombea aire en la cámara hasta que la manija de la presión llegue a la línea inicial (presión inicial), se espera unos segundos para que el aire comprimido enfrié hasta una temperatura normal, se comprueba la marca de la presión inicial, dando unos suaves golpes en la olla y en el medidor.
- Se cierra las llaves de desagüe y se abre la válvula de aire entre la cámara y la olla de Washington, se golpea los lados de la olla de medición para equilibrar la presión interna, así como el medidor de aire para estabilizar las manijas y poder leer el porcentaje de aire. Se abre las dos llaves de desagüe antes de retirar la tapa de la olla de Washington.



Ilustración 5.4. Ensayo de Contenido de aire del concreto en estado fresco

RESULTADOS

MÉTODO	F'C kg/cm²	ENSAYO	CONT. DE AIRE (%)	CONT. DE AIRE PROM (%)	MÉTODO	F'C kg/cm²	ENSAYO	CONT. DE AIRE (%)	CONT. DE AIRE PROM (%)
ACI	175	1	1.85	1.75	BOLOMEY	175	1	1.40	1.38
		2	1.70				2	1.40	
		3	1.70				3	1.35	
	210	1	1.50	1.60		210	1	1.40	1.35
		2	1.60				2	1.40	
		3	1.70				3	1.25	
	280	1	1.40	1.37		280	1	1.30	1.28
		2	1.20				2	1.35	
		3	1.50				3	1.20	
WALKER	175	1	1.80	1.73	FAURY	175	1	2.60	2.53
		2	1.60				2	2.50	
		3	1.80				3	2.50	
	210	1	1.65	1.57		210	1	2.30	2.25
		2	1.55				2	2.15	
		3	1.50				3	2.30	
	280	1	1.00	1.17		280	1	1.95	1.82
		2	1.20				2	1.80	
		3	1.30				3	1.70	
MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	175	1	1.80	1.97	O'REILLY	175	1	1.90	2.00
		2	2.10				2	2.00	
		3	2.00				3	2.10	
	210	1	1.80	1.78		210	1	1.90	1.88
		2	1.75				2	1.90	
		3	1.80				3	1.85	
	280	1	1.50	1.52		280	1	1.70	1.63
		2	1.45				2	1.50	
		3	1.60				3	1.70	
FÜLLER	175	1	1.50	1.62	PORRERO & GRASES	175	1	2.20	2.17
		2	1.65				2	2.10	
		3	1.70				3	2.20	
	210	1	1.40	1.52		210	1	2.10	2.03
		2	1.50				2	2.10	
		3	1.65				3	1.90	
	280	1	1.45	1.42		280	1	1.90	1.83
		2	1.30				2	1.70	
		3	1.50				3	1.90	

Cuadro 5.12. Contenido de aire promedio de cada método y resistencia requerida

MÉTODO	F'C (kg/cm ²)	CONT. DE AIRE PROM (%)	F'C (kg/cm ²)	CONT. DE AIRE PROM (%)	F'C (kg/cm ²)	CONT. DE AIRE PROM (%)
ACI	175	1.75	210	1.60	280	1.37
WALKER		1.73		1.57		1.17
MÓDULO DE FINEZA		1.97		1.78		1.52
FÜLLER		1.62		1.52		1.42
BOLOMEY		1.38		1.35		1.28
FAURY		2.53		2.25		1.82
O'REILLY		2.00		1.88		1.63
PORRERO & GRASES		2.17		2.03		1.83

Cuadro 5.13. Cuadro resumen del contenido de aire promedio por resistencia requerida

A continuación se analizará mediante gráficos y tablas comparativas los resultados obtenidos de la prueba de contenido de aire realizado a todos los diseños de mezcla en sus tres resistencias requeridas, el objetivo a encontrar en este ensayo es lograr obtener el contenido de aire atrapado que demanda el diseño en este caso de 1.5% del total del peso la mezcla, con la excepción de Porrero & Grases donde el diseño requiere de 1.29 %, 1.57% y 2.07% para una resistencia de 175 kg/cm², 210 kg/cm² y 280 kg/cm² respectivamente.

5.1.3.1. CONTENIDO DE AIRE F'C=175 kg/cm²

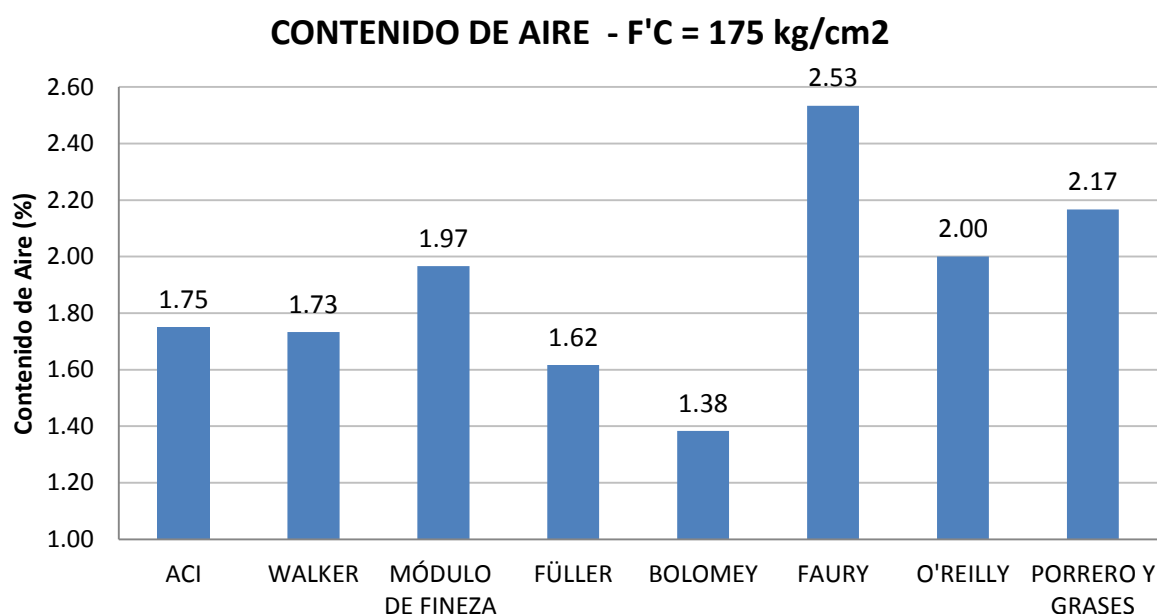


Fig. 5.12. Comparación del Contenido de Aire entre métodos con una resistencia $f'c=175$ kg/cm²

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	CONT. DE AIRE PROM (%)	Cantidad de cemento (kg)	Relación agregado fino/grueso	Porcentaje respecto al requerido
175	ACI	1.75	307.32	0.600	116.67%
	WALKER	1.73	313.69	0.610	115.56%
	MÓDULO DE FINEZA	1.97	307.32	0.654	131.11%
	FÜLLER	1.62	318.56	0.566	107.78%
	BOLOMEY	1.38	318.56	0.468	92.22%
	FAURY	2.53	338.47	1.174	168.89%
	O'REILLY	2.00	336.98	0.732	133.33%
	PORRERO & GRASES	2.17	328.13	0.977	144.44%

Cuadro 5.14. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=175$ kg/cm²

Comparando los diseños de ACI, Walker y Modulo de fineza que tienen una similar cantidad de cemento, se ve la influencia de la proporción de los agregados quienes determinaran la cantidad de aire atrapado presente en la mezcla, y como se muestra en los resultados a mayor relación agregado fino/grueso (es decir un presencia mayor del agregado fino sobre el grueso), se tendrá un mayor contenido de aire.

En el caso de Füller y Bolomey que requieren la misma cantidad de cemento se denota la misma situación de prevalecer el valor mayor de la relación de los agregados para un mayor contenido de aire, mostrando que el diseño de Bolomey es el diseño que menos aire tiene debido a su gran contenido de agregado grueso.

El diseño de Faury en esta resistencia presenta una relación agregado fino/grueso muy superior que los demás diseños, lo que resulta en un alto contenido de aire debido a que entre las partículas de agregado fino existan más pequeños espacios vacíos que en los otros métodos. El diseño de O'Reilly, tiene un contenido de aire parecido al de Modulo de Fineza a pesar de tener una relación de agregados más grande, por lo que se puede concluir que también una cantidad alta de cemento causa una menor cantidad de aire atrapado ya que esta ocupara los espacios vacíos por ser de partículas muy finas.

Porrero & Grases es otro diseño con una alta relación entre agregados estando cerca a la unidad es decir una proporción de 50% entre los agregados por lo que al igual que el método de Faury resulta en una cantidad mayor de pasta y por tanto de contenido de aire entre sus partículas.

5.1.3.2. CONTENIDO DE AIRE $F'C=210 \text{ kg/cm}^2$

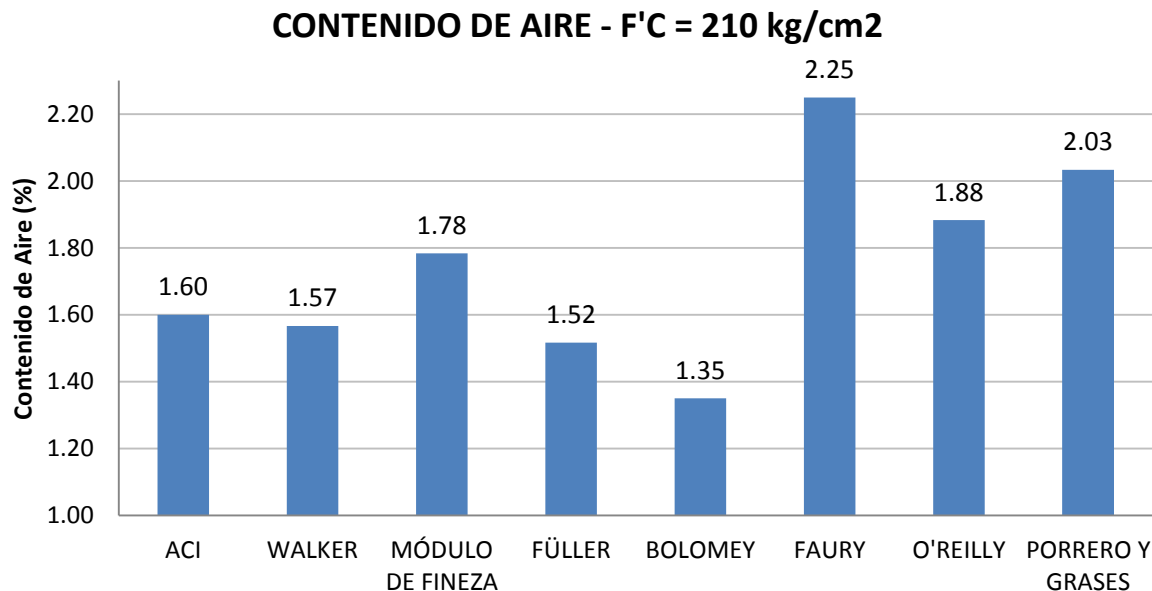


Fig. 5.13. Comparación del Contenido de Aire entre métodos con una resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	CONT. DE AIRE PROM (%)	Cantidad de cemento (kg)	Relación agregado fino/grueso	Porcentaje respecto al requerido
210	ACI	1.60	345.63	0.571	106.67%
	WALKER	1.57	352.79	0.565	104.44%
	MÓDULO DE FINEZA	1.78	345.63	0.622	118.89%
	FÜLLER	1.52	362.39	0.566	101.11%
	BOLOMEY	1.35	362.39	0.483	90.00%
	FAURY	2.25	385.04	1.028	150.00%
	O'REILLY	1.88	374.12	0.732	125.56%
	PORRERO & GRASES	2.03	399.18	0.977	135.56%

Cuadro 5.15. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

El diseño de ACI, Walker y Modulo de Fineza siguen la misma tendencia que la resistencia anterior sienta la relación de agregados fino/grueso la que defina el contenido de aire a razón que de cuando esta variable sea mayor, será también mayor el contenido de aire.

Los diseños de Füller y Bolomey al tener menos relación entre agregados tendrán una menor cantidad de aire; en el caso de Füller tiene una relación de agregados cercano a Walker, pero presenta un contenido de aire menor debido a la mayor cantidad de cemento, el diseño de Bolomey sigue distante de los demás resultados con un bajo contenido de aire por su proporcionamiento.

Los diseños de Faury, O'Reilly y Porrero & Grases repiten la situación anterior de tener una cantidad mayor de cemento sin embargo también una alta proporción de los agregados que ocasiona que el contenido de aire sea de un valor alto, en las diferentes proporciones en que se presentan, siendo todos estos mayor que el resto de diseños.

5.1.3.3. CONTENIDO DE AIRE $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

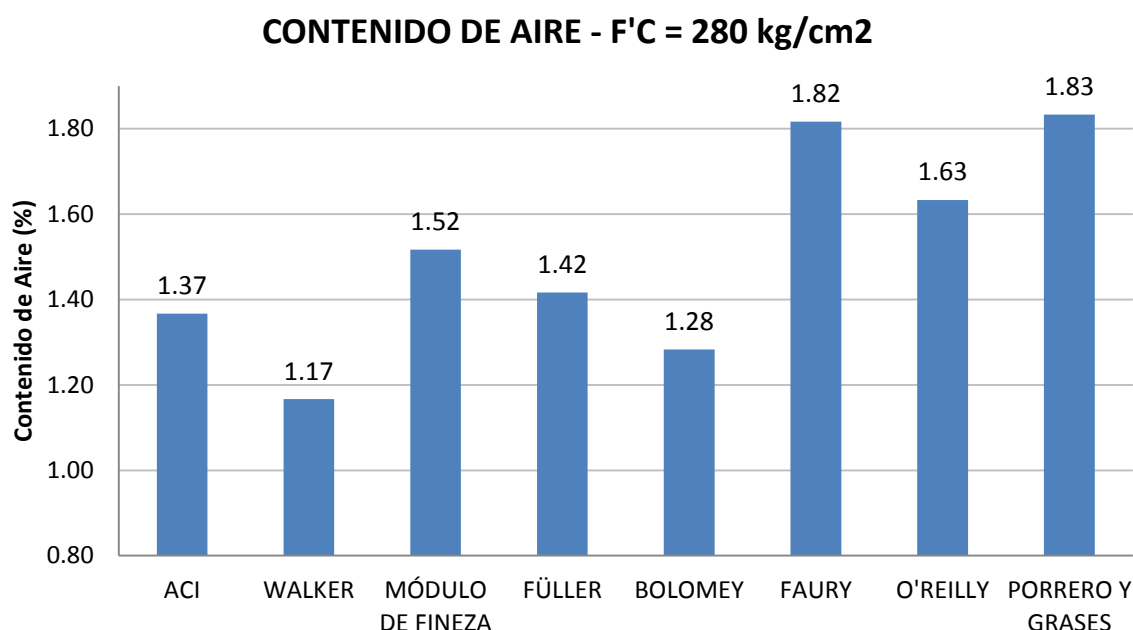


Fig. 5.14. Comparación del Contenido de Aire entre métodos con una resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	CONT. DE AIRE PROM (%)	Cantidad de cemento (kg)	Relación agregado fino/grueso	Porcentaje respecto al requerido
280	ACI	1.37	414.16	0.519	91.11%
	WALKER	1.17	422.75	0.491	77.78%
	MÓDULO DE FINEZA	1.52	414.16	0.560	101.11%
	FÜLLER	1.42	425.01	0.566	94.44%
	BOLOMEY	1.28	425.01	0.508	85.56%
	FAURY	1.82	451.57	0.842	121.11%
	O'REILLY	1.63	447.91	0.732	108.89%
	PORRERO & GRASES	1.83	525.51	0.977	122.22%

Cuadro 5.16. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

En esta resistencia, el diseño de Walker es el que tiene la menor cantidad de aire, debido a su contenido de cemento y baja relación de agregados fino/grueso, seguido por ACI y Modulo de

Fineza, por la proporción de los agregados de estos métodos de diseño, los cuales se ven cada vez más afectados a tener una mayor cantidad de agregado grueso con respecto al fino.

Füller en esta resistencia presenta una proporción de agregados más cercana a los diseños convencionales (Modulo de Fineza) por lo que el porcentaje de aire dependerá más de la cantidad de cemento, siendo este menor cuando se presente más cemento; mientras que Bolomey tiene un bajo contenido de aire como Walker por su bajo contenido de agregados.

En esta ocasión Faury O'Reilly y Porrero & Grases presentan una alta cantidad de cemento con una alta proporción de agregado fino/grueso, lo que consigue una reducción en su contenido aire respecto a su resistencia anterior sin embargo estos siguen siendo valores altos. Siendo el diseño de Porrero & Grases el que tenía la mayor proporción pero también mayor cantidad de cemento por lo que nos se produce tanto aire atrapado como el esperado.

En conclusión, de acuerdo a las gráficas y los datos obtenidos de las tablas, podemos determinar que hay una tendencia sobre que a menor relación a/c con la mismas proporciones de agregados, se tendrá una menor cantidad de aire; sin embargo esta se nota más en cuanto a la cantidad de cemento neta, ya que cuando se tiene una relación regular de agregados fino/grueso, el cemento definirá el contenido de aire de la siguiente manera: a mayor cantidad de cemento, menor contenido de aire se tendrá, debido a que si bien el cemento no es considerado un agregado en todos los diseños, este presenta partículas muy finas las cuales ocupan los espacios vacíos reduciendo el contenido de aire atrapado.

La relación entre agregados es el factor más importante en la obtención del contenido de aire, ya que se conoce que el solo utilizar un agregado genera más espacios vacíos entre sus partículas que cuando se usa la combinación de estos, se determina que a mayor cantidad de relación fino/grueso lo que significa una mayor cantidad de fino en la mezcla que genera mayor pasta lo que ocasiona mayor cantidad de aire presente, ya que el agregado grueso solo sirve para desplazar el volumen evitando vacíos.

5.1.3.4. CONTENIDO DE AIRE VS RESISTENCIA PROMEDIO

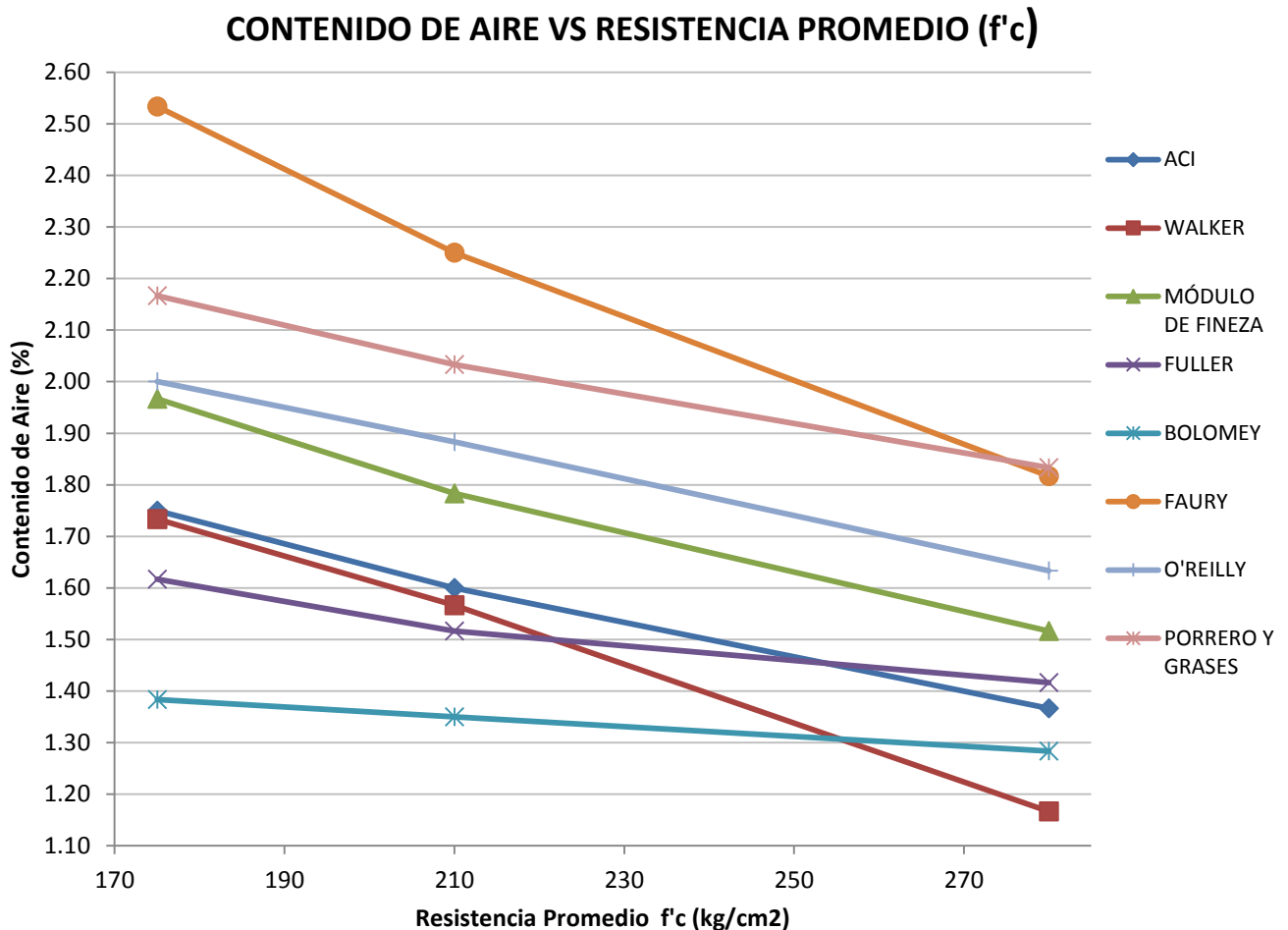


Fig. 5.15. Contenido de Aire VS Resistencia promedio $f'c$

Se nota una clara tendencia que a mayor resistencia promedio requerida, se tendrá una menor cantidad de aire, en diferentes pendientes de comportamiento de acuerdo al diseño utilizado, reconociendo que los diseños de ACI y Fuller, tienen una estabilidad mayor con respecto al contenido de aire a lo largo de las resistencias, el diseño de Walker es cercano a estos en la resistencia de 175 kg/cm², sin embargo en una mayor resistencia su contenido de aire disminuye con una gran pendiente siendo el menor de todos los diseños.

Los diseños de Porrero & Grases, O'Reilly y Modulo de Fineza se encuentran más alejadas del resultado requerido, sin embargo el diseño de Módulo de Fineza tratar de acercarse en la resistencia de 280 kg/cm², lo que no sucede con Porrero & Grases y O'Reilly que a pesar de tener una mayor pendiente no llegan alcanzar el contenido de aire esperado por sus altos contenidos de finos en la mezcla.

El diseño de Faury tiene un comportamiento más inusual que el resto debido a su cambio radical de proporciones de agregados, siendo que en sus tres diseños presenta la mayor cantidad de aire, con una pendiente más pronunciada que finalmente alcanzar al diseño de Porrero & Grases. El diseño de Bolomey también tiene un comportamiento diferente a los demás, ya que se mantiene casi constante, ya que en sus proporciones este disminuye la cantidad de agregado grueso en grandes proporciones lo que lo hace permanecer como el diseño más estable pero con un contenido de aire menor del requerido.

En general todos los diseños coinciden con que a mayor resistencia requerida, menor contenido de aire se obtendrá, según cada tipo de comportamiento de los diseños de mezcla, lo que nos conduce a determinar que a menor relación a/c (cuando se use las mismas proporciones de los componentes), resultara en una menor cantidad de aire en la mezcla.

Además se puede decir que el factor principal que determina el contenido de aire en la mezcla es el proporcionamiento de los agregados, siendo que a mayor contenido de agregado grueso y por tanto menor relación agregado fino/grueso, se obtendrá menor contenido de aire, ya que estas partículas de mayor tamaño servirán para desplazar volumen del concreto volviéndolo más económico y generando una menor cantidad de pasta (mortero) en la mezcla, en el cual se presenta la mayor cantidad de aire atrapado.

En segunda instancia y en menor influencia se puede notar que, cuando se tenga una proporción similar de los agregados en dos diseños de mezcla, el factor que influirá en la proporción del aire será la cantidad de cemento, siendo que a mayor cantidad de partículas finas presentes en la mezcla se tendrá una menor cantidad de aire atrapado, estas partículas finas representan a las del cemento y en una cierta proporción a los del agregado fino (siendo las partículas que pasan la malla N°30 y quedan retenidas en la malla N°100 las que aportaran mayor contenido de aire en la mezcla¹²⁷), por lo que en resumen a mayor cantidad de cemento se tendrá un menor contenido de aire promedio.

¹²⁷ (Arcos D'Hainaut, 1976, pág. 89)

5.1.4. ELABORACIÓN Y CURADO DE PROBETAS

Si bien esta no es una propiedad de la mezcla en estado fresco, es fundamental la preparación y elaboración de las probetas de concreto para el control de calidad y se debe hacer con mucho cuidado, ya que este determinará las propiedades del concreto en estado endurecido. Las normas que describen el procedimiento para la elaboración y curado de probetas son las siguientes:

- NTP. 339.033. CONCRETO Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.
- ASTM C 31. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

PROCEDIMIENTO

- Se humedecen todos los materiales que estarán en contacto con la mezcla.
- Los moldes deben estar limpios y se colocará una capa de grasa (desmoldante).
- Debido a que se usa moldes de 10x20 cm se colocará la mezcla en dos capas y se compactará con una barra de acero esbelta con punta semiesférica por medio de 25 varilladas distribuidas uniformemente, la primera capa no debe chocar con el fondo, para la segunda capa debe penetrar levemente la capa anterior (1''); adicionalmente se requiere golpear la probeta de 10 a 15 veces con un mazo de goma después de cada capa. En la última capa enrasará la superficie y eliminar la mezcla sobrante. Identificar correctamente cada probeta y protegerla para evitar la evaporación del curado inicial.
- Se desmoldarán las probetas a las 24 horas, cuando hayan cumplido el fraguado inicial, inmediatamente antes de los 30 minutos se deben colocar las probetas en una solución de agua de cal 3g/L, para lograr la hidratación máxima del cemento.



Ilustración 5.5. Pozo de curado

5.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

5.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión es la propiedad mecánica más característica del control de calidad del concreto, ya que esta determinará la resistencia de especímenes cilíndricos preparados y curados de manera estándar bajo las normas correspondientes, sometidos a una carga axial constante. Los resultados obtenidos de este ensayo dependen de múltiples factores entre las propiedades de los componentes, forma de realización, modo de curado, temperatura del ambiente, etc. Las normas que describen el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas son las siguientes:

- NTP 339.034. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.
- ASTM C 39. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROCEDIMIENTO

- Las probetas serán correctamente identificadas con el código de muestra, número de cilindro, fecha de elaboración y tiempo de rotura.



Ilustración 5.6. Probetas de concreto

- Se sacara las probetas del pozo de curado y se secura superficialmente con la ayuda de un trapo, seguido se medirá el diámetro de la probeta cilíndrica tomando el promedio de dos medidas perpendiculares con una aproximación de 0.1 mm, también se medirá la altura media de cada probeta.
- Se limpiara los bordes de la probeta y se limara en caso que la superficie no fuese plana. Se colocara la probeta en la parte central en la máquina de compresión con unas tapas de almohadilla de neopreno que lograra un distribución uniforme de la carga, la cual será de forma continua y a una velocidad de esfuerzo de 0.25 ± 0.05 MPa/s.
- La norma indica un tiempo permisible entre el retiro de la probeta de la poza de curado y su respectiva rotura, según lo siguiente:

Edad de Ensayo	Tolerancia de tiempo Permisible	
	Horas	%
24 h	± 0.5	± 2.1
3 d	± 2	± 2.8
7 d	± 6	± 3.6
28 d	± 20	± 3.0
90 d	± 48	± 2.2

Tabla 5.1. Tiempo permisible de tolerancia para ensayo de resistencia a la compresión¹²⁸

CÁLCULOS

$$Rc = \frac{P}{A}$$

Dónde:

Rc (kg/cm²) = Resistencia a la compresión

P (kg) = Carga máxima total

A (cm²) = Área de la superficie de carga

En el caso que la relación L/D (Longitud/Diámetro) sea igual o menor a 1.75, la anterior ecuación se verá modificada con la multiplicación de un factor de corrección.

L/D	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	1.00	0.98	0.96	0.93	0.87

Tabla 5.2. Factor de corrección de la resistencia a la compresión¹²⁹

RESULTADOS

¹²⁸ (NTP 339.034, 2008, pág. 11)

¹²⁹ (NTP 339.034, 2008, pág. 13)

A continuación se presentan un cuadro resumen de los resultados obtenido de las pruebas de resistencia a la compresión de probetas de concreto de 10x20cm a los 7 y 28 días, con una resistencia de 175, 210 y 280 kg/cm², se realizó 15 pruebas para cada método, resistencia y edad requerida. Los datos y formulas necesarias para obtener estos resultados se encuentran en el final de esta investigación en la sección de anexos.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	RESIST. A LA COMP. PROM 7 DÍAS (kg/cm ²)	RESIST. A LA COMP. PROM 28 DÍAS (kg/cm ²)
175	ACI	142.77	217.90
	WALKER	149.54	226.03
	MÓDULO DE FINEZA	137.58	211.40
	FÜLLER	158.42	235.69
	BOLOMEY	113.49	170.61
	FAURY	136.05	202.90
	O'REILLY	177.66	252.92
	PORRERO & GRASES	172.78	245.00
210	ACI	180.46	270.65
	WALKER	180.77	273.79
	MÓDULO DE FINEZA	163.81	256.85
	FÜLLER	195.21	283.75
	BOLOMEY	158.60	229.82
	FAURY	201.03	284.16
	O'REILLY	181.95	261.89
	PORRERO & GRASES	228.74	309.88
280	ACI	221.46	329.43
	WALKER	230.59	342.01
	MÓDULO DE FINEZA	215.00	314.64
	FÜLLER	220.90	320.09
	BOLOMEY	240.39	352.73
	FAURY	248.98	349.89
	O'REILLY	216.92	309.52
	PORRERO & GRASES	285.48	379.63

Cuadro 5.17. Resistencia a la compresión promedio a los 7 y 28 días de cada método y resistencia requerida.

5.2.1.1. CONTROL ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

La cantidad de probetas que se estableció era necesaria por cada edad, método y resistencia debido a que los diseños requieren una proporción de agregados similares lo que podía afectar a los resultados por lo que se trató de crear una mayor amplitud de datos y poder obtener una desviación estándar y coeficiente de variación para ajustar estos resultados (ya que como mínimo se requería de 15 probetas para tener un ajuste corregido) y obtener uno con más exactitud. El procedimiento y cálculos para obtener la desviación estándar y coeficiente de variación se encuentran en el anexo de la presente investigación, a continuación se muestra un resumen de los datos obtenidos:

F'C kg/cm ²	MÉTODO	Resistencia a la Compresión a los 7 días					
		Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coeficiente de Variación "v"	Uniformidad del Concreto	+ Ds (kg/cm ²)	- Ds (kg/cm ²)
175	ACI	4.651	5.395	3.78%	Excelente	148.16	137.37
	WALKER	4.255	4.936	3.30%	Excelente	154.47	144.60
	MÓDULO DE FINEZA	6.356	7.373	5.36%	Muy Bueno	144.95	130.20
	FÜLLER	5.816	6.746	4.26%	Excelente	165.16	151.67
	BOLOMEY	6.850	7.946	7.00%	Muy Bueno	121.44	105.55
	FAURY	5.073	5.885	4.33%	Excelente	141.93	130.16
	O'REILLY	5.489	6.367	3.58%	Excelente	184.02	171.29
	PORRERO & GRASES	5.242	6.081	3.52%	Excelente	178.86	166.70
210	ACI	6.086	7.060	3.91%	Excelente	187.52	173.40
	WALKER	8.213	9.528	5.27%	Muy Bueno	190.29	171.24
	MÓDULO DE FINEZA	7.505	8.706	5.31%	Muy Bueno	172.52	155.10
	FÜLLER	6.574	7.626	3.91%	Excelente	202.84	187.59
	BOLOMEY	8.122	9.422	5.94%	Muy Bueno	168.02	149.18
	FAURY	5.503	6.383	3.18%	Excelente	207.41	194.64
	O'REILLY	4.551	5.279	2.90%	Excelente	187.23	176.68
	PORRERO & GRASES	6.723	7.798	3.41%	Excelente	236.54	220.94
280	ACI	7.926	9.194	4.15%	Excelente	230.66	212.27
	WALKER	8.569	9.940	4.31%	Excelente	240.53	220.65
	MÓDULO DE FINEZA	9.418	10.925	5.08%	Muy Bueno	225.92	204.07
	FÜLLER	10.523	12.206	5.53%	Muy Bueno	233.11	208.69
	BOLOMEY	7.923	9.191	3.82%	Excelente	249.58	231.20
	FAURY	6.709	7.783	3.13%	Excelente	256.76	241.20
	O'REILLY	6.528	7.573	3.49%	Excelente	224.49	209.35
	PORRERO & GRASES	6.926	8.034	2.81%	Excelente	293.51	277.44

Cuadro 5.18. Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días

F'C kg/cm ²	MÉTODO	Resistencia a la Compresión a los 28 días					
		Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefficiente de Variación "v"	Uniformidad del Concreto	+ Ds (kg/cm ²)	- Ds (kg/cm ²)
175	ACI	7.21	8.36	3.84%	Excelente	226.26	209.55
	WALKER	7.25	8.41	3.72%	Excelente	234.44	217.62
	MÓDULO DE FINEZA	7.06	8.19	3.87%	Excelente	219.58	203.21
	FÜLLER	6.70	7.77	3.30%	Excelente	243.46	227.92
	BOLOMEY	10.65	12.35	7.24%	Muy Bueno	182.97	158.26
	FAURY	5.90	6.84	3.37%	Excelente	209.74	196.06
	O'REILLY	7.02	8.14	3.22%	Excelente	261.06	244.78
	PORRERO & GRASES	6.97	8.08	3.30%	Excelente	253.09	236.92
210	ACI	9.40	10.90	4.03%	Excelente	281.55	259.74
	WALKER	10.26	11.91	4.35%	Excelente	285.70	261.89
	MÓDULO DE FINEZA	9.98	11.58	4.51%	Excelente	268.43	245.27
	FÜLLER	10.40	12.06	4.25%	Excelente	295.81	271.69
	BOLOMEY	12.63	14.65	6.37%	Muy Bueno	244.46	215.17
	FAURY	7.61	8.83	3.11%	Excelente	292.99	275.34
	O'REILLY	9.32	10.81	4.13%	Excelente	272.70	251.08
	PORRERO & GRASES	9.27	10.76	3.47%	Excelente	320.64	299.13
280	ACI	11.47	13.31	4.04%	Excelente	342.73	316.12
	WALKER	11.33	13.14	3.84%	Excelente	355.15	328.87
	MÓDULO DE FINEZA	9.87	11.45	3.64%	Excelente	326.09	303.19
	FÜLLER	10.32	11.97	3.74%	Excelente	332.06	308.12
	BOLOMEY	14.36	16.65	4.72%	Excelente	369.39	336.08
	FAURY	11.23	13.02	3.72%	Excelente	362.91	336.87
	O'REILLY	10.70	12.41	4.01%	Excelente	321.93	297.11
	PORRERO & GRASES	10.17	11.80	3.11%	Excelente	391.42	367.83

Cuadro 5.19. Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días

Las gráficas de la desviación estándar y coeficiente de variación, que se usaron para el descarte de ciertas probetas que estaban fuera del rango que se obtuvo tras los cálculos se presentan al final de la presente investigación en la sección de anexos.

Después del análisis se descartó ciertas probetas que estaban fuera del rango propuesto en la desviación estándar, por lo que se presenta a continuación los resultados de la resistencia a la compresión:

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	RESIST. A LA COMP. PROM 7 DÍAS (kg/cm ²)	RESIST. A LA COMP. PROM 28 DÍAS (kg/cm ²)
175	ACI	141.64	217.23
	WALKER	149.64	224.18
	MÓDULO DE FINEZA	137.72	210.09
	FÜLLER	158.53	235.48
	BOLOMEY	113.51	171.12
	FAURY	136.05	202.97
	O'REILLY	177.65	254.57
	PORRERO & GRASES	172.62	244.42
210	ACI	179.92	269.78
	WALKER	181.52	272.86
	MÓDULO DE FINEZA	163.12	254.30
	FÜLLER	194.62	284.89
	BOLOMEY	158.65	229.13
	FAURY	200.00	283.28
	O'REILLY	181.12	261.84
	PORRERO & GRASES	228.11	310.82
280	ACI	221.06	327.81
	WALKER	230.62	340.33
	MÓDULO DE FINEZA	213.72	316.33
	FÜLLER	219.73	320.09
	BOLOMEY	239.27	350.42
	FAURY	249.26	351.61
	O'REILLY	216.85	310.42
	PORRERO & GRASES	285.37	381.11

Cuadro 5.20. Resistencia a la compresión promedio ajustada a la desviación estándar a los 7 y 28 días de cada método y resistencia requerida.

5.2.1.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A continuación se procederá a analizar los resultados obtenidos a raíz de la prueba de compresión en las diferentes resistencias requeridas y diseños de mezclas usados.

5.2.1.2.1. RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

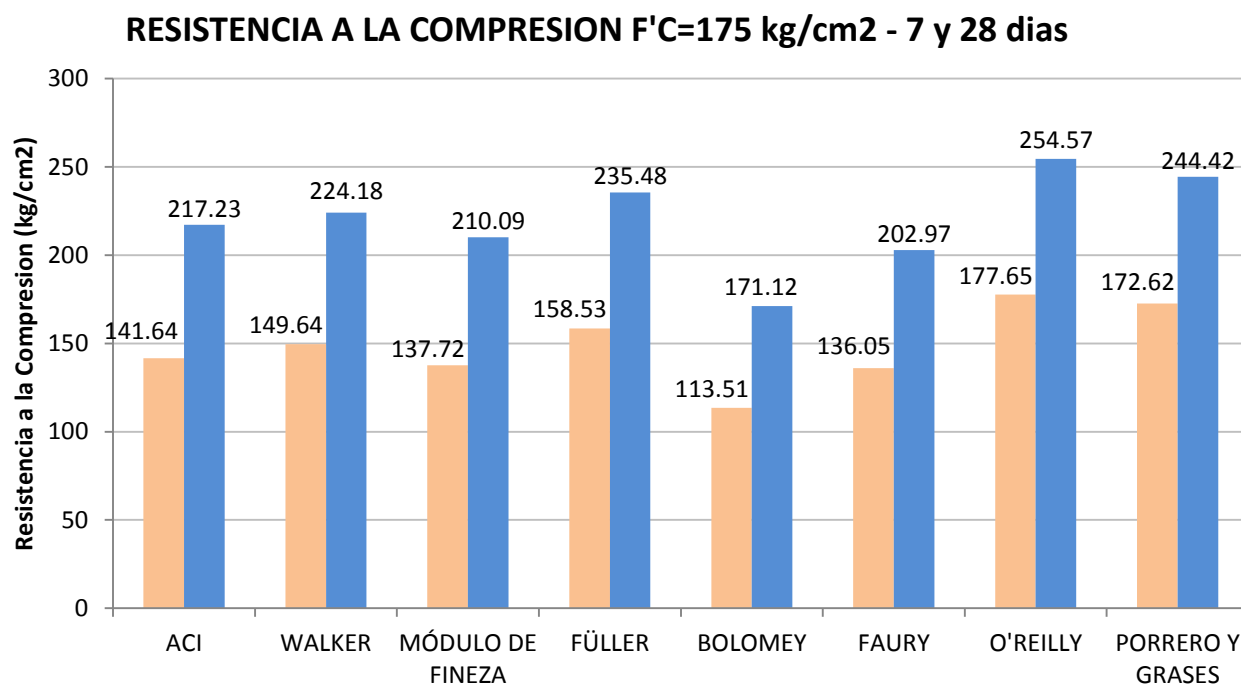


Fig. 5.16. Comparación de la Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días del $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

De acuerdo a los diseños de mezcla, el concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ debería de llegar a una resistencia promedio requerida de $f'cr=245 \text{ kg/cm}^2$ después de estar 28 días en un proceso de curado, y en un rango de 65% (159.25 kg/cm^2 aproximadamente) a los 7 días de curado, lo cual no se cumple en todos los diseños de lo que analizaremos a continuación con la siguiente tabla:

F'C kg/cm ²	MÉTODO	RESIST. A LA COMP. PROM 7 DÍAS (kg/cm ²)	% respecto a la resistencia obtenida	RESIST. A LA COMP. PROM 28 DÍAS (kg/cm ²)	% respecto f'cr	a/c		Relación agregado fino/grueso
						diseño	efect.	
175	ACI	141.64	65.20%	217.23	88.66%	0.628	0.676	0.600
	WALKER	149.64	66.75%	224.18	91.50%	0.628	0.675	0.610
	MÓDULO DE FINEZA	137.72	65.55%	210.09	85.75%	0.628	0.677	0.654
	FÜLLER	158.53	67.32%	235.48	96.12%	0.624	0.671	0.566
	BOLOMEY	113.51	66.33%	171.12	69.85%	0.624	0.668	0.468
	FAURY	136.05	67.03%	202.97	82.84%	0.624	0.675	1.174
	O'REILLY	177.65	69.78%	254.57	103.91%	0.610	0.655	0.732
	PORRERO & GRASES	172.62	70.62%	244.42	99.76%	0.603	0.655	0.977

Cuadro 5.21. Resistencia a la compresión promedio de los 7 y 28 días para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Según la gráfica y tabla mostrada, se puede decir: Los diseños convencionales tienen una similar resistencia siendo la más sobresaliente la de Walker; los diseños racionales tiene un comportamiento diferente, ya que Füller tiene un a/c cercano a los convencionales con una relación de agregados mayor lo que resulta en una mayor resistencia mientras que Bolomey a pesar de tener una menor relación a/c que significaría una mayor resistencia esta se queda muy por debajo por la proporción de los agregados, de donde resulto una mezcla pedregosa y con poco adherencia, mientras que Faury por el contrario tiene una relación alta de agregados lo que no resulta en una mejor resistencia quedándose estas dos por debajo de las convencionales. Los diseños de O'Reilly y Porrero & Grases tienen las menores relaciones a/c, por lo que se obtuvo las mayores resistencias, siendo O'Reilly la que supera el f'_{cr} , mientras que Porrero & Grases se queda atrás ya que si bien tienen la misma relación a/c, el proporcionamiento de este es mayor, es decir tiene una mayor cantidad de finos en la mezcla, generando una reducción en su resistencia.

La resistencia a los 7 días de curado en los diseños de mezcla están en un rango del 65% al 72% de la resistencia que se obtuvo realmente en cada diseño, reconociendo que están en proporción a la cantidad de cemento, por lo que se puede concluir que a mayor cantidad de cemento se tendrá un mayor porcentaje de resistencia inicial.

5.2.1.2.2. RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA $F'C=210 \text{ kg/cm}^2$

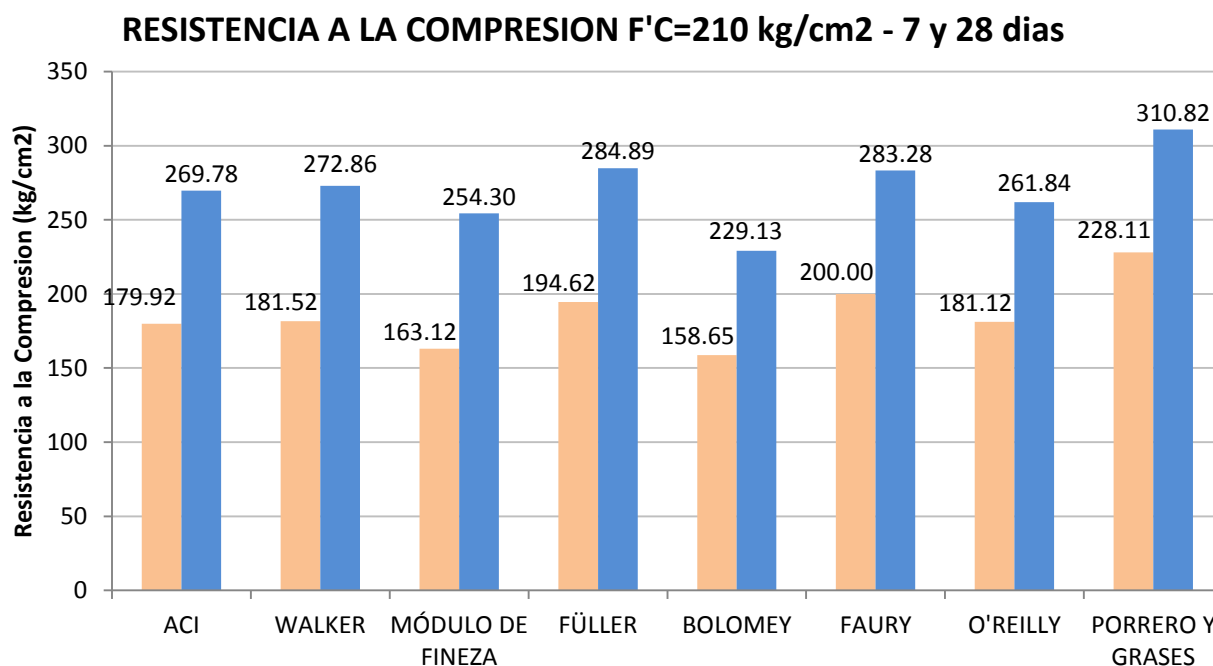


Fig. 5.17. Comparación de la Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días del $f'_{cr}=210 \text{ kg/cm}^2$

La reducción del factor agua/cemento ocasiona el incremento de la resistencia, la cual es requerida a continuación con un $f'c$ de 210 kg/cm^2 con el cual deberíamos obtener una $f'cr =$ de 294 kg/cm^2 a los 28 días de curado y de aproximadamente el 65% ($f'cr = 191.1 \text{ kg/cm}^2$) a los 7 días de curado; se analizara los gráficos y la tabla indicada para justificar los resultados obtenidos:

F'C kg/cm ²	MÉTODO	RESIST. A LA COMP. PROM 7 DÍAS (kg/cm ²)	% respecto a la resistencia obtenida	RESIST. A LA COMP. PROM 28 DÍAS (kg/cm ²)	% respecto f'cr	a/c		Relación agregado fino/grueso
						diseño	efect.	
210	ACI	179.92	66.69%	269.78	91.76%	0.558	0.600	0.571
	WALKER	181.52	66.52%	272.86	92.81%	0.558	0.598	0.565
	MÓDULO DE FINEZA	163.12	64.14%	254.30	86.50%	0.558	0.601	0.622
	FÜLLER	194.62	68.31%	284.89	96.90%	0.549	0.589	0.566
	BOLOMEY	158.65	69.24%	229.13	77.93%	0.549	0.587	0.483
	FAURY	200.00	70.60%	283.28	96.35%	0.549	0.590	1.028
	O'REILLY	181.12	69.17%	261.84	89.06%	0.563	0.603	0.732
	PORRERO & GRASES	228.11	73.39%	310.82	105.72%	0.518	0.559	0.977

Cuadro 5.22. Resistencia a la compresión promedio de los 7 y 28 días para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Los diseños convencionales tienen unas resistencias promedio similares, siendo el mayor nuevamente el diseño de Walker, mientras que Modulo de Fineza es el menor de estos tres. Los racionales esta vez presentan una marcada menor relación a/c, lo que significaría una mayor resistencia de lo cual se tiene que los diseños de Füller y Faury superan a los convencionales lo cual es un beneficio para diseño de Faury por mejorar sus propiedades de proporcionamiento con respecto al diseño anterior; el diseño de Bolomey por presentar aún mucho agregado grueso en su mezcla se queda con una menor resistencia, ya que al momento de realizar la rotura de probetas, estas tenían el lugar de falla entre partículas de agregado grueso que no estaban correctamente adheridas por la pasta.

El diseño de O'Reilly esta vez tiene una resistencia menor, por la relación a/c más estable (similar a los convencionales) que presenta y su alta cantidad de finos en la mezcla, mientras que el diseño de Porrero & Grases se siguen manteniendo en una alta resistencia, siendo esta vez este diseño el que supera el $f'cr=294 \text{ kg/cm}^2$.

La resistencia a los 7 días de curado se presenta en un orden de 67% al 73% aproximadamente de la resistencia obtenida realmente en cada diseño, comprobando nuevamente que a mayor cantidad de cemento se obtendrá una mayor resistencia inicial.

5.2.1.2.3. RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

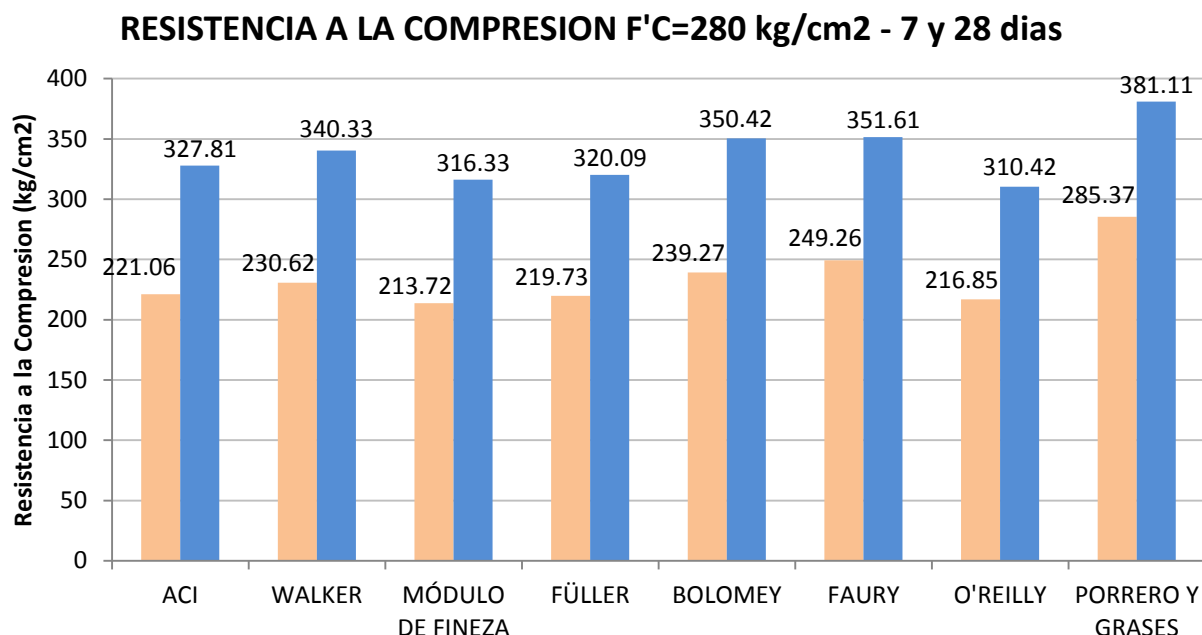


Fig. 5.18. Comparación de la Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días del $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

La reducción del factor agua/cemento ocasiona el incremento de la resistencia, la cual es requerida a continuación con un $f'c$ de 280 kg/cm^2 con el cual deberíamos obtener una $f'cr$ = de 364 kg/cm^2 a los 28 días de curado y de aproximadamente el 65% ($f'cr= 236.60 \text{ kg/cm}^2$) a los 7 días de curado; se analizara los gráficos y la tabla indicada para justificar los resultados obtenidos:

$f'c$ kg/cm^2	MÉTODO	RESIST. A LA COMP. PROM 7 DÍAS (kg/cm^2)	% respecto a la resistencia obtenida	RESIST. A LA COMP. PROM 28 DÍAS (kg/cm^2)	% respecto $f'cr$	a/c		Relación agregado fino/grueso
						diseño	efect	
280	ACI	221.06	67.44%	327.81	90.06%	0.466	0.498	0.519
	WALKER	230.62	67.76%	340.33	93.50%	0.466	0.497	0.491
	MÓDULO DE FINEZA	213.72	67.56%	316.33	86.90%	0.466	0.499	0.560
	FÜLLER	219.73	68.65%	320.09	87.94%	0.468	0.501	0.566
	BOLOMEY	239.27	68.28%	350.42	96.27%	0.468	0.500	0.508
	FAURY	249.26	70.89%	351.61	96.60%	0.468	0.500	0.842
	O'REILLY	216.85	69.86%	310.42	85.28%	0.502	0.533	0.732
	PORRERO & GRASES	285.37	74.88%	381.11	104.70%	0.419	0.448	0.977

Cuadro 5.23. Resistencia a la compresión promedio de los 7 y 28 días para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

En esta resistencia de 280 kg/cm^2 la mayoría de diseños tiene una relación a/c muy similar, con excepción de Porrero & Grases el cual es considerablemente menor, por lo que se procederá al análisis de las variables externas a estas. Entre los diseños de ACI y Modulo de Fineza se nota un acercamiento en sus resultados, mientras que el diseño de Walker el mayor a estos, con una relación de agregados menor.

Los diseños racionales a pesar de tener un ligero mayor valor de a/c, estas requieren una mayor cantidad de cemento resultando, por lo que Füller tiene una resistencia similar a la de Modulo de Fineza, mientras que Bolomey con una cantidad mayor de cemento y una menor pero mejor proporción entre agregados obtiene con una mezcla más homogénea y manejable su verdadera resistencia,

El diseño de Faury al tener una relación de a/c similar a los demás diseños, pero usando una considerable mayor cantidad de cemento, logra que sus resultados de la prueba de compresión sean altas, sin embargo se esperaba una mejor resistencia con lo que podemos concluir que la relación de agregados de Faury es un tanto alta, lo que no deja obtener una resistencia mayor, ya que si aumenta esta relación reducirá la resistencia, por tanto hay un intervalo de proporción de agregados adecuado para obtener la resistencia requerida sin que llegue a ser innecesaria y provocar mayores gastos.

El diseño de O'Reilly esta vez presenta una alta relación a/c con relación a los demás diseños de mezcla, generando la más baja resistencia sin embargo este valor no se encuentra tan lejano debido a la cantidad alta de cemento que requiere el diseño.

Porrero & Grases en esta resistencia es el diseño que más cemento requiere con muy poca cantidad de agua para hidratar, mostrando un valor a/c muy por debajo de los otros diseños y donde los resultados muestran una alta resistencia superando ampliamente a la requerida a pesar de tener una proporción de agregados muy alta, cabe recalcar que la producción de esta mezcla también resulto ser de mayor energía en el momento de la compactación por su poca trabajabilidad.

Respecto a los resultados obtenidos a los 7 días de curado se nota que van en un orden de 68% al 75% de cada resistencia real de los métodos, siendo marcadamente mayor el diseño de Porrero & Grases quien lleva también la mayor cantidad de cemento lo que confirma la suposición que a mayor cantidad de cemento se tendrá mayor resistencia a la compresión inicial.

5.2.1.2.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO

A continuación se mostrara gráficos de la resistencias promedios obtenida den los diferentes métodos enfrentadas con el tiempo de las probetas en el proceso de curado a los 7 y 28 días, para analizar las situaciones y poder obtener conclusiones de sus comportamientos.

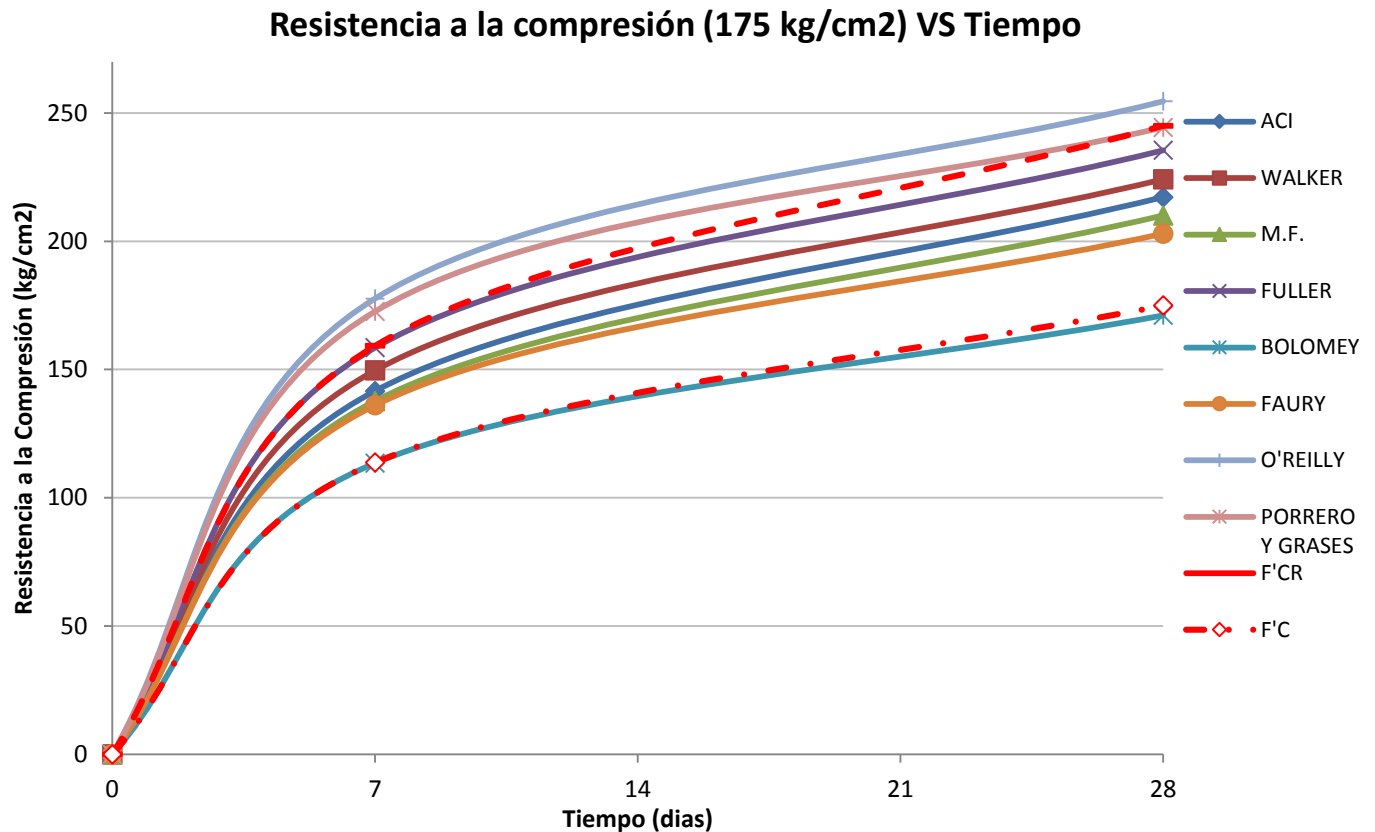


Fig. 5.19. Resistencia a la Compresión VS Tiempo para una resistencia $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$

A partir del análisis realizado a cada resistencia este grafico nos ayudara a tener una vista general de los resultados promedio que se obtuvo tras el ensayo de resistencia a la compresión de lo que podemos decir lo siguiente:

Los diseños de O'Reilly y Porrero & Grases llegan a la resistencia requerida f'_{cr} , seguido por el diseño de Füller quien no llega a la resistencia requerida pero es cercanos a esta; mas alejados tenemos a los diseños de Walker, ACI, Modulo de Fineza y finalmente al diseño de Faury siendo con una resistencia promedio de mayor a menor respectivamente, todos estos diseños llegan a superaran a la resistencia f'_c . Finalmente podemos mencionar al diseño de Bolomey que en su resistencia a los 28 días, no llega a cumplir ni con la resistencia f'_c , siendo el diseño más desfavorable para usar cuando se trata de bajas resistencias.

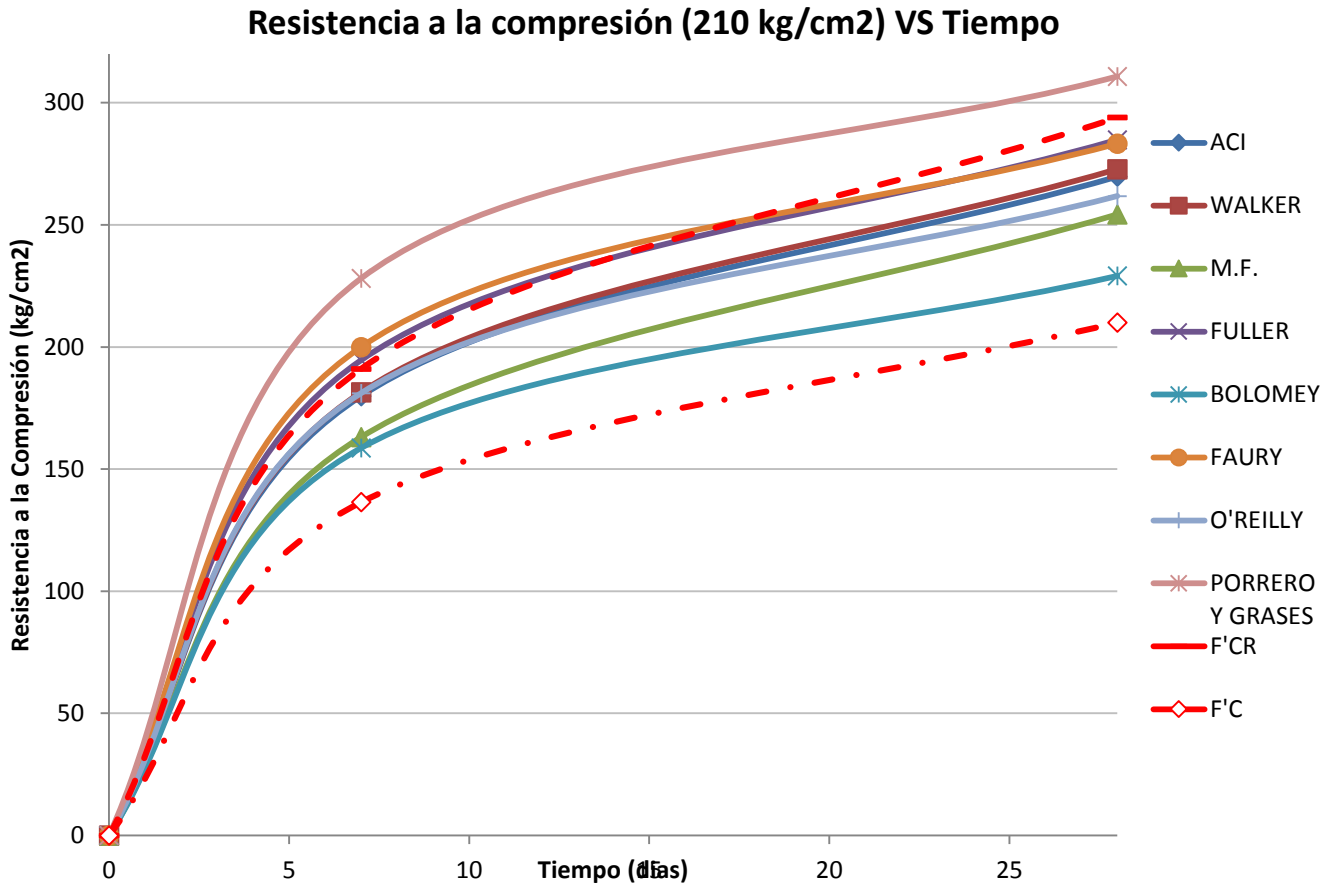


Fig. 5.20. Resistencia a la Compresión VS Tiempo para una resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

En esta ocasión el diseño de Porrero & Grases tienen una notable mayor resistencia que el resto de diseños, superando a la resistencia de f'_{cr} , seguido por los diseños de Füller y Faury superando a los diseños convencionales con una buena tendencia de comportamiento. Los diseños Walker y ACI esta vez se encuentran cercanos entre sí, mientras que el diseño de Modulo de Fineza se encuentra por debajo de estos. El diseño de O'Reilly se reduce el buen comportamiento que presento en resistencias bajas ya que ahora presenta una resistencia promedio entre los diseños convencionales.

En cuanto al diseño de Bolomey tiene un mejor comportamiento con respecto a la resistencia anterior, siendo aún menor al resto de los diseños, sin embargo esta vez si llega a superar al menos a la resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

La resistencia a la compresión a los 7 días es proporcional a la resistencia obtenida a los 28 días, con una tendencia a que cuando haya mayor cantidad de cemento, la resistencia inicial tendrá un porcentaje mayor siendo este dentro de un rango del 65 al 70% aproximadamente para los diseños en general.

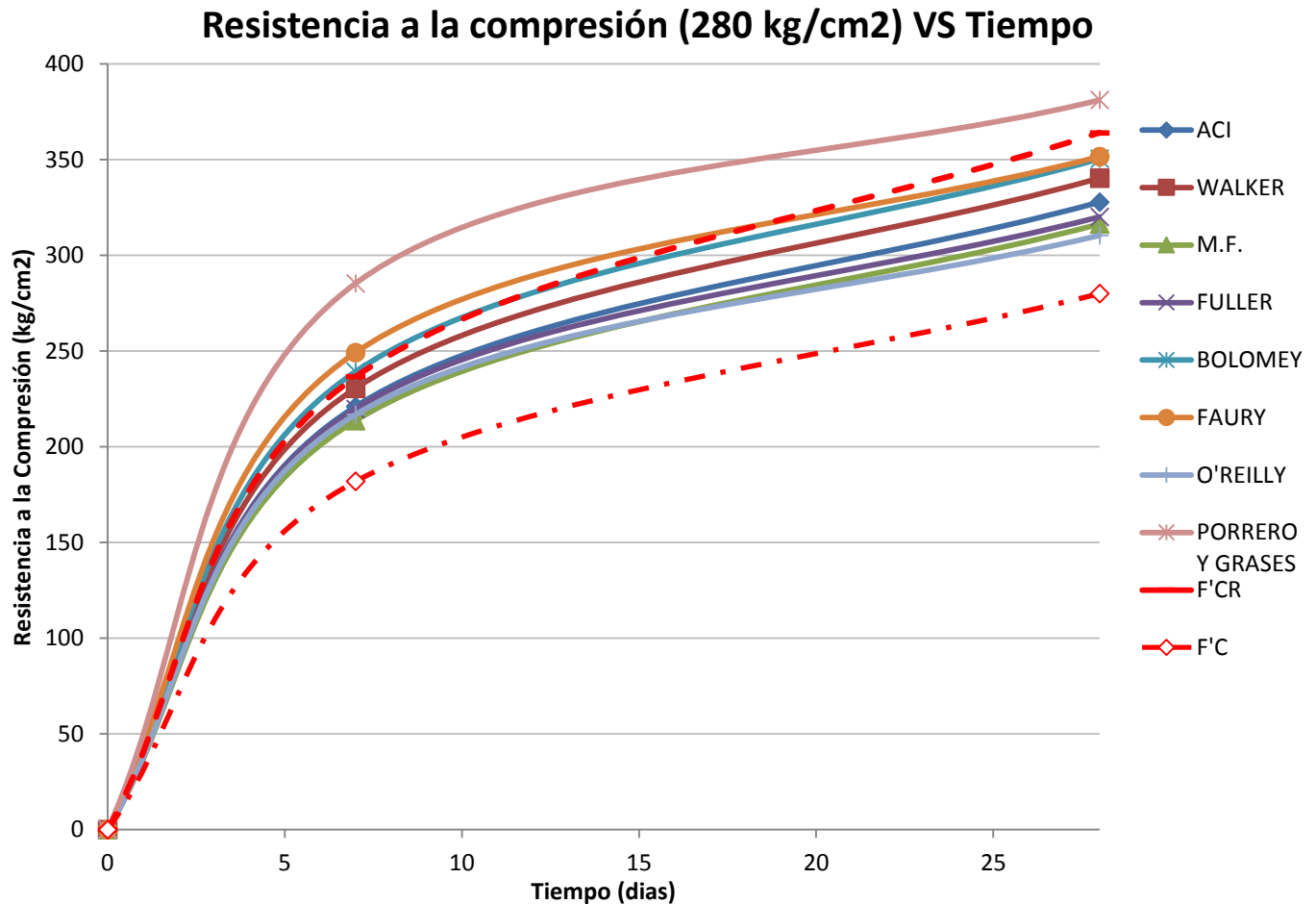


Fig. 5.21. Resistencia a la Compresión VS Tiempo para una resistencia $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Se nota en la gráfica un comportamiento más similar entre los diseños, acortándose la diferencia de los resultados entre estos, sin embargo se puede rescatar lo siguiente:

El diseño de Porrero & Grases supera nuevamente a la resistencia f'_{cr} debido a su alto contenido de cemento, seguido por el diseño de Faury y Bolomey quienes no superan la resistencia f'_{cr} . El siguiente diseño con mayor resistencia es Walker y ACI, mientras que el resto tiene resultados más ajustados, siendo el diseño de O'Reilly el de menor resistencia.

Los diseños de Füller y Bolomey esta vez tiene una mejor comportamiento superando a los diseños de convencionales de ACI, Walker y Modulo de Fineza, quienes están en un valor más lejano que el requerido, en esta ocasión el diseño de Walker es el diseño que menos resistencia a la compresión tiene no llegando a la resistencia f'_{cr} pero si superando ampliamente a la requerida en la mezcla de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

5.2.2. PESO UNITARIO

Se podrá determinar el peso de la mezcla en estado endurecido por m³ de concreto (densidad). El cálculo del peso unitario se encuentra también en las normas que rigen los procedimientos para el ensayo de resistencia a la compresión.

PROCEDIMIENTO

- Con la ayuda de una balanza se pesara cada probeta antes de ser ensayada a compresión
- Al haber obtenido el diámetro y longitud promedio de cada probeta antes de su rotura, se podrá calcular su volumen aproximado.

CALCULO

$$P.U. = \frac{W_{prob}}{V_{prob}}$$

Dónde:

P.U. (kg/m³) = Peso unitario de la mezcla en estado endurecido

W_{prob} (kg) = Peso de la probeta de concreto en estado endurecido

V_{prob} (m³) = Volumen de la probeta de concreto

Para el cálculo del peso unitario del concreto endurecido se tuvo un universo de 15 probetas por cada diseño y resistencia requerida, los cuales se escogieron de la edad de 28 días por buscar la homogeneidad del estado interno de las probetas, ya que se tenía una tolerancia de tiempo de 20 horas, que se usaban para sacar las probetas del pozo de curado y tengan una estabilidad en su peso.

En obra el peso unitario del concreto endurecido puede variar respecto a su peso unitario calculado en la mezcla, conforme lo define el ASTM C94 “Debe comprenderse que el volumen de concreto endurecido puede ser, o parecer menor que el esperado, debido a las pérdidas y desperdicios, sobre-excavaciones, expansión de los encofrados, alguna pérdida de aire incorporado y acomodación (asentamiento) de las mezclas húmedas, ninguna de las cuales es responsabilidad del productor”¹³⁰

¹³⁰ (ASTM C94)

RESULTADOS

A continuación se presentan un cuadro resumen de los resultados obtenido de la prueba de peso unitario de probetas de concreto de 10x20cm en sus resistencias de 175, 210 y 280 kg/cm², se realizó 15 pruebas para cada método y resistencia requerida. Los datos y formulas necesarias para obtener estos resultados se encuentran en el final de esta investigación en la sección de anexos.

Después del control estadístico en la resistencia a la compresión se descartó probetas que superaban o estaban debajo del rango de variación, por lo que en este ensayo dichas probetas tampoco se contaron generando la siguiente tabla de resultados corregidos.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	Peso Unitario (kg/m ³)	Peso Unitario Corregido (kg/m ³)
175	ACI	2174.42	2172.49
	WALKER	2166.83	2163.42
	MÓDULO DE FINEZA	2176.81	2174.69
	FÜLLER	2276.65	2276.79
	BOLOMEY	2302.70	2301.68
	FAURY	2071.91	2072.19
	O'REILLY	2143.35	2146.87
	PORRERO & GRASES	2167.38	2166.07
210	ACI	2181.75	2178.19
	WALKER	2183.79	2182.07
	MÓDULO DE FINEZA	2183.84	2184.51
	FÜLLER	2274.04	2275.08
	BOLOMEY	2296.90	2296.93
	FAURY	2135.96	2132.52
	O'REILLY	2133.29	2139.95
	PORRERO & GRASES	2156.65	2153.35
280	ACI	2196.81	2195.95
	WALKER	2213.80	2212.71
	MÓDULO DE FINEZA	2204.02	2204.89
	FÜLLER	2260.12	2260.12
	BOLOMEY	2279.19	2281.26
	FAURY	2150.03	2150.49
	O'REILLY	2121.42	2121.70
	PORRERO & GRASES	2126.66	2126.80

Cuadro 5.24. Cuadro resumen del Peso Unitario corregido de cada método y resistencia requerida.

5.2.2.1. PESO UNITARIO PROMEDIO $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

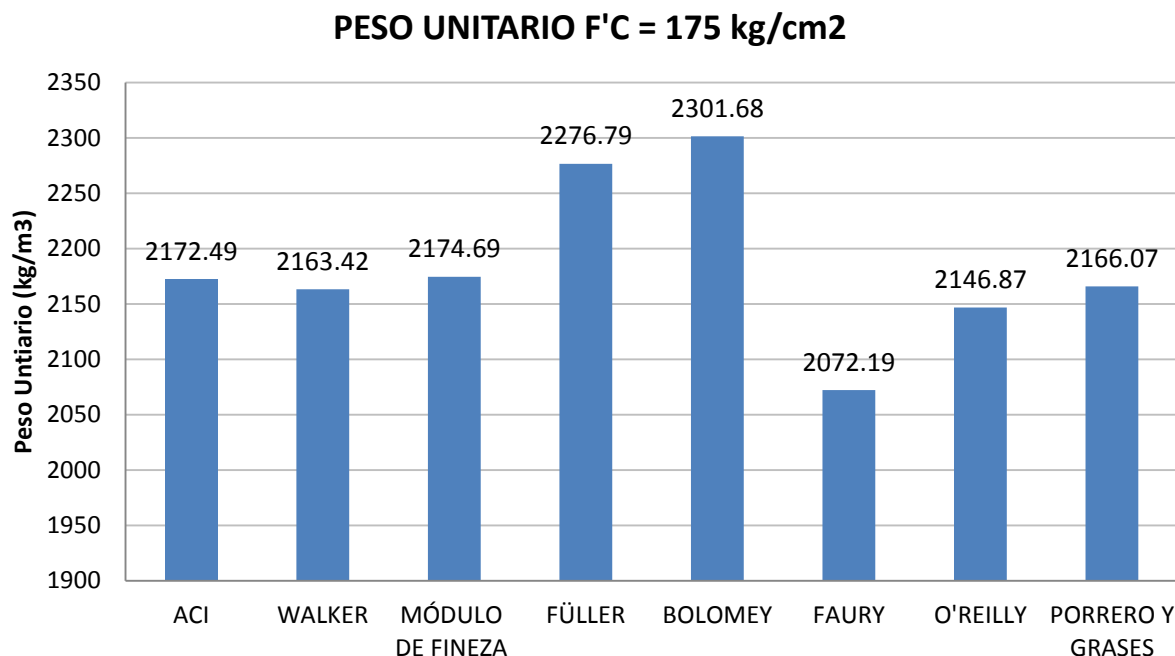


Fig. 5.22. Comparación del Peso Unitario del concreto endurecido con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

F'C kg/cm ²	MÉTODO	Peso Unitario (kg/m ³)	a/c		Cantidad de cemento	P.U. de la mezcla (kg/m ³)	% respecto al P.U. de la mezcla
			diseño	efect			
175	ACI	2172.49	0.628	0.676	307.32	2259.10	-3.83%
	WALKER	2163.42	0.628	0.675	313.69	2251.10	-3.89%
	MÓDULO DE FINEZA	2174.69	0.628	0.677	307.32	2262.29	-3.87%
	FÜLLER	2276.79	0.624	0.671	318.56	2362.19	-3.62%
	BOLOMEY	2301.68	0.624	0.668	318.56	2390.43	-3.71%
	FAURY	2072.19	0.624	0.675	338.47	2157.38	-3.95%
	O'REILLY	2146.87	0.610	0.655	336.98	2220.48	-3.32%
	PORRERO & GRASES	2166.07	0.603	0.655	328.13	2242.33	-3.40%

Cuadro 5.25. Peso Unitario promedio del concreto endurecido para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

El peso unitario del concreto sigue relativamente la tendencia del peso unitario de la mezcla fresca calculado anteriormente, con la ligera diferencia negativa de peso, es decir un peso menor cuando la mezcla está en estado endurecido comparándolo cuando la mezcla se encuentra en estado fresco y manejable.

La diferencia de peso unitario que se produce en los diferentes diseños está en un rango aproximado del 3.5% al 4.0%, siendo los concretos de O'Reilly y Porrero & Grases los que se diferencian marcadamente del resto por tener una menor diferencia con el peso unitario de la mezcla, estos coinciden también con la relación a/c de los diseños, por lo que se puede especular una relación entre estos valores.

5.2.2.2. PESO UNITARIO PROMEDIO $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

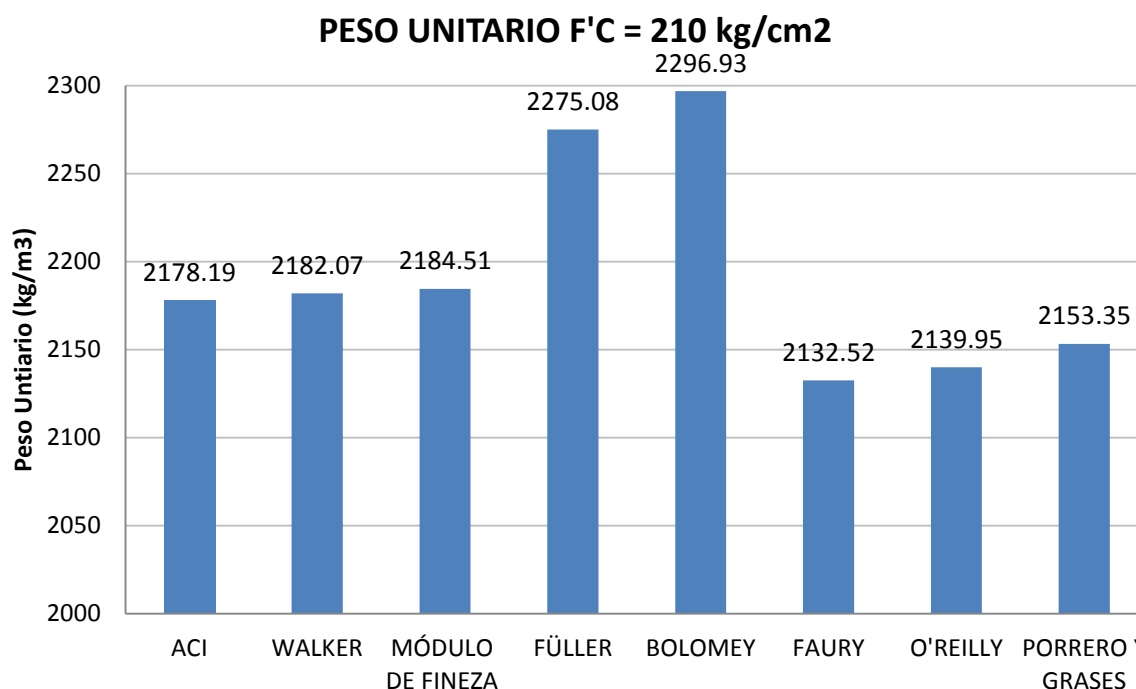


Fig. 5.23. Comparación del Peso Unitario del concreto endurecido con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

F'C kg/cm ²	MÉTODO	Peso Unitario (kg/m ³)	a/c		Cantidad de cemento	P.U. de la mezcla (kg/m ³)	% respecto al P.U. de la mezcla
			diseño	efect			
210	ACI	2178.19	0.558	0.600	345.63	2260.38	-3.64%
	WALKER	2182.07	0.558	0.598	352.79	2258.43	-3.38%
	MÓDULO DE FINEZA	2184.51	0.558	0.601	345.63	2265.19	-3.56%
	FÜLLER	2275.08	0.549	0.589	362.39	2351.67	-3.26%
	BOLOMEY	2296.93	0.549	0.587	362.39	2375.48	-3.31%
	FAURY	2132.52	0.549	0.590	385.04	2209.14	-3.47%
	O'REILLY	2139.95	0.563	0.603	374.12	2214.48	-3.37%
	PORRERO & GRASES	2153.35	0.518	0.559	399.18	2217.90	-2.91%

Cuadro 5.26. Peso Unitario promedio del concreto endurecido para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Aun se sigue la tendencia del peso unitario del concreto con respecto al peso unitario de la mezcla fresca calculado anteriormente, sin embargo la diferencia entre estos resultados se acorta con respecto a la resistencia anterior teniendo esta vez un rango aproximado del 2.9% al 3.70%, siendo los diseños convencionales los que tiene una mayor diferencia de resultados seguido por los diseños racionales a los que se suma O'Reilly con un ligero menor porcentaje que los diseños convencionales, y finalmente con la menor diferencia de se tiene al diseño de Porrero & Grases, estos resultados se puede observar que coinciden con la relación a/c de los diseños.

5.2.2.3. PESO UNITARIO PROMEDIO $F'C=280 \text{ kg/cm}^2$

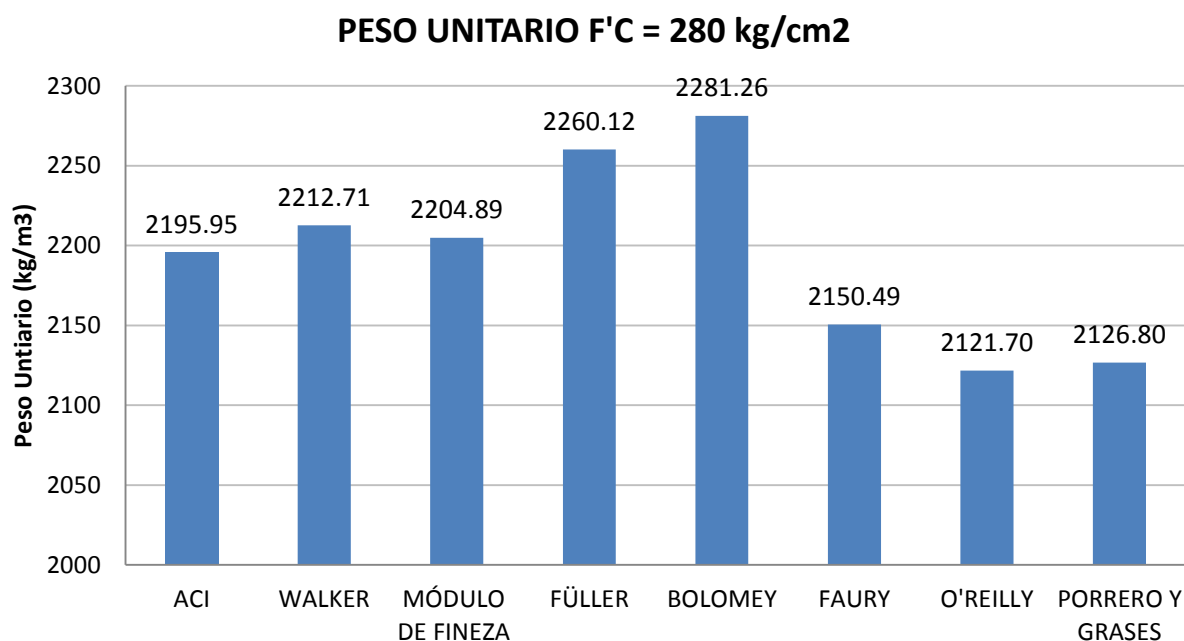


Fig. 5.24. Comparación del Peso Unitario del concreto endurecido con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

F'C kg/cm ²	MÉTODO	Peso Unitario (kg/m ³)	a/c		Cantidad de cemento	P.U. de la mezcla (kg/m ³)	% respecto al P.U. de la mezcla
			Diseño	Real			
280	ACI	2195.95	0.466	0.498	414.16	2264.14	-3.01%
	WALKER	2212.71	0.466	0.497	422.75	2274.86	-2.73%
	MÓDULO DE FINEZA	2204.89	0.466	0.499	414.16	2271.81	-2.95%
	FÜLLER	2260.12	0.468	0.501	425.01	2330.38	-3.02%
	BOLOMEY	2281.26	0.468	0.500	425.01	2348.76	-2.87%
	FAURY	2150.49	0.468	0.500	451.57	2218.33	-3.06%
	O'REILLY	2121.70	0.502	0.533	447.91	2195.81	-3.37%
	PORRERO & GRASES	2126.80	0.419	0.448	525.51	2176.33	-2.28%

Cuadro 5.27. Peso Unitario promedio del concreto endurecido para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Se cumple aun la tendencia del peso unitario del concreto con respecto al peso unitario de la mezcla fresca calculado anteriormente, esta vez los diseños convencionales y racionales tiene resultados más similares con respecto al porcentaje de reducción de peso unitario, sin embargo existen dos diseños que sobresalen sobre los demás, el diseño de O'Reilly tiene el mayor porcentaje de variación mientras que el diseño de Porrero & Grases tiene el menor valor comparándolo con los demás diseños, que estos resultados coinciden con la mayor y menor relación a/c respectivamente, esta vez el rango aproximado de los resultados va desde 2.3% al 3.0%.

En conclusión se puede decir que: los valores del peso unitario del concreto en estado endurecido tienen la misma tendencia que el peso unitario en estado fresco, debiendo estos tener el mismo valor, sin embargo se presenta un ligero menor peso de todos los concretos cuando empiezan a endurecer, esta variación de peso se nota que está en proporción al valor de relación a/c.

La reducción de peso se puede deber a un mal proceso de mezcla que resulta en la exudación del concreto o debido dos principales factores naturales: contracción por fraguado y contracción por secado de la mezcla endurecida. El primero de ellos en una menor influencia se da como consecuencia de las reacciones que se producen entre agua y el cemento, resultando en una mezcla con un volumen menor que la suma de los dos componentes por separado. En cuanto a la contracción por secado y siendo de mayor influencia en los resultados se da tras el proceso de evaporación del agua que quedo retenida en los poros capilares del concreto¹³¹. Por lo que a mayor relación a/c, es decir una mayor agua sobrante que no se usó en la hidratación del cemento, provocara un menor peso unitario cuando se encuentre en estado endurecido.

5.2.3. EFICIENCIA

La eficiencia es una característica del concreto que se puede hallar tras la rotura de probetas a compresión realizadas bajo condiciones estándares según las normas respectivas.

El valor que se obtiene da a entender la calidad del diseño de mezcla propuesto y que un valor más alto, indica que usar menos cemento produce una mayor resistencia a la compresión, debido a múltiples factores como la proporción de los componentes, relación a/c etc.

CALCULO

$$Eficiencia = \frac{Resistencia\ a\ la\ compresion\ (kg/cm^2)}{Contenido\ de\ cemento\ (kg/m^3\ de\ mezcla)}$$

¹³¹ (Barreda, 2009, pág. 105)

RESULTADOS

La eficiencia es una característica del concreto que se puede hallar tras la rotura de probetas a compresión realizadas bajo condiciones estándares según las normas respectivas.

F'C (kg/cm ²)	MÉTODO	Resist. a la compr. Prom 28 días (kg/cm ²)	Cantidad de cimento	EFICIENCIA
175	ACI	217.23	307.32	0.707
	WALKER	224.18	313.69	0.715
	MÓDULO DE FINEZA	210.09	307.32	0.684
	FÜLLER	235.48	318.56	0.739
	BOLOMEY	171.12	318.56	0.537
	FAURY	202.97	338.47	0.600
	O'REILLY	254.57	336.98	0.755
	PORRERO & GRASES	244.42	328.13	0.745
210	ACI	269.78	345.63	0.781
	WALKER	272.86	352.79	0.773
	MÓDULO DE FINEZA	254.30	345.63	0.736
	FÜLLER	284.89	362.39	0.786
	BOLOMEY	229.13	362.39	0.632
	FAURY	283.28	385.04	0.736
	O'REILLY	261.84	374.12	0.700
	PORRERO & GRASES	310.82	399.18	0.779
280	ACI	327.81	414.16	0.791
	WALKER	340.33	422.75	0.805
	MÓDULO DE FINEZA	316.33	414.16	0.764
	FÜLLER	320.09	425.01	0.753
	BOLOMEY	350.42	425.01	0.824
	FAURY	351.61	451.57	0.779
	O'REILLY	310.42	447.91	0.693
	PORRERO & GRASES	381.11	525.51	0.725

Cuadro 5.28. Cuadro resumen de la Eficiencia de cada método y resistencia requerida.

5.2.3.1. EFICIENCIA $F'C=175 \text{ kg/cm}^2$

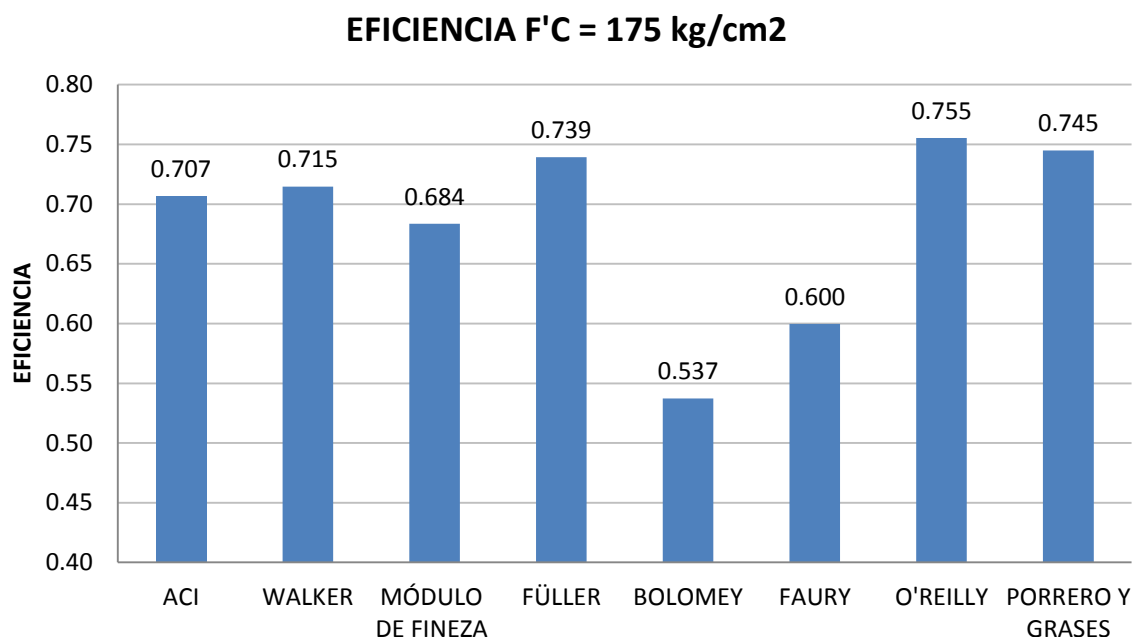


Fig. 5.25. Comparación Eficiencia del concreto con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Los diseños convencionales de ACI, Walker y Modulo de fineza al tener una proporción equilibrada de componentes lo que hace que su eficiencia este dentro de un pequeño rango siendo Modulo de Fineza el menor eficiencia por su menor resistencia a la compresión. Con respecto a los diseños racionales se tiene a Füller con una eficiencia superior a las convencionales, sin embargo los diseños de Bolomey y Faury a pesar de requerir más cemento resultan en una muy baja eficiencia siendo el Bolomey el menor de todos los diseños. Hay que recalcar la situación de Faury, que es un diseño que inicialmente requiere la mayor cantidad de cemento en comparación a los otros diseños sin embargo por la proporción de sus agregados su resistencia no se llega a la esperada con un eficiencia menor a la mayoría de diseños.

Por el Contario el diseño de O'Reilly requiere más cemento pero tiene unos resultados mejores que los otros diseños, siendo el más eficiente si se determina bajo esta consideración, este diseño es seguido por Porrero & Grases, quien también recibe una alta cantidad de cemento y tiene una eficiencia ligeramente inferior a O'Reilly.

5.2.3.2. EFICIENCIA $F'C=210 \text{ kg/cm}^2$

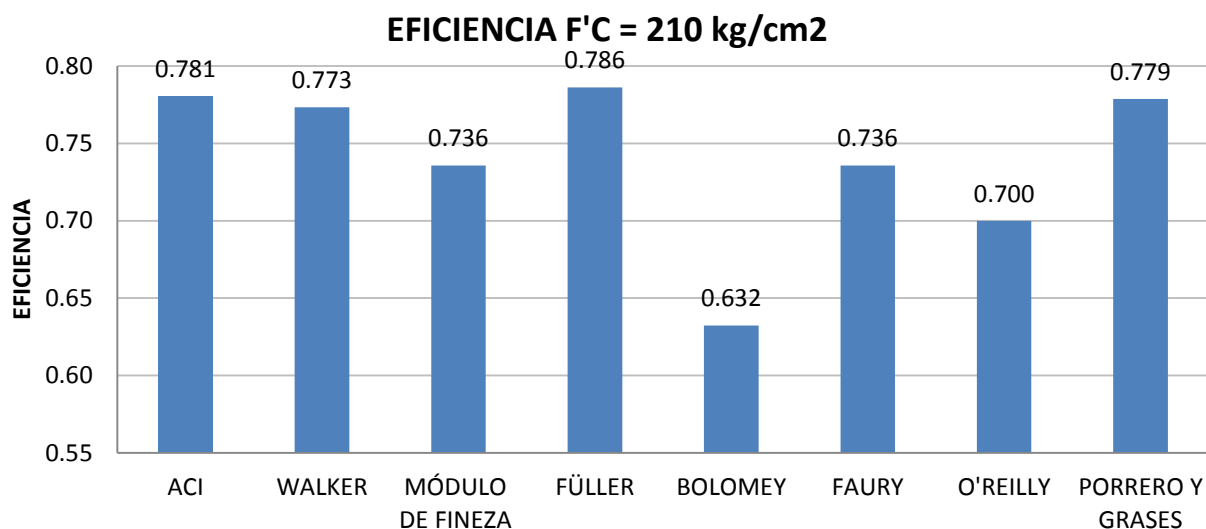


Fig. 5.26. Comparación Eficiencia del concreto con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Con respecto a los diseños convencionales se puede notar que ACI tiene el mejor rendimiento seguido por Walker y muy por debajo por el diseño de Módulo de Fineza. En comparación con los diseños racionales nuevamente se presenta la misma tendencia sin embargo la eficiencia del diseño de Füller que es la mayor en general está más ajustada a la de ACI, seguida por Faury que presenta una mejor eficiencia llegando alcanzar a los diseños convencionales mientras que Bolomey sigue con un valor alejado del resto.

5.2.3.3. EFICIENCIA $F'C=280 \text{ kg/cm}^2$

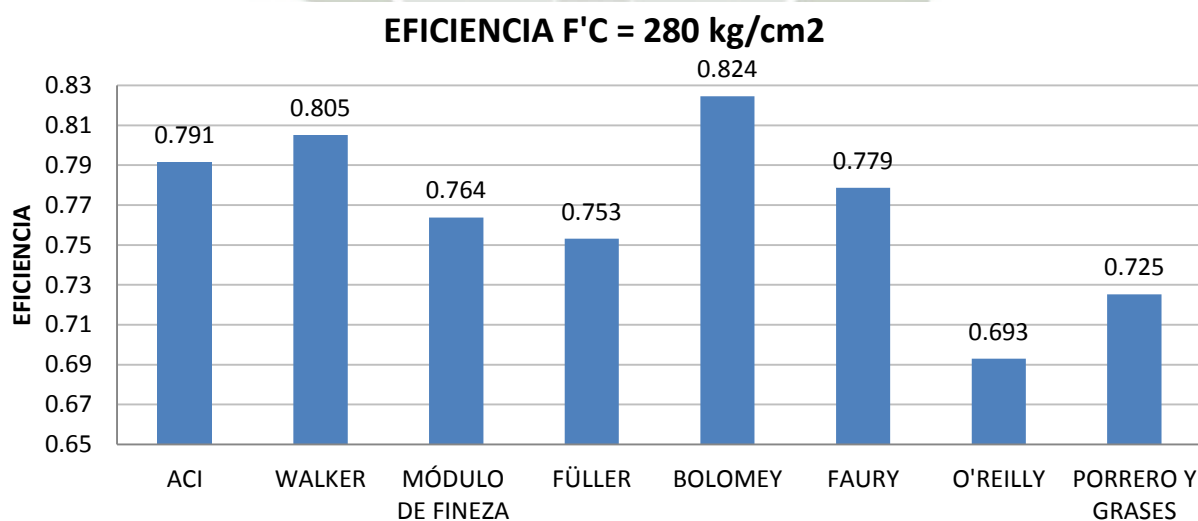


Fig. 5.27. Comparación Eficiencia del concreto con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando solo los diseños convencionales, se obtiene que Walker nuevamente es el diseño más eficiente seguido de cerca por ACI, sin embargo si tenemos una vista general de la gráfica podemos ver que Bolomey es el que tiene la mayor eficiencia de todos los diseños, con una amplia diferencia de los diseños de Füller y Faury, de estos se puede decir que Füller reduce considerablemente su eficiencia mientras Faury la aumenta. O'Reilly sigue la tendencia de tener cada vez una menor eficiencia, siendo esta vez el más deficiente de todos; otro caso particular es el de Porrero & Grases el cual presenta una condición contraria a la que venía mostrando, ya que ahora es uno de los más deficientes a pesar de que su resistencia supera a la requerida $f'_{cr} = 364 \text{ kg/cm}^2$.

En conclusión se puede decir que, el alto contenido de cemento no siempre va a significar una mayor resistencia a la compresión, ya que hay más factores que influyen en esta resistencia del concreto, como el proporcionamiento de los agregados, cantidad de agua, las características físicas de los componentes, tipo y calidad de mezclado y compactado entre otros; por lo que la eficiencia nos da una referencia de la calidad del concreto respecto a la cantidad de cemento que se utiliza en cada diseño de mezcla.

5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

A continuación se presentan unos gráficos comparativos entre los resultados obtenidos en los diversos ensayos realizados, con la intención de descubrir la tendencia de las propiedades en cada diseño a lo largo de sus resistencias f'_c 175, 210, 280 kg/cm^2 .

5.3.1. ANÁLISIS DEL ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO

El asentamiento es una propiedad del concreto que sirve como indicador de su trabajabilidad y consistencia, factor que depende principalmente de los componentes que integran el concreto, entre ellos el contenido de aire atrapado que se forma por el ordenamiento de las partículas, modo de compactación y otros factores externos, y que si bien no está en gran proporción dentro de la mezcla con un porcentaje del 1%-3% del total de los componentes, este provoca una reacción en el asentamiento el cual se analizará más adelante.

El peso unitario de la mezcla del concreto se determina a partir de la dosificación de los materiales los cuales dependen mucho de su densidad y calidad para obtener un peso unitario aceptable, entre los componentes nuevamente se puede hacer mención del contenido de aire, el cual tendrá una intervención en los resultados obtenidos; también el asentamiento tendrá una influencia en el peso

unitario ya que para realizar la prueba se necesitó trabajar con la mezcla en un recipiente y ser compactado, con lo que con un concreto de buena calidad de asentamiento se lograría obtener mejores resultados que con un concreto seco y poco manejable.

A continuación se mostrara una tabla resumen de los datos obtenidos de las pruebas antes mencionadas para realizar un análisis comparativo y obtener conclusiones sobre estas.

F'C (kg/cm²)	MÉTODO	ASENTAMIENTO (plg)	CONTENIDO DE AIRE (%)	PESO UNITARIO (kg/m³)
175	ACI	4.03	1.75	2259.10
	WALKER	4.13	1.73	2251.10
	MÓDULO DE FINEZA	4.30	1.97	2262.29
	FÜLLER	3.60	1.62	2362.19
	BOLOMEY	4.80	1.38	2390.43
	FAURY	2.93	2.53	2157.38
	O'REILLY	3.40	2.00	2220.48
	PORRERO & GRASES	3.43	2.17	2242.33
210	ACI	3.53	1.60	2260.38
	WALKER	3.47	1.57	2258.43
	MÓDULO DE FINEZA	3.73	1.78	2265.19
	FÜLLER	3.27	1.52	2351.67
	BOLOMEY	3.97	1.35	2375.48
	FAURY	2.73	2.25	2209.14
	O'REILLY	3.35	1.88	2214.48
	PORRERO & GRASES	2.87	2.03	2217.90
280	ACI	2.47	1.37	2264.14
	WALKER	2.33	1.17	2274.86
	MÓDULO DE FINEZA	2.72	1.52	2271.81
	FÜLLER	2.80	1.42	2330.38
	BOLOMEY	2.32	1.28	2348.76
	FAURY	2.57	1.82	2218.33
	O'REILLY	3.22	1.63	2195.81
	PORRERO & GRASES	2.03	1.83	2176.33

Cuadro 5.29. Cuadro comparativo del Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario

Anteriormente ya se hizo el análisis particular e individual del asentamiento, contenido de aire y peso unitario para los diversos diseños de mezcla y resistencias requeridas, por lo que ahora solo se procederá a dar notas puntuales y generales sobre la relación entre estas tres propiedades.

5.3.1.1 ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO - 175 kg/cm²

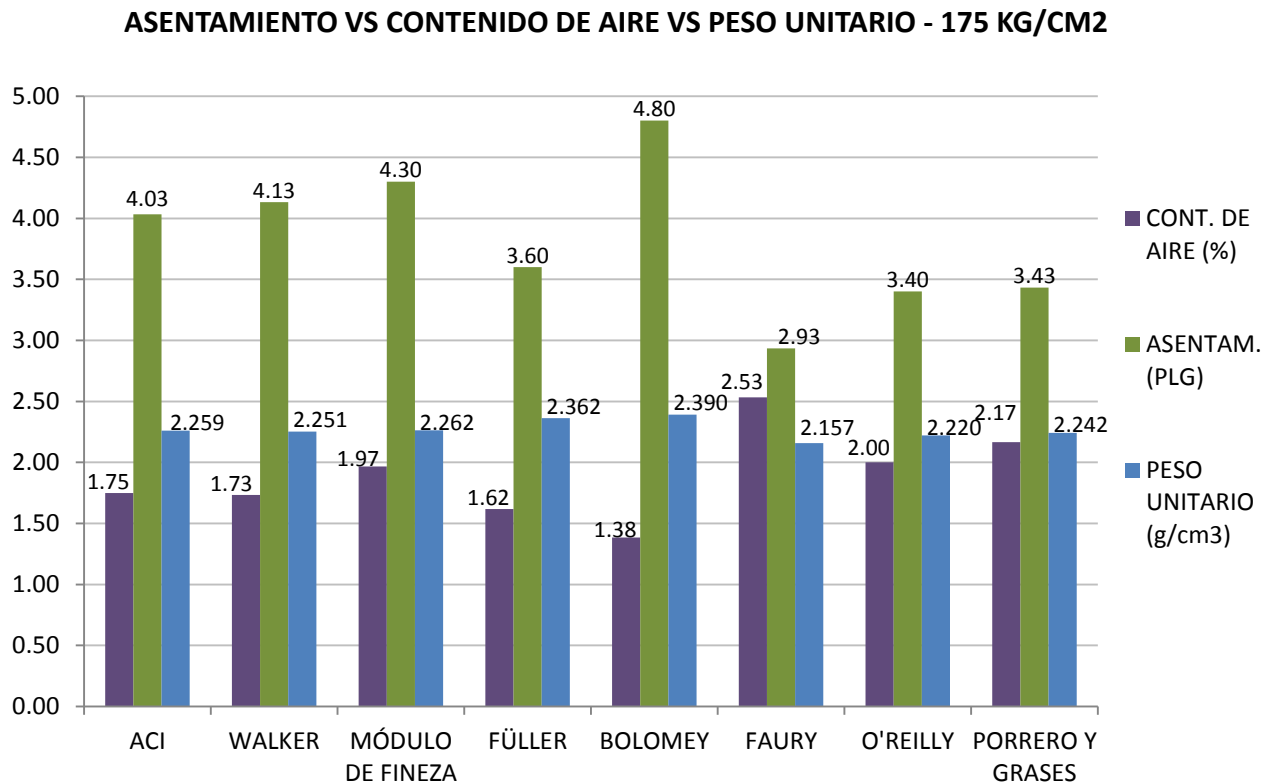


Fig. 5.28. Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

En una vista general de la tabla anterior se puede hacer la siguiente conclusión: a mayor asentamiento del concreto en estado fresco, se tendrá una mayor cantidad de aire y mayor peso unitario de la mezcla, ya que el mayor asentamiento obtenido por los diseños convencionales, racionales y prácticos coinciden la menor cantidad de aire en el menor asentamiento, sin embargo existen dos diseños que no cumplen con esta regla siendo Bolomey con la menor cantidad de contenido de aire y mayor asentamiento y Faury con la situación contraria, sin embargo estos dos diseños de Bolomey y Faury presentan características diferentes al resto, por tener una apariencia pedregosa y muy pastosa respectivamente por la proporción de sus agregados siendo el primero con una cantidad mucho mayor de agregado grueso que fino y en viceversa con el otro diseño de Faury.

Por tanto si bien el aire atrapado en un porcentaje alto no ayuda a la resistencia del concreto debido a que las burbujas de aire son más grandes y desproporcionadas que las del aire incorporado, un contenido regulado de aire ayuda en la trabajabilidad del concreto y calidad del peso unitario, funcionando estas también en proporcional con el asentamiento.

5.3.1.2 ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO - 210 kg/cm²

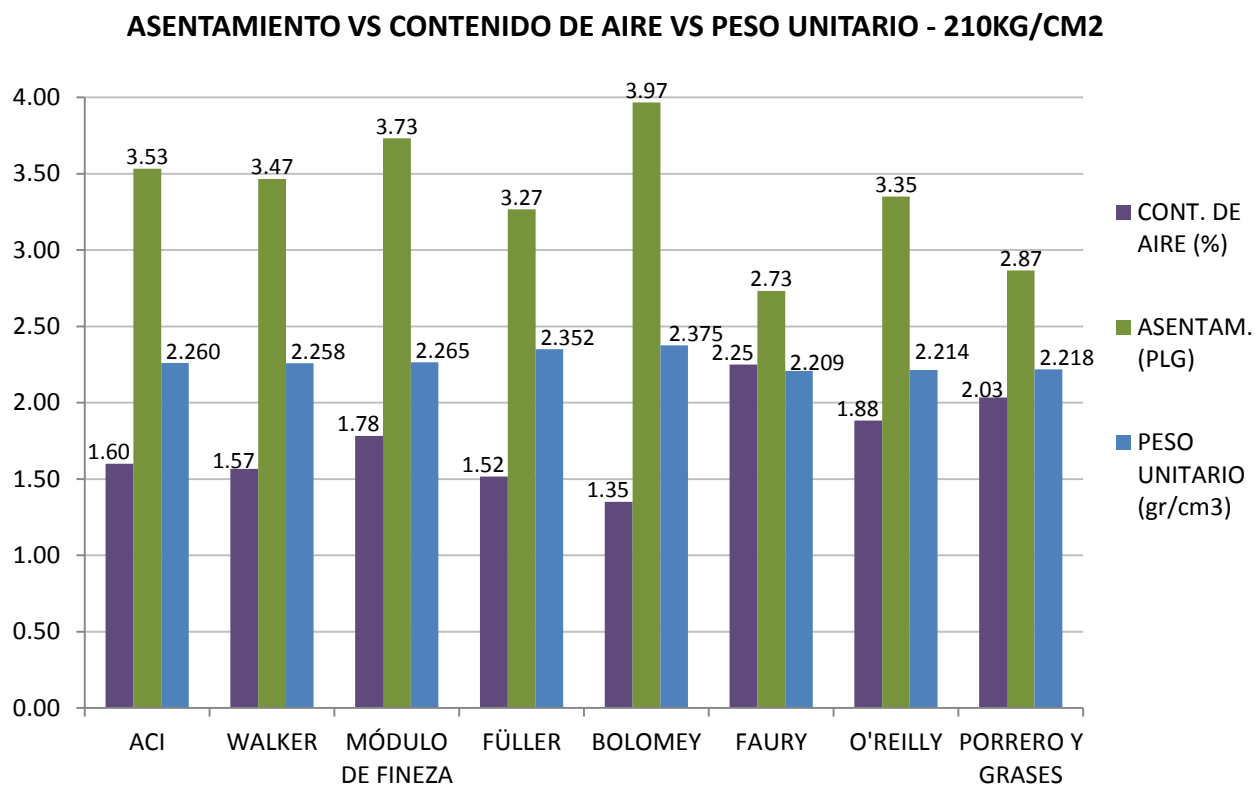


Fig. 5.29. Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario para un $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

En esta ocasión aún se mantiene la tendencia de que a mayor asentamiento, se tendrá un mayor contenido de aire atrapado y por tanto un mayor peso unitario; coincidiendo nuevamente todos los diseños con esta norma a excepción de Bolomey y Faury que aun siguen presentando mezclas difíciles de trabajar.

En esta resistencia el diseño de Faury sufre un cambio brusco en su proporcionamiento de componentes y por tanto también en los resultados obtenidos de su mezcla en estado fresco, resultando en unos valores cercano a los del diseño de Porrero & Grases, diseño que también presenta una alta cantidad de fino, en este caso el diseño de O'Reilly y Porrero & Grases no comparten las misma características de la resistencia anterior.

En esta resistencia los diseños de ACI, Walker, Modulo de Fineza y Füller tienen resultados más cercanos entre si manteniendo una relación proporcional de asentamiento/contenido de aire/peso unitario en las diferentes propiedades del concreto, debido que el proporcionamiento entre estos no están tan radical como en los otros diseños.

5.3.1.3 ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE VS PESO UNITARIO - 280 kg/cm²

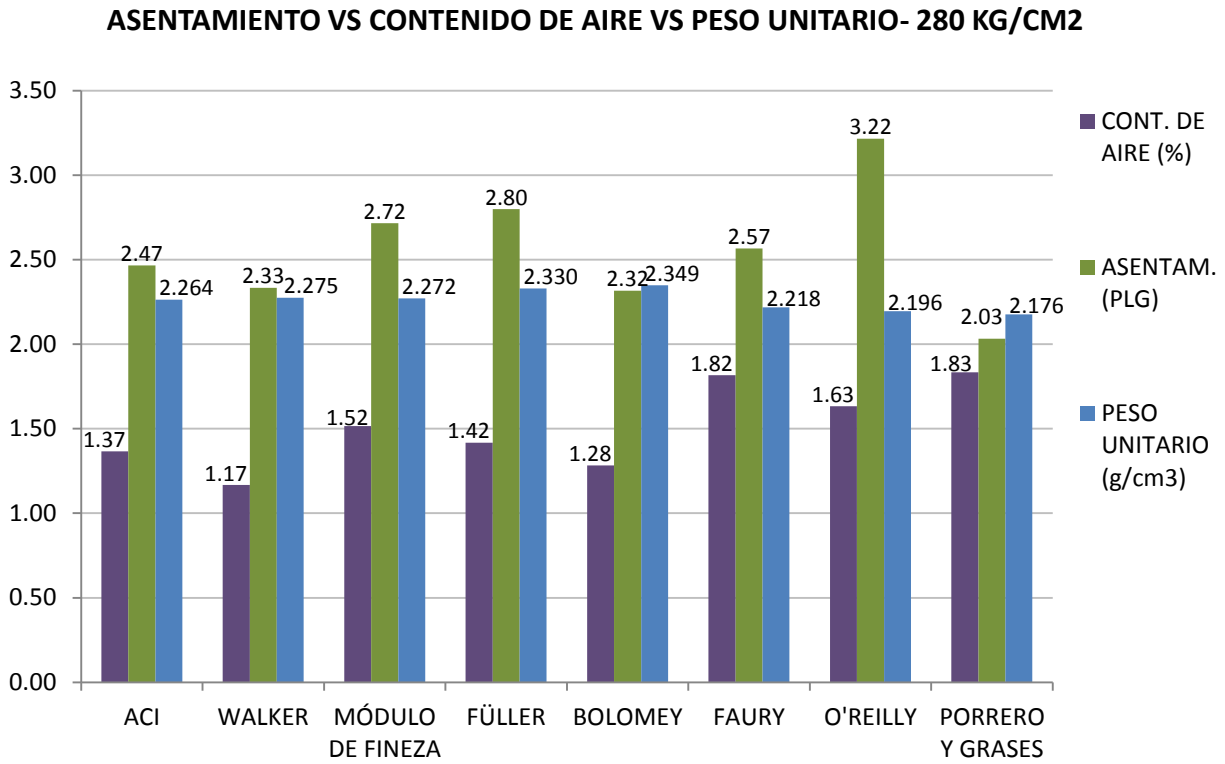


Fig. 5.30. Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario para un $f'c=280$ kg/cm²

En esta resistencia se nota claramente que los asentamientos se reducen respecto a los gráficos anteriores, debido a esto los valores de aire también se reducen proporcionalmente a este, mientras que el peso unitario pueden ligeramente aumentar o disminuir dependiendo del proporcionamiento de los componentes brindado por el diseño de mezcla.

En esta resistencia existe una característica notoria sobre el diseño de O'Reilly donde por su naturaleza practica y tras efectuar los ensayos correspondientes se obtuvo una trabajabilidad más adecuada.

5.3.1.4. ANÁLISIS GRÁFICO - ASENTAMIENTO VS CONTENIDO DE AIRE

A continuación se muestra los diferentes comportamientos contenido de aire y asentamiento a lo largo de las resistencias $f'c$ de 175, 210 y 280 kg/cm² para encontrar un margen de aceptación donde todos los diseños que estén dentro de este se consideraran aceptables para los requisitos de contenido aire y asentamiento, sin embargo los gráficos son muy distantes para poder analizarlo integralmente por lo que se dividirá para un mejor análisis.

El margen propuesto en el caso del asentamiento será de 1'' ya que los diseños de ACI, Walker y Modulo de Fineza proponen ese rango en la selección de su asentamiento, por lo que siendo el asentamiento requerido de 4'' el rango en esta investigación será de 3.50 a 4.50 pulgadas. De igual manera se trabajara con el contenido de aire con un margen de 0.2% por las consideraciones generales de comprobación de las normas establecidas, es decir sabiendo que el contenido de aire requerido es de 1.5%, el rango de aceptación estará entre 1.3% - 1.7%.

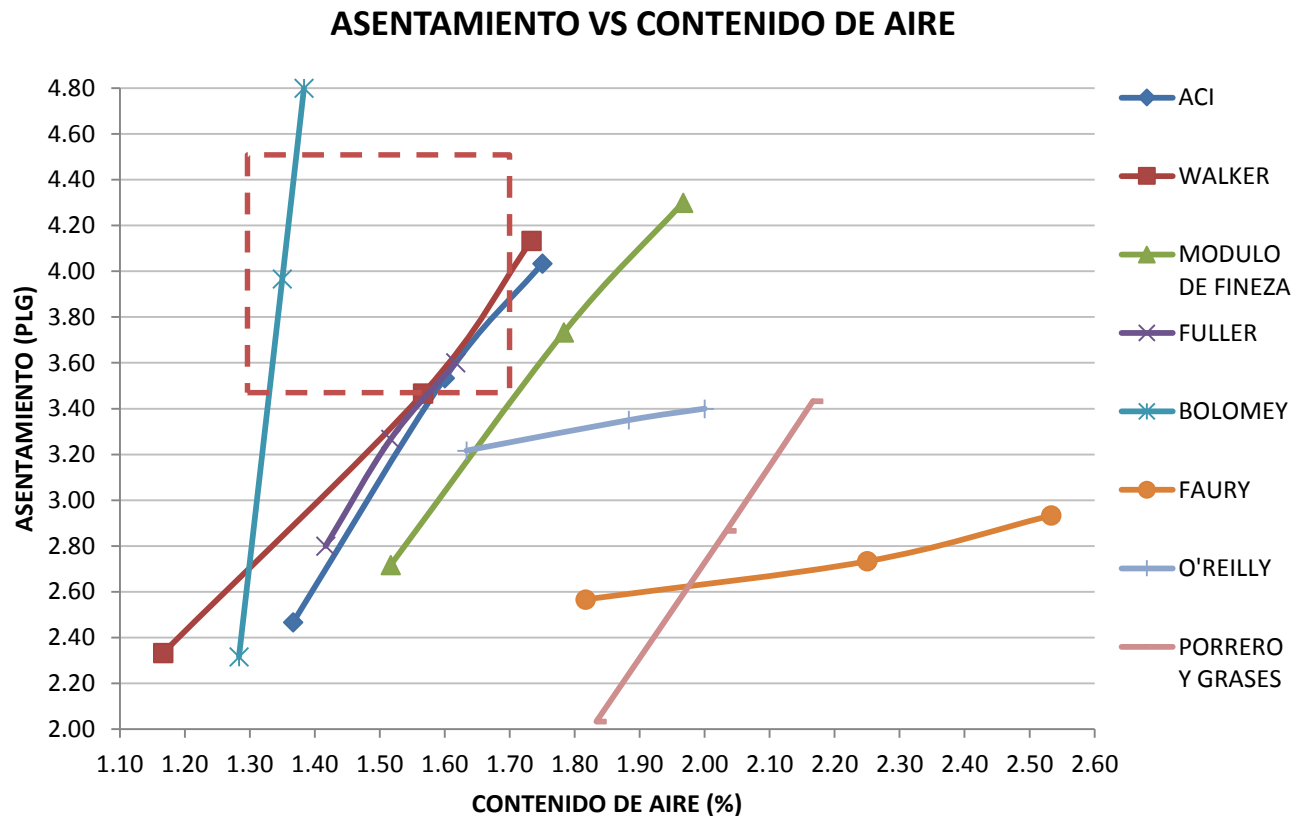


Fig. 5.31. Asentamiento VS Contenido de Aire

En una vista general del gráfico, se muestra la zona con rango de aceptación de ambos requisitos, de la cual podemos notar que los diseños convencionales sumandos a Füller y Bolomey son cercanos entre sí, con una tendencia similar, y cumpliendo con los rangos establecidos en algunos puntos de los diseños. Más alejado se encuentran los diseños de Módulo de Fineza y O'Reilly, este último con una menor diferencia de resultados entre sus resistencias, mientras que los diseños de Faury y Porrero & Grases se encuentran muy alejados de ambos rangos establecidos.

Según las conclusiones antes mencionadas en la comparación de las propiedades por cada resistencias independiente, los valores de asentamientos y contenido de aire disminuyen conforme

se aumenta la resistencias por lo que los puntos que unen cada líneas de la gráfica son las resistencias de 280, 210 y 175 kg/cm^2 en un orden de izquierda a derecha respectivamente.

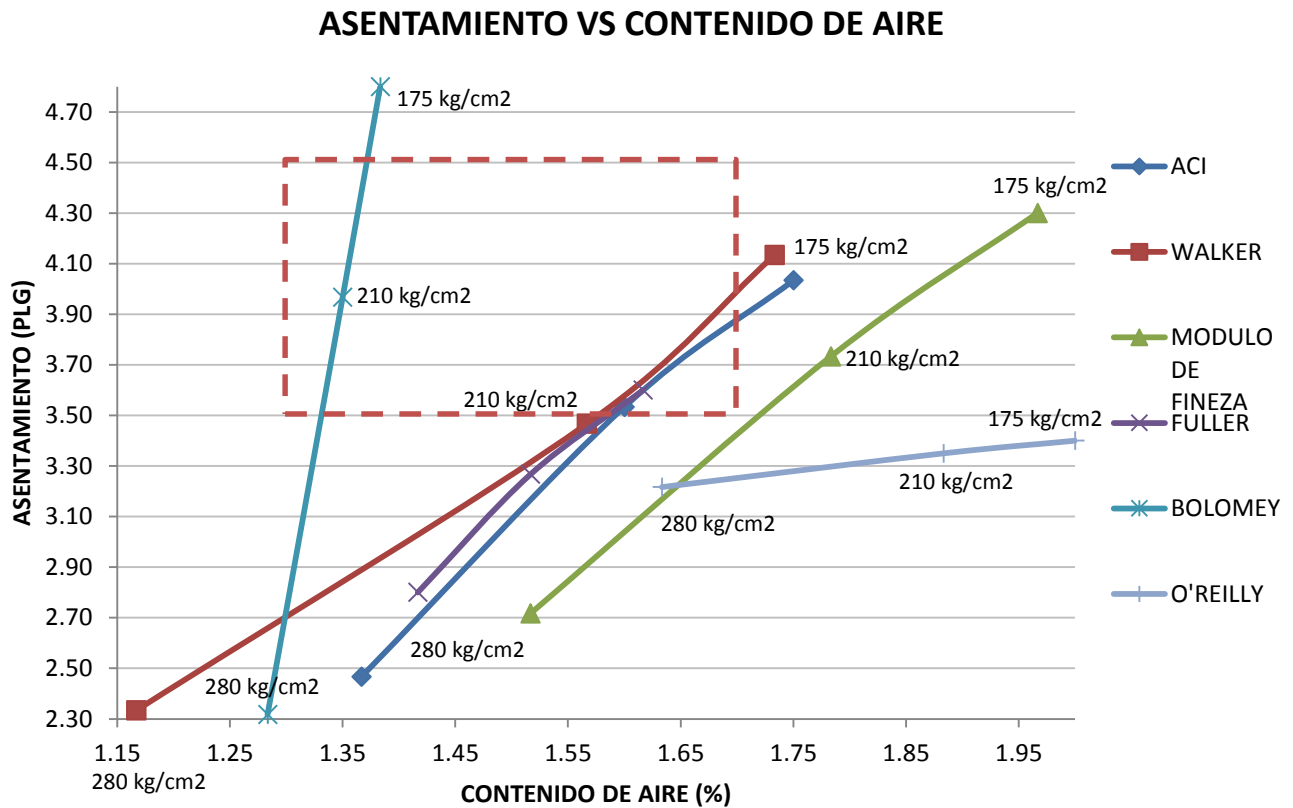


Fig. 5.32. Asentamiento VS Contenido de Aire - ACI, Walker, Modulo de Fineza, Fuller, Bolomey y O'Reilly

Como se mencionó los diseños de ACI, Walker y Modulo de Fineza tiene una proporción de componentes cercana por lo que se esperaba que los resultados de estos también los fueran sin embargo podemos ver que el diseño de Modulo de Fineza tiene una tendencia de tener mayor contenido de aire con mayor asentamiento lo que lo hace salir del rango para cumplir con ambos requisitos.

Los diseños de Fuller y Bolomey también siguen la misma tendencia, este último con una pendiente mucho más pronunciada a lo largo de sus resistencias, estando estos dos diseños dentro del rango para cumplir con ambos requisitos en gran parte de su comportamiento, sin embargo a medida que se tenga una alta resistencia este saldrá del rango del asentamiento pero se mantendrá en el del contenido de aire.

Para finalizar el diseño práctico de O'Reilly tiene un comportamiento similar al de los diseños convencionales con la diferencia que tiene una menor pendiente y menor diferencia de resultados entre estos, sin embargo su tendencia no cumple con ninguno de los requisitos de asentamiento y contenido de aire a la vez.

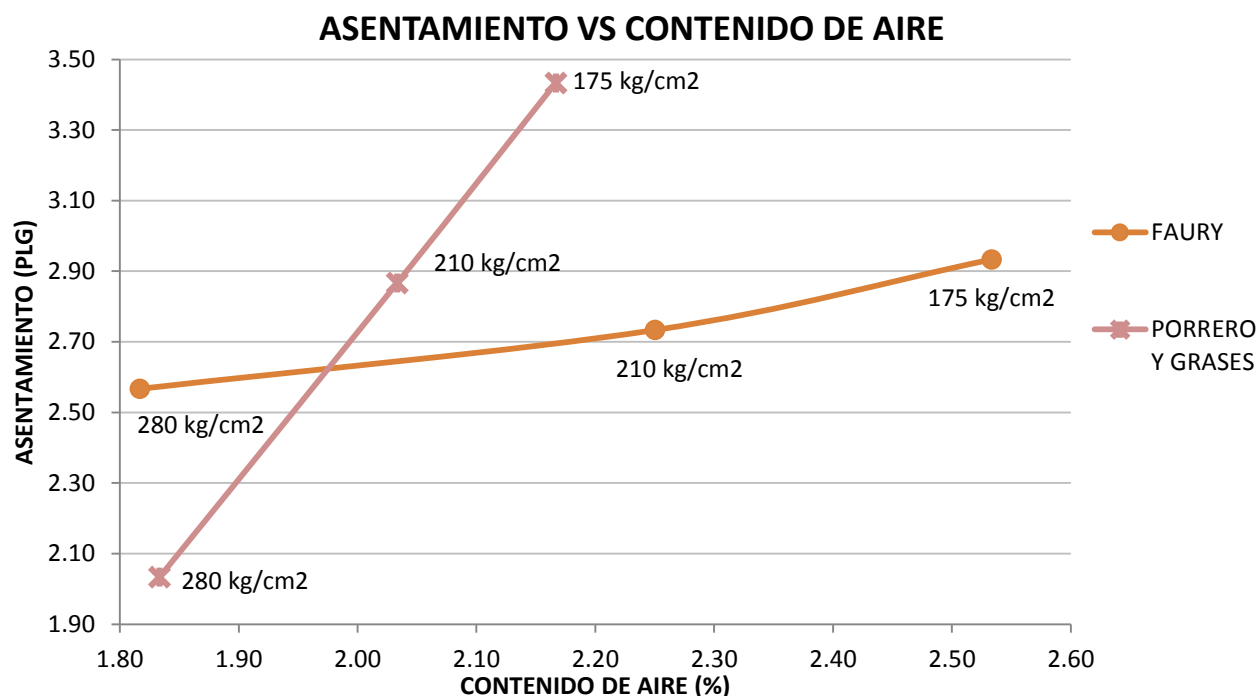


Fig. 5.33. Asentamiento VS Contenido de Aire - Faury y Porrero & Grases

Los diseños de Faury y Porrero & Grases son los que tiene un comportamiento muy distintos a los demás, en este caso ninguno de los dos diseños ni resistencias están dentro del rango del asentamiento por tener valores inferiores a este, ni de contenido de aire por sobrepasar el rango establecido. Por lo que solo se puede hacer una comparación general con los otros diseños diciendo que Porrero & Grases tiene un comportamiento como los diseños convencionales mientras que el diseño de Faury tiene una pendiente mucho menor, con una gran amplitud en sus porcentajes de contenido de aire.

5.3.1.5. ANÁLISIS GRÁFICO - PESO UNITARIO VS ASENTAMIENTO

A continuación se muestra los diferentes comportamientos peso unitario y asentamiento a lo largo de las resistencias f'_c de 175, 210 y 280 kg/cm² para encontrar un margen de aceptación donde todos los diseños que estén dentro de este se consideraran aceptables para los requisitos de peso

unitario y asentamiento, sin embargo los gráficos son muy distantes para poder analizarlo integralmente por lo que se dividirá para un mejor análisis.

El margen propuesto en el caso del asentamiento será de 1'' como el caso anterior con un rango de 3.50 a 4.50 pulgadas; mientras que para el peso unitario se considerara su clasificación de “concreto normal” con un peso específico de 2240 - 2460 kg/m³.

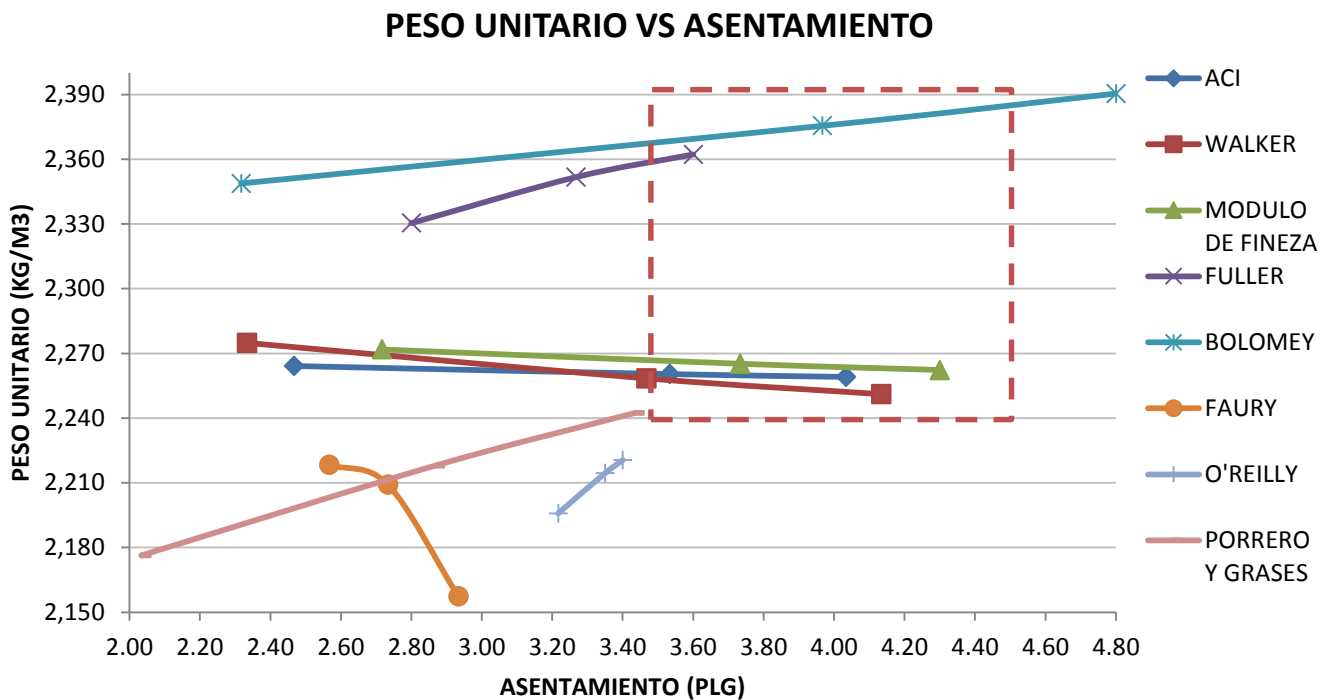


Fig. 5.34. Peso Unitario VS Asentamiento

En una vista general del gráfico donde se muestra la zona con rango de aceptación establecida anteriormente, se nota que la mayoría de diseños están dentro del rango en algunas de sus resistencias sin embargo hay diseños que están muy alejados de cumplir con los requisitos establecidos como Faury, O'Reilly y Porrero & Grases.

Según las conclusiones de la comparación entre las propiedades del concreto, se sabe que a mayor resistencia el valor del asentamiento disminuye por lo que los puntos que unen cada líneas de la gráfica son las resistencias de 280, 210 y 175 kg/cm² en un orden de izquierda a derecha respectivamente.

Se comenzara con la comparación de los diseños de ACI, Walker y módulo de Fineza quienes tiene una proporción cercana en sus agregados con una similar cantidad de cemento lo que resulta en un

comportamiento similar en el gráfico de estos comparando el asentamiento vs el peso unitario de la mezcla.

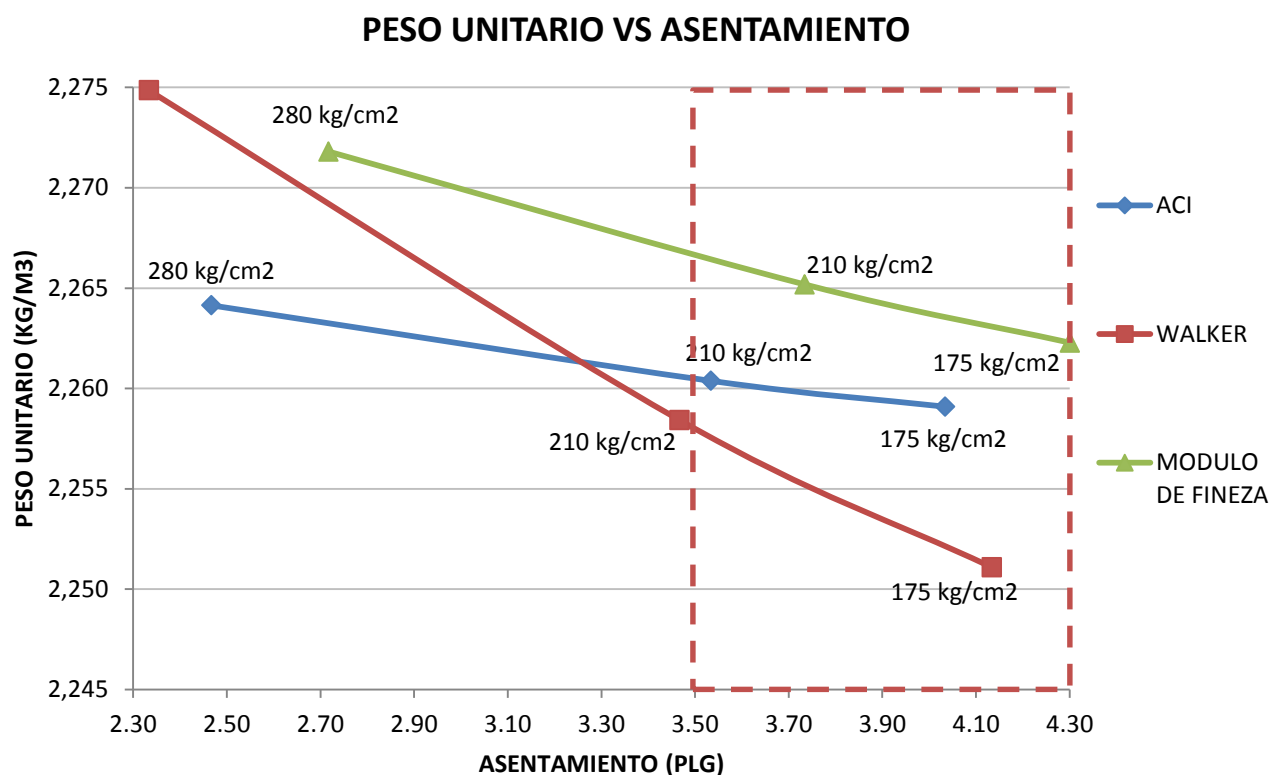


Fig. 5.35. Peso Unitario VS Asentamiento – ACI, Walker y Modulo de Fineza

Los diseños de ACI, Walker y Modulo de Fineza tienen una parecida tendencia lineal en cuanto a su gráfico, siendo que se presenta un mayor peso unitario de la mezcla cuando se tiene un menor asentamiento, ACI tiene un peso más similar con Walker que se va acortando en resistencia altas hasta superarla, mientras que Modulo de Fineza tiene un asentamiento mayor que los anteriores diseños, pero siguiendo la misma pendiente que ACI. Con respecto al rango de aceptación los tres diseños se encuentran dentro del margen del peso unitario establecido, sin embargo un porcentaje menor son los que cumplen también con el rango del asentamiento siendo los de resistencia menores, ya que la resistencia de 210 kg/cm² los diseños de Walker y ACI se encuentran en el borde del rango de asentamiento, y en la resistencia de 280 kg/cm² los tres diseños no llegan a cumplir con el asentamiento alejándose cada vez del rango establecido anteriormente.

Sin embargo cabe recalcar que estos diseños están establecidos para un asentamiento del 3 a 4 pulgadas donde el rango de aceptación estaría más cercano a los valores de altas resistencias pero para mantener un mismo criterio de aceptación se mantendrá el establecido (3.5 a 4.5 pulgadas).

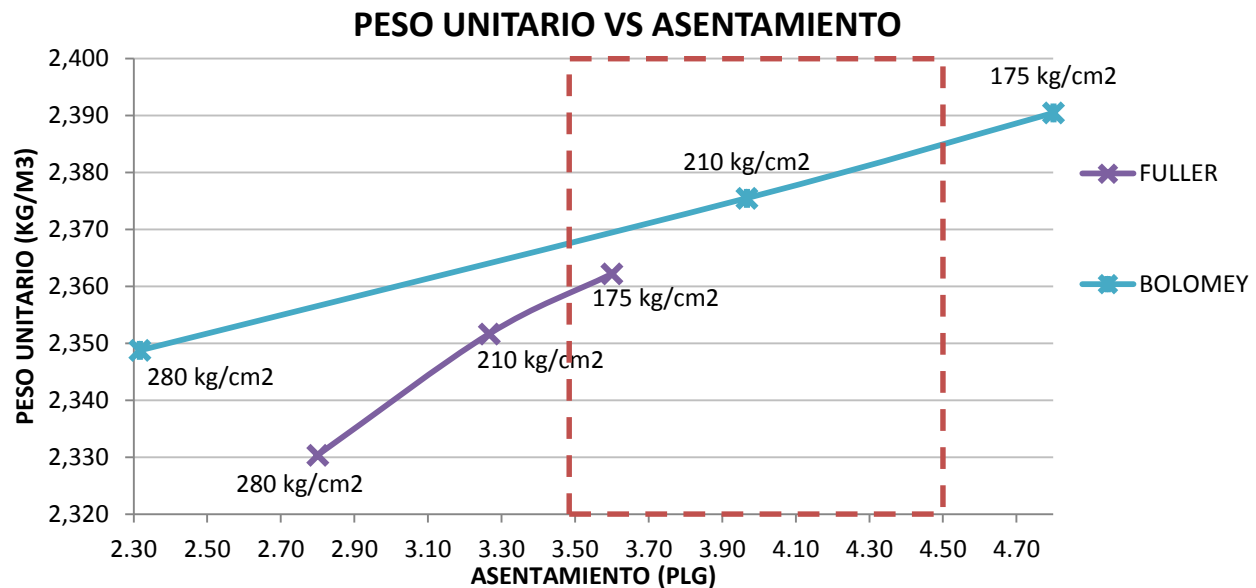


Fig. 5.36. Peso Unitario VS Asentamiento – Füller y Bolomey

Esta vez la tendencia del comportamiento de los diseños racionales de Füller y Bolomey es diferente que los diseños convencionales, ya que con una misma tendencia lineal estos diseños tienen un comportamiento de que a mayor peso unitario se obtendría con un mayor asentamiento. Con respecto al peso unitario ambos diseños están dentro del rango, sin embargo solo una porción de estos que se muestran en la gráfica cumplen a la vez con el margen del asentamiento, siendo la menor resistencia de Bolomey la que está por encima de los valores, mientras que ambos diseños en altas resistencias están por debajo de este

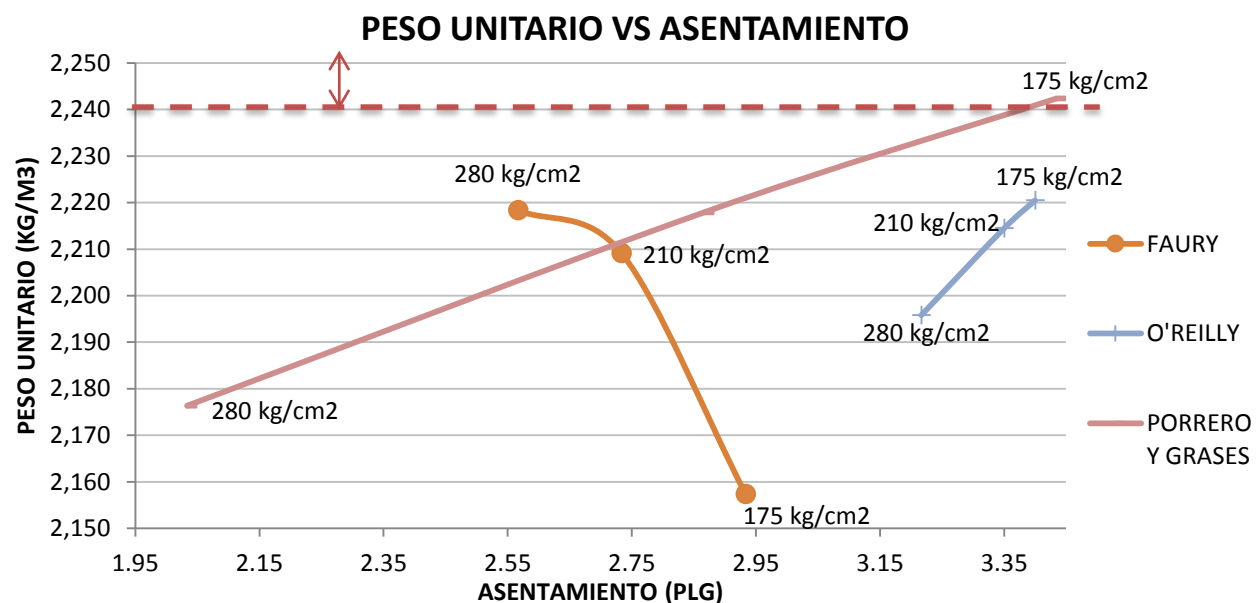


Fig. 5.37. Peso Unitario VS Asentamiento – Faury, Porrero & Grases y O'Reilly

Los diseños de Porrero & Grases y O'Reilly siguen la tendencia de los métodos racionales, siendo que en una menor resistencia tendrán un mayor peso unitario lo que resulta a su vez en un mayor asentamiento. El diseño de Faury sigue la tendencia de los diseños convencionales teniendo un menor peso cuando se trate de resistencias bajas que ira aumentando conforme la resistencia y disminuyendo en su asentamiento de una manera más controlada.

Si hablamos de los márgenes establecidos, la resistencia de 175 kg/cm² de Porrero es el único q llega al borde inferior del peso unitario mientras el resto se encuentran por debajo del peso unitario aceptable de “concreto de peso normal”, sin embargo no quiere decir que sean concretos livianos sino que tienden a ser de menor peso que el promedio normal; con respecto al asentamiento tampoco ninguno cumple con los requerimientos siendo el más cercano el diseño de O'Reilly y Porrero & Grases.

5.3.1.6. ANÁLISIS GRÁFICO - PESO UNITARIO VS CONTENIDO DE AIRE

A continuación se muestra los diferentes comportamientos peso unitario y contenido de aire a lo largo de las resistencias f'_c de 175, 210 y 280 kg/cm² para encontrar un margen de aceptación donde todos los diseños que estén dentro de este se consideraran que cumplen con los requisitos de peso unitario y contenido de aire, sin embargo los gráficos son muy distantes para poder analizarlo integralmente por lo que se dividirá para un mejor análisis.

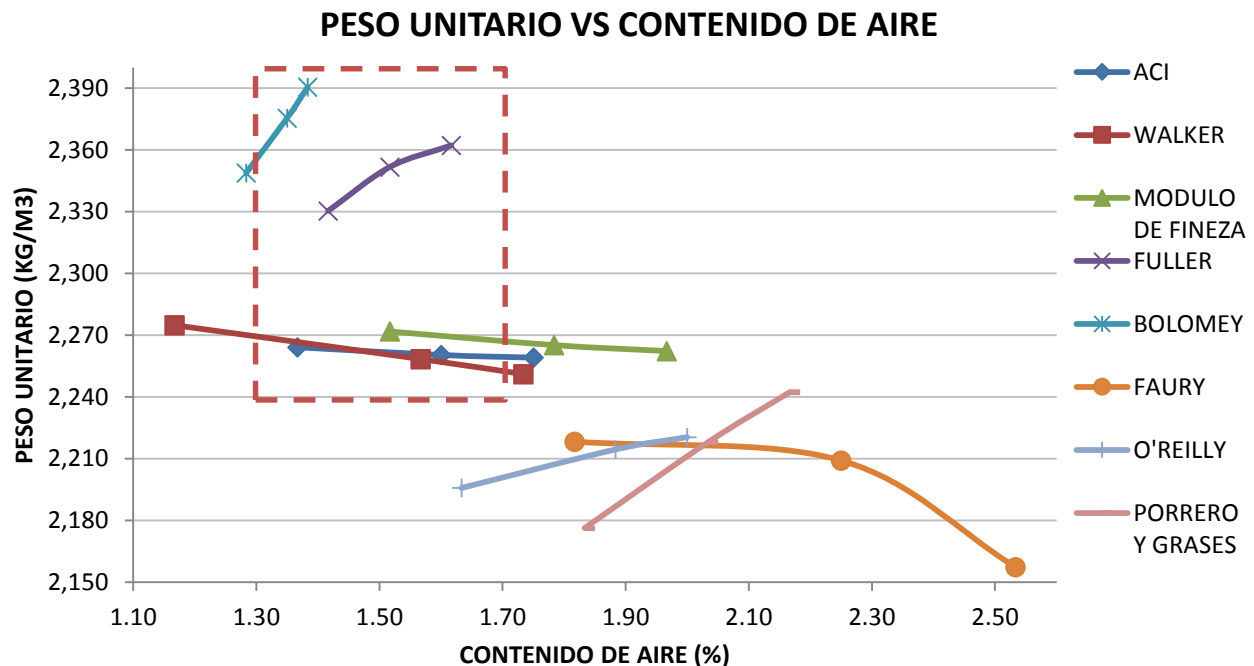


Fig. 5.38. Peso Unitario VS Contenido de Aire

El margen propuesto en el caso del peso unitario será el propuesto para un “concreto de peso normal” con un 2240-2460 kg/m³, mientras que para el contenido de aire será de 0.2% según las normas establecidas para las pruebas de comprobación, con lo que se obtiene en un rango de aceptación de 1.3% - 1.7%.

En una vista general del grafico podemos obtener los diseños que están dentro del rango de aceptación establecido como también ver aquellos diseños que están fuera de él cómo son nuevamente Faury, O'Reilly y Porrero & Grases, y algunas resistencias adicionales de los otros métodos realizados en esta investigación.

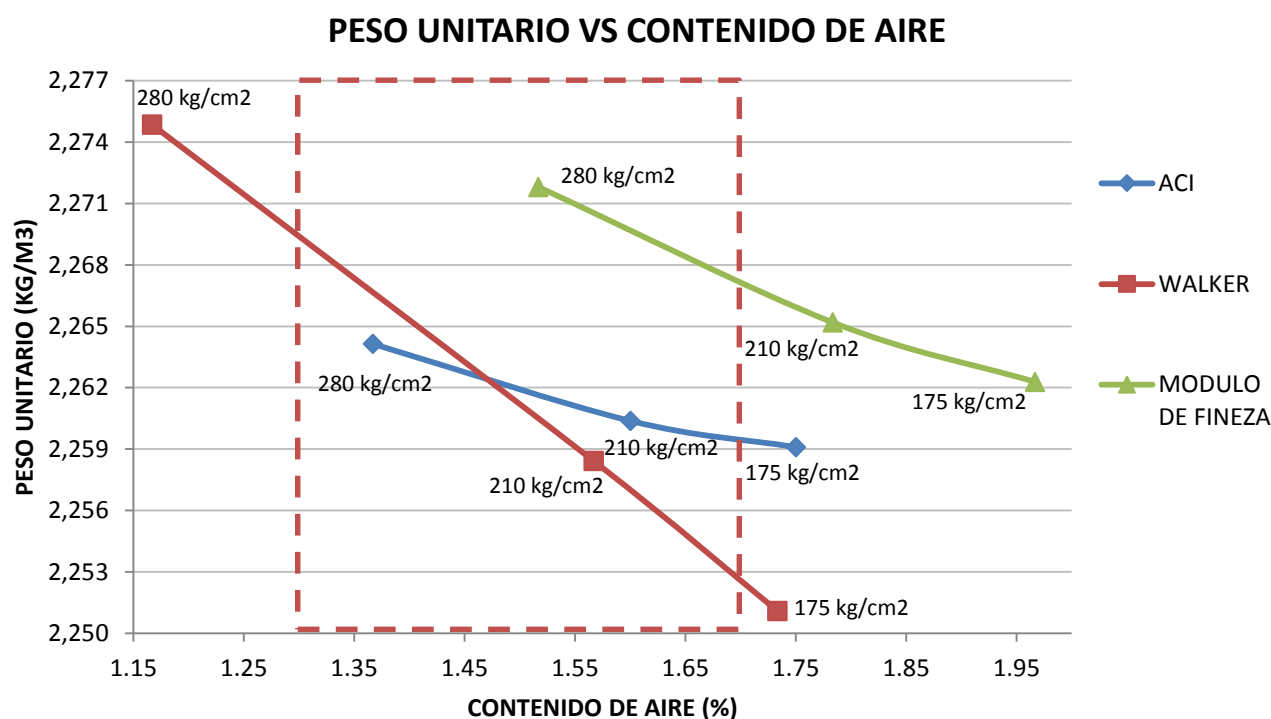


Fig. 5.39. Peso Unitario VS Contenido de Aire – ACI, Walker y Modulo de Fineza

Comenzando con el análisis de los diseños convencionales se puede ver que en su gran mayoría cumplen con los requisitos de peso unitario y contenido de aire sin embargo el diseño de Modulo de Fineza tiende a tener mayor aire en la mezcla mientras que el diseño de Walker en resistencias altas tiende a tener un menor contenido de aire atrapado que lo hace salir del rango de aceptación.

La tendencia que tiene estos diseños son que a mayor resistencia se necesite, estas tendrán un mayor peso unitario en su mezcla acompañado también de un bajo contenido de aire, y la reducción de la resistencia afectara proporcionalmente a las demás propiedades.

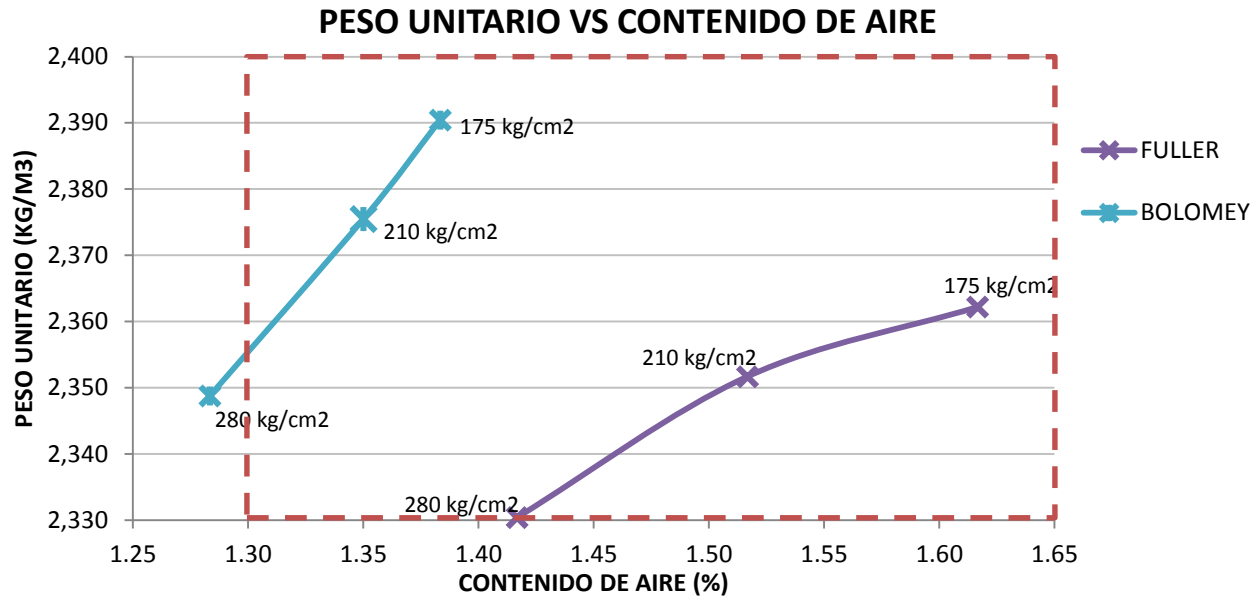


Fig. 5.40. Peso Unitario VS Contenido de Aire – Füller y Bolomey

El análisis de los diseños racionales concluye en que la mayoría está dentro de ambos rangos siendo los más estables con referencia al cumplimiento de estos dos requerimientos; se nota que Bolomey tiene la tendencia a salir del margen pero con una pendiente pronunciada que hace suponer que los valores no cambiarán de sobremanera. Nuevamente se nota una diferencia en la tendencia de las rectas obtenidas con los diseños convencionales debido a la dosificación de los componentes al requerir una mayor peso cuando se trate de mezclas de baja resistencia.

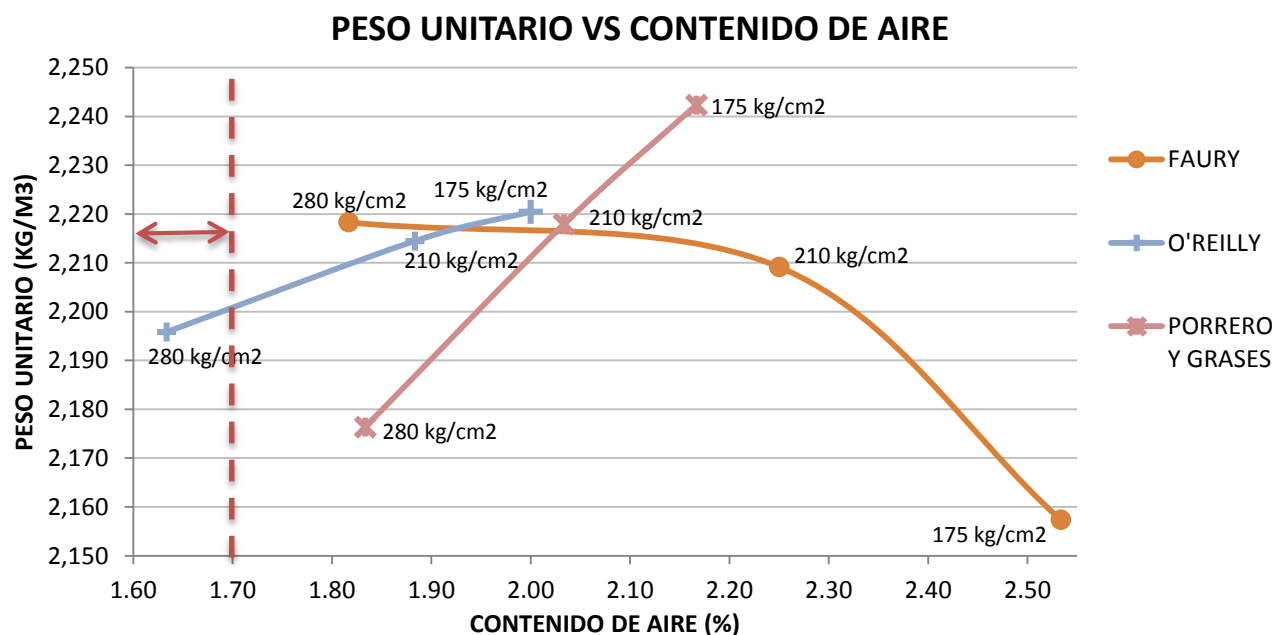


Fig. 5.41. Peso Unitario VS Contenido de Aire – O'Reilly, Faury y Porrero & Grases

Los diseños de O'Reilly y Porrero & Grases siguen la tendencia de los diseños racionales por presentar una mayor peso cuando se trate de resistencias menores, y esta disminuirá conforme se requerirá una resistencia mayor; referente al diseño de Faury, esta tiene la tendencia de los diseños convencionales por tener un criterio inverso al antes explicado.

Con la excepción del diseño de la resistencia alta de O'Reilly, ninguno de los diseños ni resistencias llega a cumplir con ninguno de los requisitos de contenido de aire ni peso unitario, por lo que se puede mencionar que estos diseños serán deficientes cuando sea de mayor importancia la obtención de estas dos propiedades del concreto fresco.

5.3.1.7. CUADRO COMPARATIVO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA VS RANGO DE ACEPTACIÓN

A continuación se muestra un cuadro con todos los datos obtenidos a partir de los tres ensayos realizados anteriormente, con los que podremos saber que diseños son los más ideales dependiendo de la resistencia requerida y del requisito impuesto por el diseñador sobre la prevalencia o importancia de una propiedad sobre otra.

Para realizar una rápida inspección visual se utilizó una gama de colores para determinar la condición del resultado siendo el color amarillo, un dato que está por debajo del límite requerido, color verde cuando está dentro del rango aceptable y color rojo cuando el resultado sobrepasa el rango superior impuesto.

De donde podemos decir que si se requiere cumplir con las tres propiedades simultáneamente (situación ideal), en la resistencia de 175 kg/cm^2 el diseño de Füller es el ideal, seguido por el diseño de ACI que se encuentra cerca del rango de aceptación, en la resistencia de 210 kg/cm^2 los diseños de ACI y Bolomey son los ideales seguidos por el diseño de Walker por su cercanía con el rango de aceptación y en la resistencia de 280 kg/cm^2 ningún diseño cumple con las tres especificaciones sin embargo algunos de sus resultados están cerca del margen por lo que tendría que hacer un análisis más profundo dependiendo de las características que solicite el diseñador, siendo el diseño de O'Reilly el más ideal donde a pesar de que dos de sus requisitos no se cumplen, sus valores son más ajustados a los márgenes establecidos.

Para terminar se puede agregar que los diseños más deficientes donde no cumplen ninguno de los requisitos y se tiene una amplia separación del rango aceptable en las tres resistencias son los diseños de Faury y Porrero & Grases.

LIMITE INFERIOR		3.5	-12.5%	1.3	-13.3%	2240	-4.7%
VALOR OPTIMO		4	0.0%	1.5	0.0%	2350	0.0%
LIMITE SUPERIOR		4.5	12.5%	1.7	13.3%	2460	4.7%
F'C (kg/cm2)	MÉTODO	ASENTAMIENTO		CONTENIDO DE AIRE		PESO UNITARIO	
		(plg)	%	(%)	%	(kg/m3)	%
175	ACI	4.03	0.8%	1.75	16.7%	2259.10	-3.9%
	WALKER	4.13	3.3%	1.73	15.6%	2251.10	-4.2%
	MÓDULO DE FINEZA	4.30	7.5%	1.97	31.1%	2262.29	-3.7%
	FÜLLER	3.60	-10.0%	1.62	7.8%	2362.19	0.5%
	BOLOMEY	4.80	20.0%	1.38	-7.8%	2390.43	1.7%
	FAURY	2.93	-26.7%	2.53	68.9%	2157.38	-8.2%
	O'REILLY	3.40	-15.0%	2.00	33.3%	2220.48	-5.5%
	PORRERO & GRASES	3.43	-14.2%	2.17	44.4%	2242.33	-4.6%
210	ACI	3.53	-11.7%	1.60	6.7%	2260.38	-3.8%
	WALKER	3.47	-13.3%	1.57	4.4%	2258.43	-3.9%
	MÓDULO DE FINEZA	3.73	-6.7%	1.78	18.9%	2265.19	-3.6%
	FÜLLER	3.27	-18.3%	1.52	1.1%	2351.67	0.1%
	BOLOMEY	3.97	-0.8%	1.35	-10.0%	2375.48	1.1%
	FAURY	2.73	-31.7%	2.25	50.0%	2209.14	-6.0%
	O'REILLY	3.35	-16.3%	1.88	25.6%	2214.48	-5.8%
	PORRERO & GRASES	2.87	-28.3%	2.03	35.6%	2217.90	-5.6%
280	ACI	2.47	-38.3%	1.37	-8.9%	2264.14	-3.7%
	WALKER	2.33	-41.7%	1.17	-22.2%	2274.86	-3.2%
	MÓDULO DE FINEZA	2.72	-32.1%	1.52	1.1%	2271.81	-3.3%
	FÜLLER	2.80	-30.0%	1.42	-5.6%	2330.38	-0.8%
	BOLOMEY	2.32	-42.1%	1.28	-14.4%	2348.76	-0.1%
	FAURY	2.57	-35.8%	1.82	21.1%	2218.33	-5.6%
	O'REILLY	3.22	-19.6%	1.63	8.9%	2195.81	-6.6%
	PORRERO & GRASES	2.03	-49.2%	1.83	22.2%	2176.33	-7.4%

Cuadro 5.30. Cuadro comparativo de los diseños de mezcla VS Rango de aceptación

5.3.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO VS PROPIEDADES DEL ESTADO FRESCO DEL CONCRETO

Después de haber obtenido los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado, se puede saber la resistencia total del concreto elaborado, por lo que se comparara estos valores con las propiedades físicas del concreto en estado fresco.

Para todas las comparaciones se realizara una grafica donde se presenten los valores de intersección de la propiedad física VS resistencia promedio por cada resistencia requerida de 175, 210 y 280 kg/cm², para finalmente compararlo en una tabla general y poder obtener una tendencia de las rectas de cada diseño propuesto.

5.3.2.1. RESISTENCIA PROMEDIO VS ASENTAMIENTO

Los siguientes gráficos son comparados con el rango de aceptación propuesto en esta investigación donde el asentamiento tiene un rango de 1'', siendo los intervalos aceptables de 3.5'' a 4''.

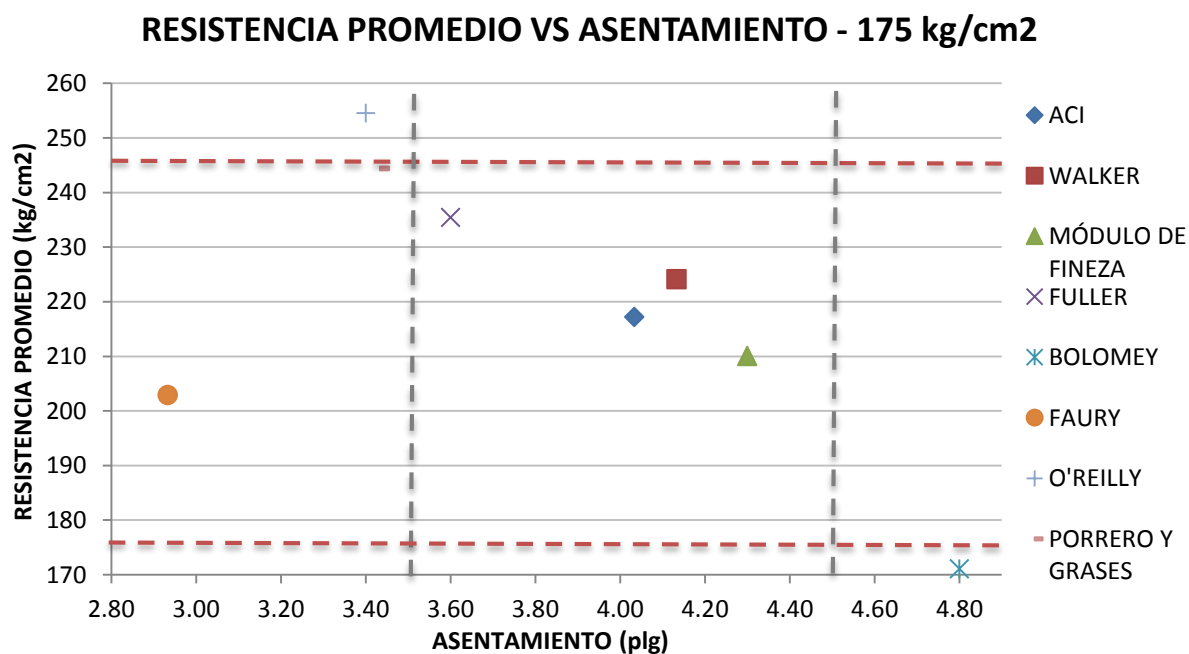


Fig. 5.42. Resistencia Promedio VS Asentamiento – $f'c=175$ kg/cm²

Se puede comenzar el análisis mencionando la clara tendencia que se muestra en la gráfica sobre la relación entre la resistencia promedio obtenida con el asentamiento, siendo que: a menor asentamiento obtenido en la mezcla fresca, se obtendrá una resistencia promedio más alta.

El diseño de Faury es el único que no sigue la tendencia debido a que presenta una proporción de agregados distinta a los demás diseños. Siguiendo con el análisis observamos que las resistencias obtenidas superan al $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, siendo la de mayor valor el diseño de Füller seguido por Walker, ACI y finalmente Modulo de Fineza, todas estas dentro del rango del asentamiento; el diseño de Bolomey se queda por debajo del $f'c$ con un asentamiento mayor al margen mientras que el diseño de O'Reilly y Porrero & Grases superan incluso a la resistencia $f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$ pero con un asentamiento cerca del requerido sin llegar a cumplirlo..

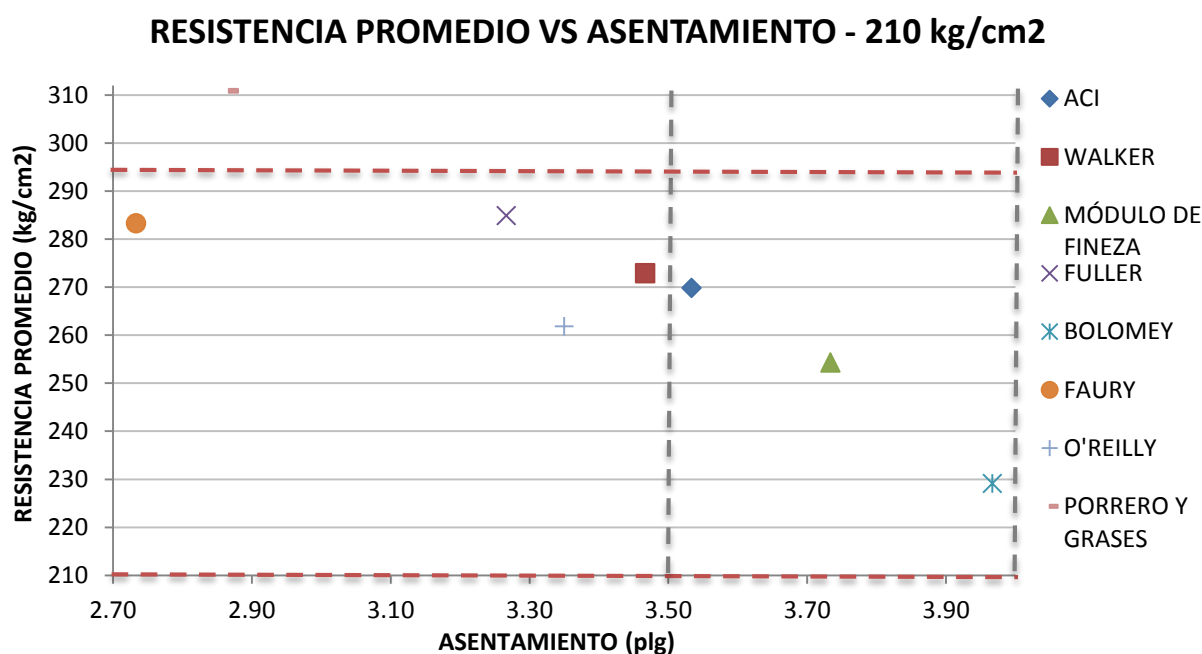


Fig. 5.43. Resistencia Promedio VS Asentamiento – $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Se sigue la misma tendencia de la resistencia pasada sobre la relación inversa que tiene el asentamiento con la resistencia, siendo que a un menor asentamiento se tendrá una mayor resistencia promedio al cabo de 28 días de curado.

La amplitud de margen en esta resistencia es mayor por lo que los resultados tienen a separarse del requerido, considerando que cumplan el rango de asentamiento tenemos a los diseños de Bolomey, Modulo de Fineza y ACI, este último con un asentamiento menor sin salir del límite.

El diseño de Porrero & Grases con un menor asentamiento llega a superar a superar incluso a la resistencia $f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$.

RESISTENCIA PROMEDIO VS ASENTAMIENTO - 280 kg/cm²

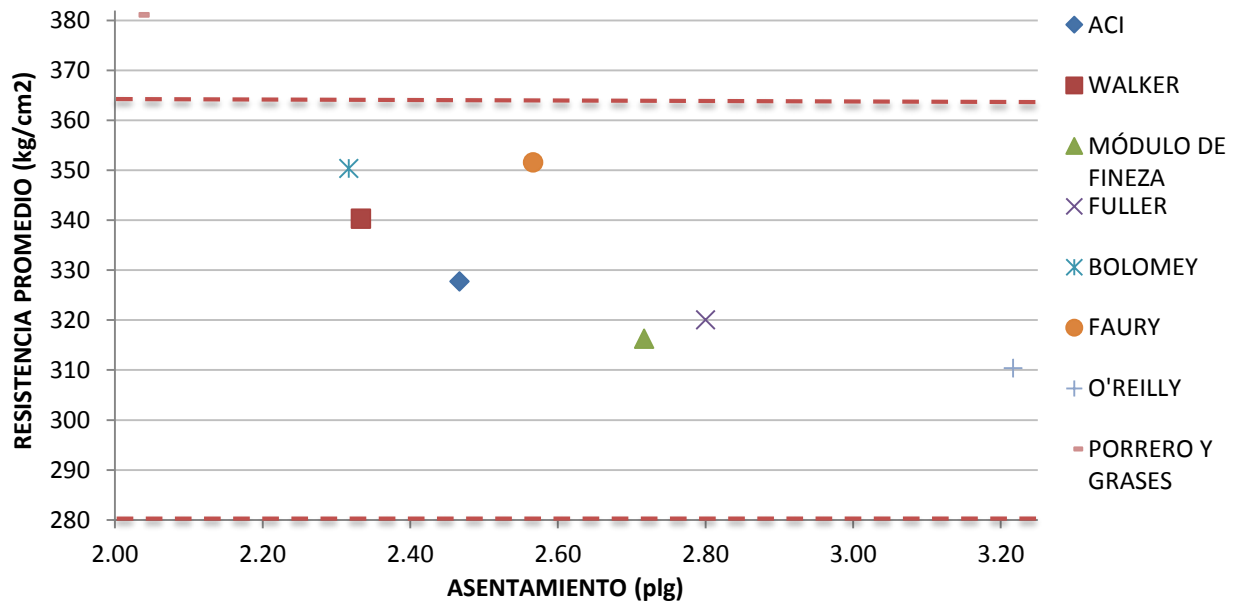


Fig. 5.44. Resistencia Promedio VS Asentamiento – $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Considerando el margen de aceptación propuesto de 3.5 a 4.5 pulgadas, ningún diseño llega a estar dentro del rango, siendo el diseño de O'Reilly el que está más cerca de los valores inferiores del margen establecido, en esta resistencia el rango de los valores entre los diseños son más cercanos entre sí, de lo que se puede considerar que el diseño de Faury se estabiliza con el resto obteniendo una mejor resistencia, mientras que el diseño de Porrero & Grases nuevamente presenta la peculiaridad de superar ampliamente el $f'_{cr} = 364 \text{ kg/cm}^2$, con un asentamiento que se aleja mucho más del requerido.

A continuación se muestra una gráfica general de los métodos y resistencias que cumple con el rango del asentamiento y la distancia con su respectiva resistencia requerida, de donde podemos reconocer que el diseño de Bolomey en las resistencias de 175 y 210 kg/cm² está muy por debajo del resto llegando a alcanzar a la resistencia anterior a esta; y viceversa sucede con el diseño de Porrero & Grases con altas resistencias y bajos asentamientos. Viendo el gráfico en su totalidad se puede ver que los diseños están más dentro del rango en la resistencia de 175 kg/cm², y a medida que aumenta esta los valores tienden a salir del rango por el lado inferior del asentamiento.

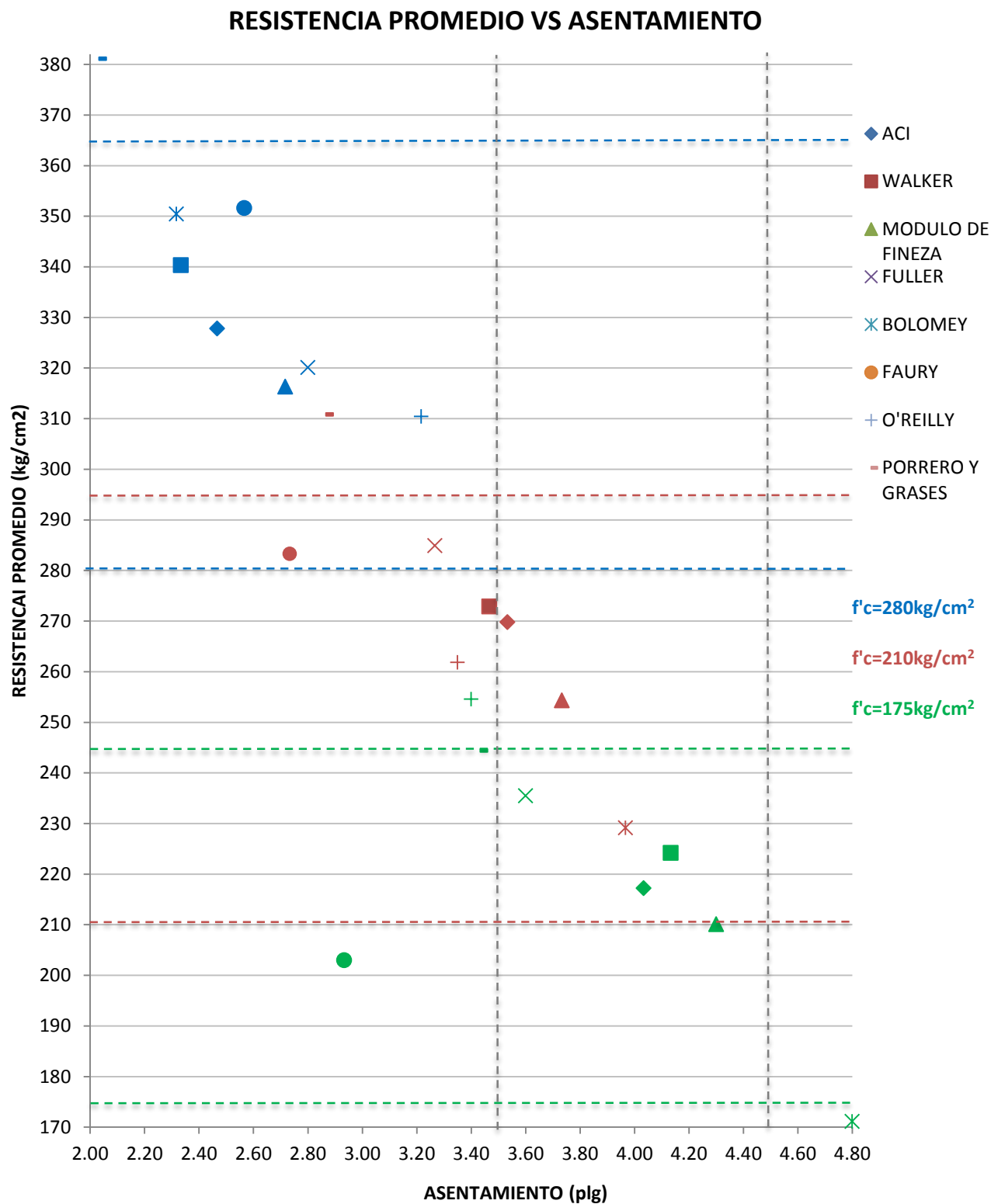


Fig. 5.45. Resistencia Promedio VS Asentamiento – 175, 210, 280 kg/cm²

Con el siguiente grafico se muestra la tendencia de todos los diseños de mezcla con respecto a la relación de la resistencia promedio obtenido con el asentamiento promedio que se obtuvo del ensayo al concreto fresco.

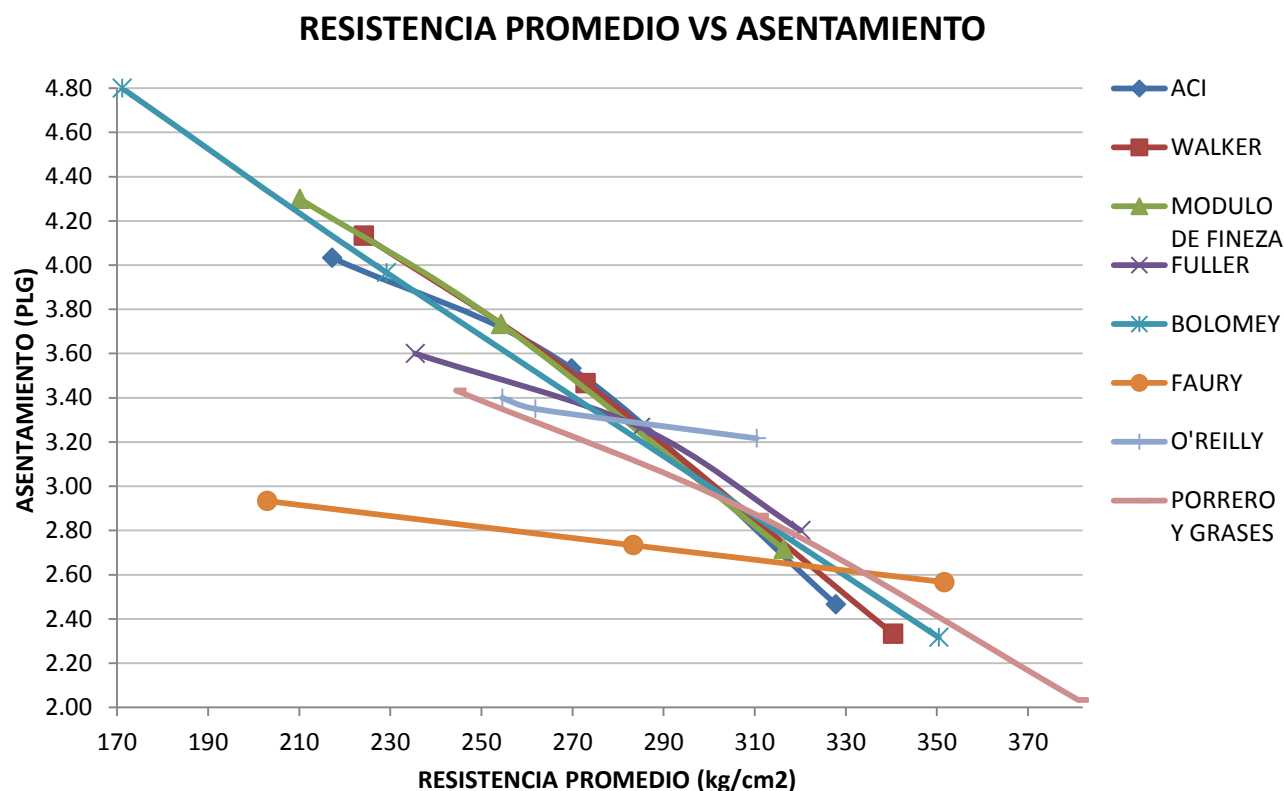


Fig. 5.46. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Asentamiento

Con los gráficos se obtendrá ecuaciones que sigan la tendencia de estas rectas según el diseño que se tenga, y poder determinar así una aproximación de la resistencia a la compresión promedio a los 28 días de curado a partir de un dato de asentamiento del concreto fresco, o viceversa respectivamente.

$$\text{ACI} = -63.038(\text{Asent.}) + 499.15 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{WALKER} = -63.999 (\text{Asent.}) + 491.03 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{MÓDULO DE FINEZA} = -66.377 (\text{Asent.}) + 498.09 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{FÜLLER} = -103.81 (\text{Asent.}) + 614.66 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{BOLOMEY} = -72.382(\text{Asent.}) + 517.63 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{FAURY} = -405.27 (\text{Asent.}) + 1391.5 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{O'REILLY} = -316.92 (\text{Asent.}) + 1328.5 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{PORRERO \& GRASES} = -96.639 (\text{Asent.}) + 580.56 = (\text{Resist. Compr.})$$

- * Los diseños en general tiene una tendencia lineal, por lo que con las ecuaciones establecidas se pueden hallar las resistencias aproximadas resultantes a los 28 días después de un debido proceso de curado en laboratorio. Las ecuaciones están en unidades de Asentamiento (pulgadas) y resistencia a la compresión (kg/cm^2).

5.3.2.2. RESISTENCIA PROMEDIO VS CONTENIDO DE AIRE

Los siguientes gráficos son comparados con el rango de aceptación propuesto en esta investigación donde el contenido de aire tiene un rango de 0.2%, siendo los intervalos aceptables de (1.3%-1.7%).

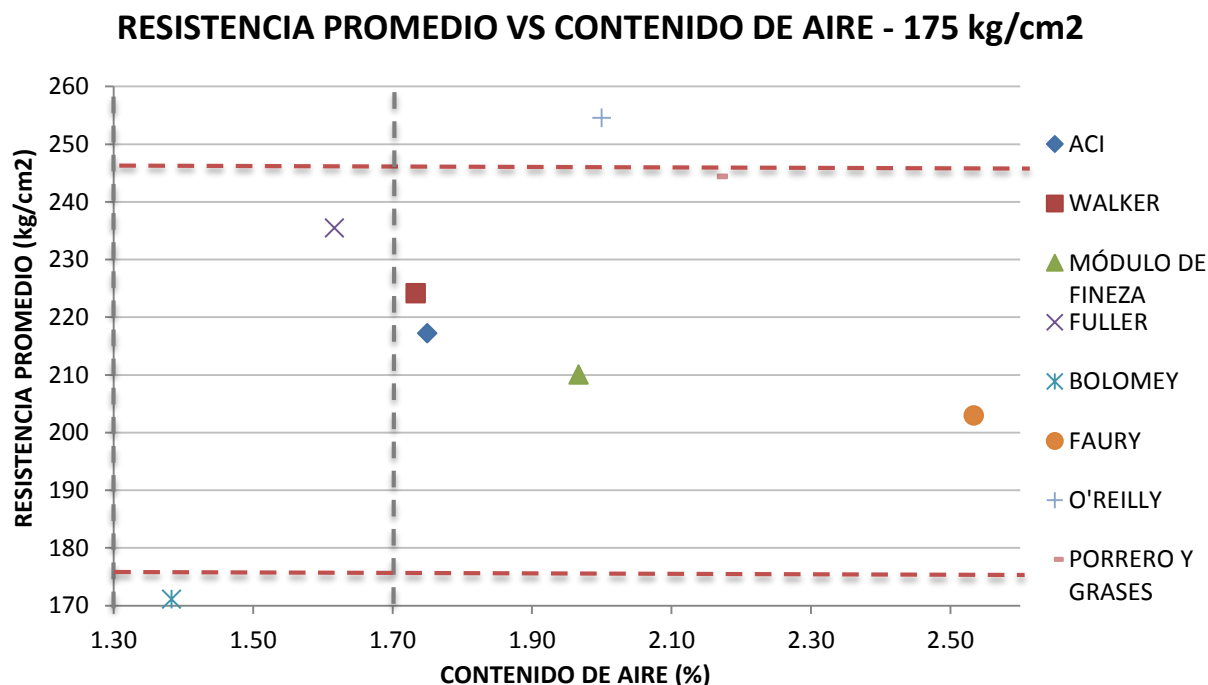


Fig. 5.47. Resistencia Promedio VS Contenido de Aire – $f'c=175 \text{ kg}/\text{cm}^2$

En una vista general se determina que la tendencia es que a mayor resistencia promedio se tiene una menor cantidad de aire atrapado en la mezcla, siendo el diseño de Bolomey el único que no cumple con la tendencia debido a sus proporcionamiento antes mencionados.

En esta resistencia los diseños que se encuentran dentro de los márgenes de contenido de aire son Füller y Bolomey, este último con una resistencia por debajo de la requerida $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, los diseños de ACI y Walker se encuentran cercanos al rango superior, seguidos por los diseños de Modulo de Fineza y O'Reilly.

Los diseños de Faury, Porrero & Grases y O'Reilly no cumplen con la tendencia establecida, coincidentemente estos diseños son los que presentan una diferente proporción de agregados requiriendo mayor cantidad de finos, pero con el uso mayor del cemento en comparación a los diseños convencionales, por lo que si se analiza solo estos tres diseños se vuelve a cumplir la tendencia establecida.

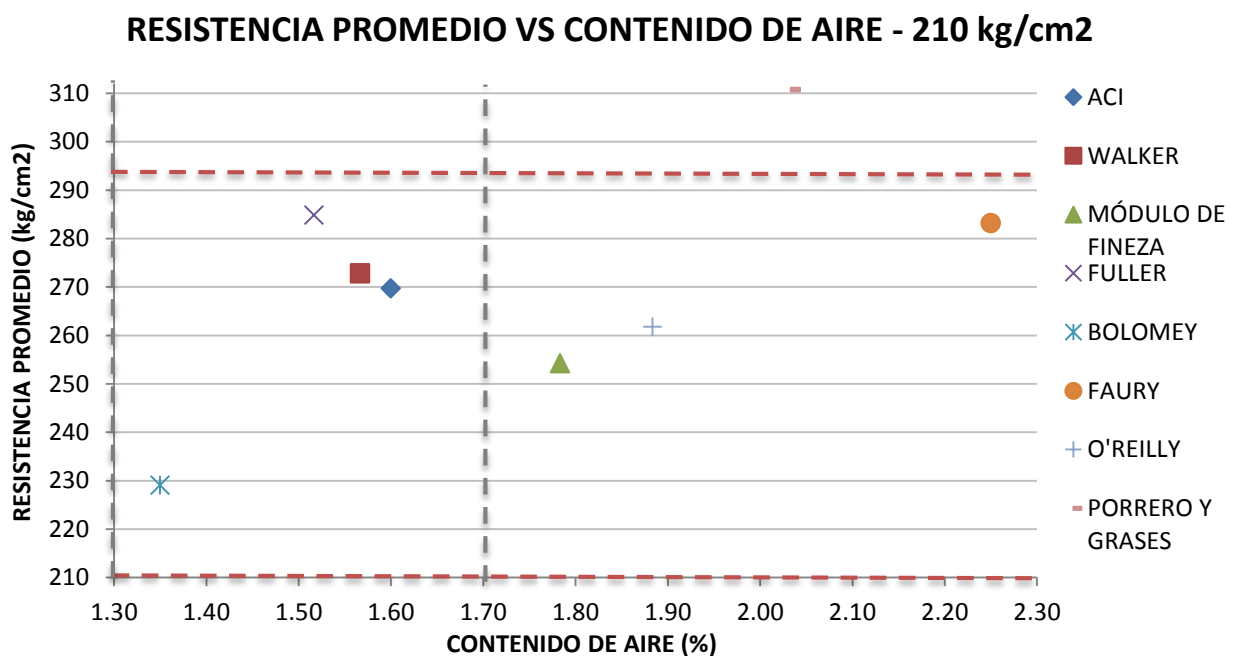


Fig. 5.48. Resistencia Promedio VS Contenido de Aire – $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

En comparación de la resistencia pasada los valores del contenido de aire se reducen gradualmente siendo que en esta resistencia los diseños de Bolomey, Füller, ACI y Walker cumplen el requisito del contenido de aire, siendo Bolomey el que tiene la menor resistencia, esta vez Modulo de Fineza se acerca a os rangos establecidos.

Nuevamente se da la situación de los diseños de Faury y Porrero & Grases de no cumplir con la tendencia de los demás diseños debido a que estas presentan características diferentes al resto, sin embargo esta vez el diseño de O'Reilly por su propia naturaleza experimental sale de esta tendencia.

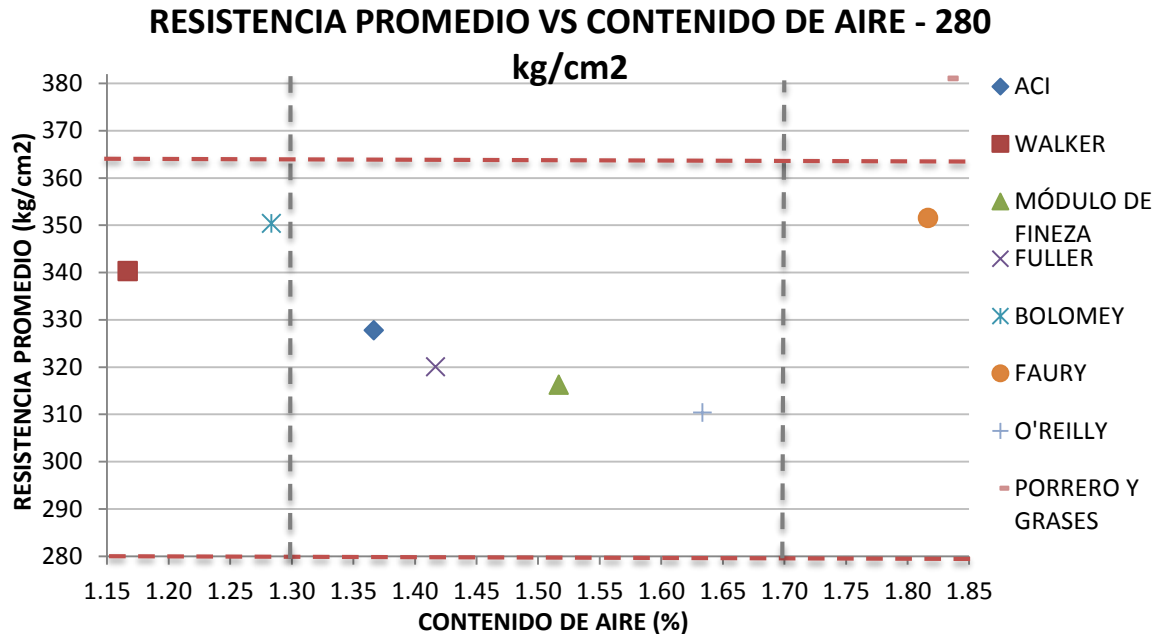


Fig. 5.49. Resistencia Promedio VS Contenido de Aire – $f'c=280$ kg/cm²

En la resistencia de 280 kg/cm² se produce un mayor equilibrio entre los diseños convencionales y racionales sumando O'Reilly, con respecto a su resistencia a la compresión obtenida, sin embargo si se ve una mayor diferencia entre su contenido de aire de donde podemos notar que se cumple la tendencia de mayor contenido de aire atrapado a una menor resistencia pero en una pendiente menos pronunciada.

En esta ocasión los diseños de Faury y Porrero & Grases presentan un contenido similar de contenido de aire, sin embargo Porrero & Grases requiere mucho mayor cantidad de cemento que los demás diseños, mientras que Faury cambia radicalmente su proporción de agregados con una alta cantidad de cemento, lo que genera sus comportamiento distinto al resto.

A continuación se muestra la gráfica general de los métodos y resistencias que cumplen con el rango del contenido de aire, mostrando también la distancia con su respectiva resistencia requerida; de donde podemos identificar que el diseño de 280 kg/cm² tiene la mayor cantidad de diseños dentro del rango de aceptación.

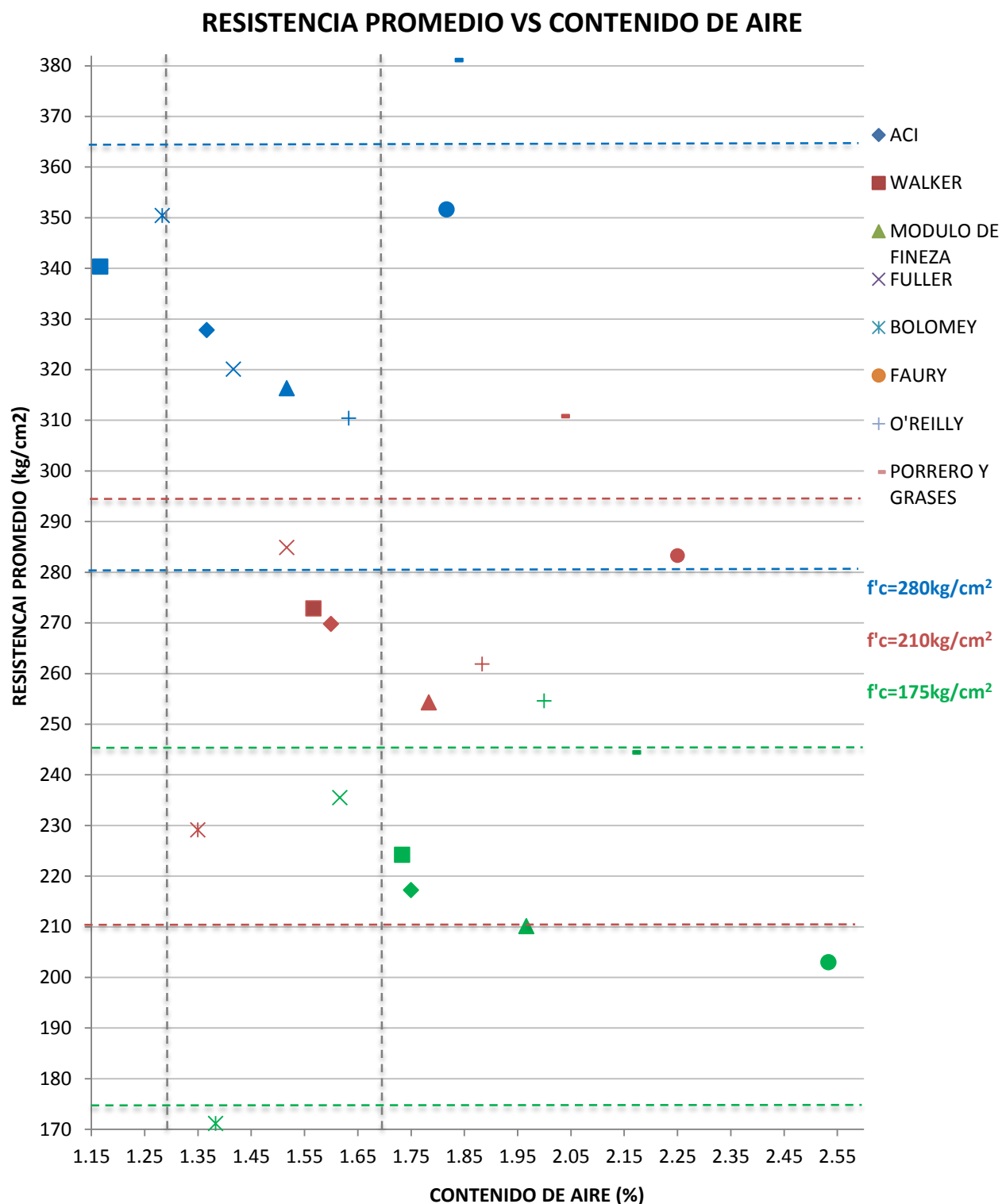


Fig. 5.50. Resistencia Promedio VS Contenido de aire – 175, 210, 280 kg/cm²

Con el siguiente gráfico se muestra la tendencia de todos los diseños de mezcla con respecto a la relación de la resistencia promedio obtenido con el contenido de aire promedio que se obtuvo del ensayo al concreto fresco.

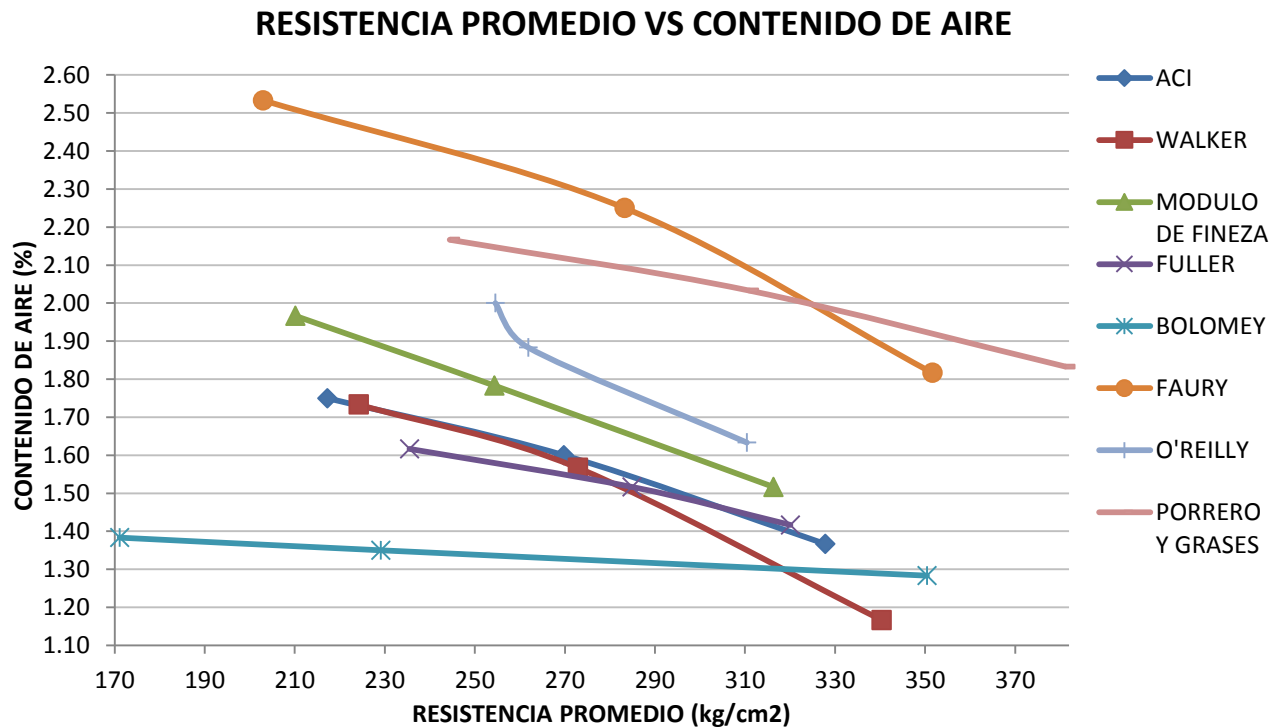


Fig. 5.51. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Contenido de Aire

Con los gráficos se obtendrá ecuaciones que sigan la tendencia de estas rectas según el diseño que se tenga, y poder determinar así una aproximación de la resistencia a la compresión promedio a los 28 días de curado a partir de un dato de contenido de aire (%) o viceversa respectivamente.

$$ACI = -285.02 (Cont. Aire) + 719.72 = (Resist. Compr.)$$

$$WALKER = -198.32 (Cont. Aire) + 574.41 = (Resist. Compr.)$$

$$MÓDULO DE FINEZA = -235.84 (Cont. Aire) + 674.26 = (Resist. Compr.)$$

$$FÜLLER = -423.04 (Cont. Aire) + 921.77 = (Resist. Compr.)$$

$$BOLOMEY = -1796.7 (Cont. Aire) + 2655.8 = (Resist. Compr.)$$

$$FAURY = -203.28 (Cont. Aire) + 726.5 = (Resist. Compr.)$$

$$O'REILLY = -158.96 (\text{Cont. Aire}) + 567.91 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$PORRERO \& \text{ GRASES} = -405.42 (\text{Cont. Aire}) + 1127.5 = (\text{Resist. Compr.})$$

* Las ecuaciones están diseñadas con las siguientes unidades: Contenido de aire (%) y resistencia a la compresión (kg/cm^2).

5.3.2.3. RESISTENCIA PROMEDIO VS PESO UNITARIO

Los siguientes gráficos son comparados con el rango de aceptación propuesto en esta investigación donde el peso unitario tiene un intervalo aceptable de $2240 - 2460 \text{ kg/m}^3$.

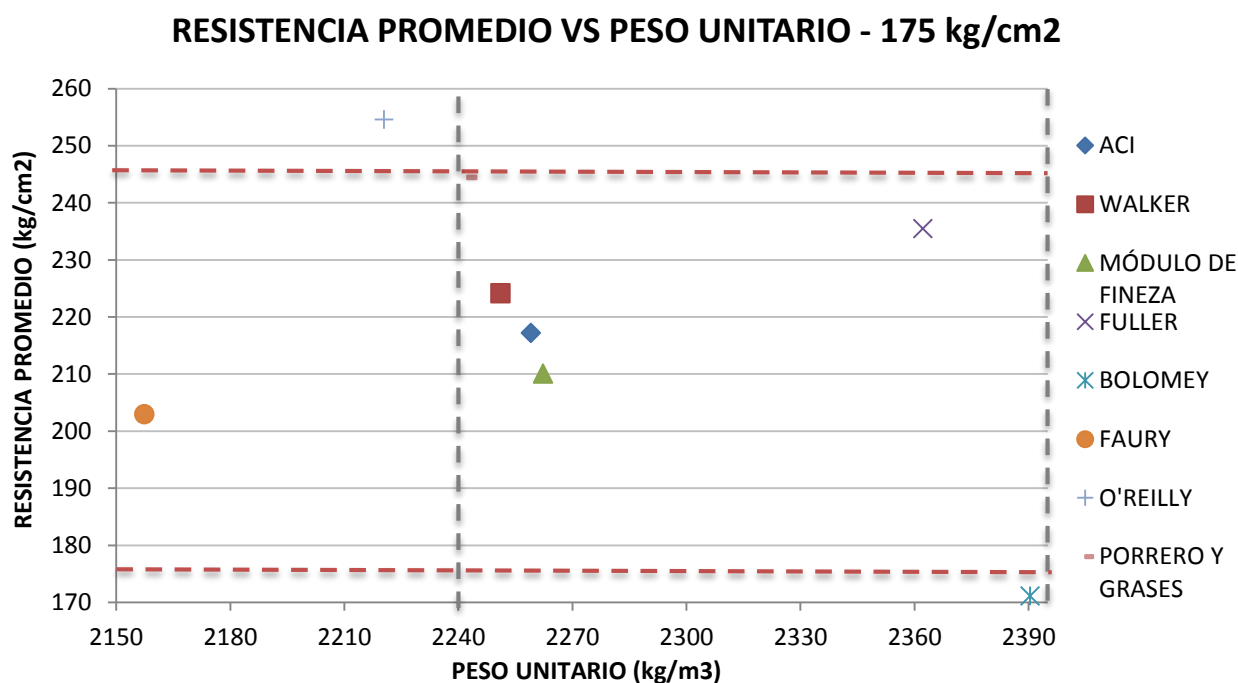


Fig. 5.52. Resistencia Promedio VS Peso Unitario – $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

En una vista general no se puede determinar una tendencia clara que cumpla con todos los diseños de mezcla a la vez, debido a que el peso unitario depende principalmente de la composición de los agregados, ya que cuando un diseño requiera una mayor cantidad de agregado grueso naturalmente su peso unitario aumentara, sin embargo si se reduce su agregado grueso, aumentara el fino y la cantidad de cemento lo que resultara en una mayor resistencia, donde si la proporción no es buena terminara en una resistencia de bajos valores.

Por tanto tras la revisión de la gráfica se determina que los diseños convencionales de ACI, Walker y Módulo de Fineza están dentro del rango muy ajustado del peso normal del concreto. Los diseños de Füller y Bolomey tienen una variación mayor en la resistencia, por lo que siendo estos dos tipos de diseños de la misma naturaleza y con el mismo contenido de cemento, se puede decir que a menor peso unitario se tendrá una mayor resistencia, sin embargo eso se da cuando los valores de peso están relativamente cercanos.

Los diseños de O'Reilly y Porrero Grases al tener una mayor cantidad de agregado fino provoca un bajo peso unitario sin embargo por las proporciones altas del cemento estos diseños tienen una mejor resistencia, sin embargo Faury se diferencia por su contenido muy alto de finos provoca una menor resistencia.

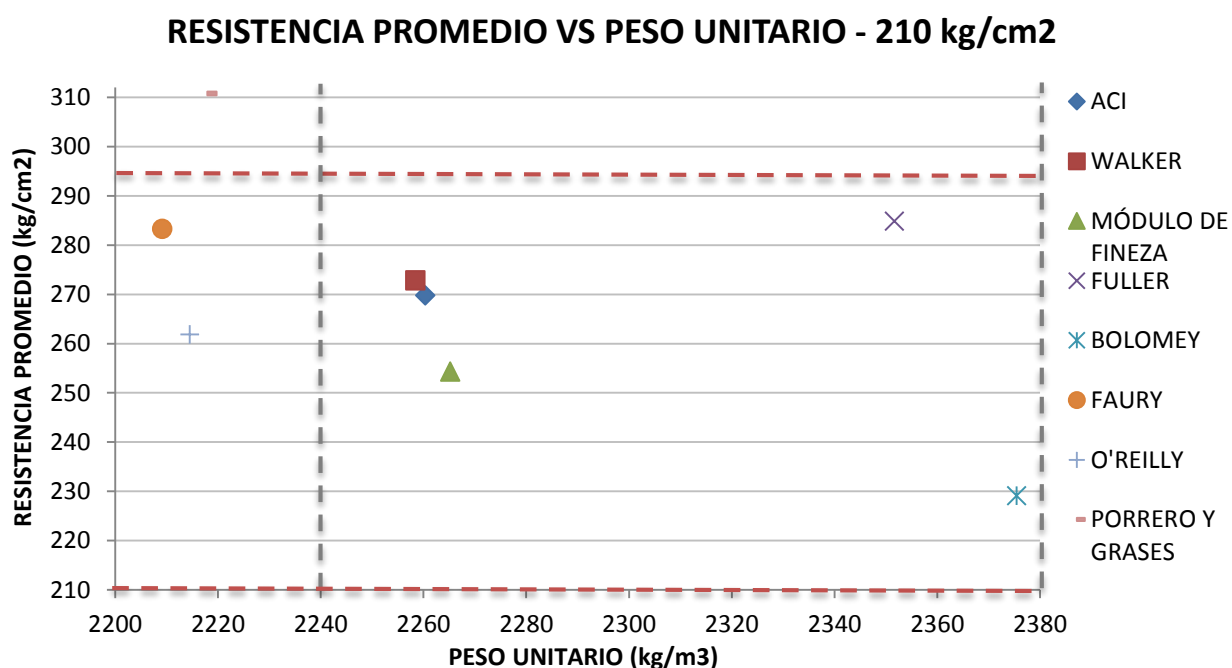


Fig. 5.53. Resistencia Promedio VS Peso Unitario – $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

La tendencia descrita en el diseño anterior se vuelve a cumplir para los diseños convencionales y racionales que además están dentro del rango de peso unitario con diferentes resistencias. Esta vez en los casos de Faury y Porrero & Grases que presentan una similar relación de agregados, se puede ver que la resistencia la determinara la cantidad de cemento, que es mayor en el diseño de Porrero, por lo que genera un menor peso siguiendo la tendencia de un menor peso para una mayor resistencia.

RESISTENCIA PROMEDIO VS PESO UNITARIO - 280 kg/cm²

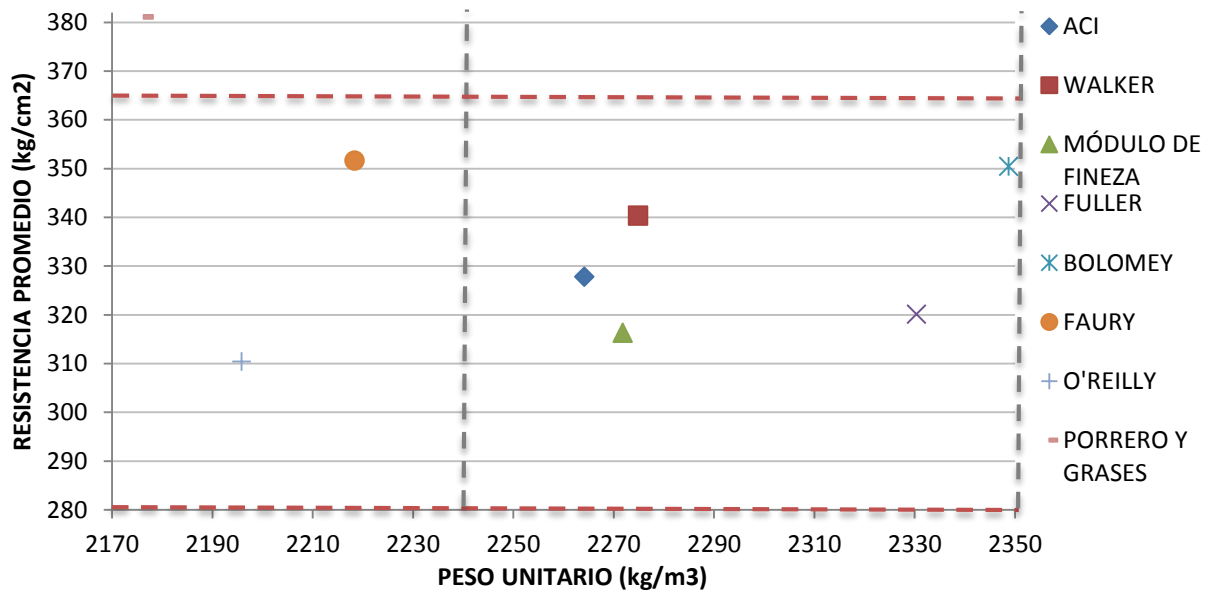


Fig. 5.54. Resistencia Promedio VS Peso Unitario – $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

En cuanto a los diseños convencionales se sigue manteniendo una relativa relación entre el peso y la resistencia, sin embargo en cuando a los diseños racionales estos sufren un cambio debido a que el diseño de Bolomey requiere más peso y obtiene una mejor resistencia. El diseño de Faury otra vez sufre un cambio radical en la proporción de los agregados, por lo que junto con el diseño de O'Reilly y Porrero & Grases, no podrán ser comparados entre sí, siendo el factor del cemento el que defina sus resistencias.

A continuación se muestra la gráfica general de los métodos y resistencias que cumple con el rango del peso unitario como un “concreto de peso normal”, mostrando también la distancia con su respectiva resistencia requerida; de donde podemos reconocer que la variación entre los diseños convencionales con respecto al peso unitario a lo largo de las resistencias es mínima, mientras que para el resto de diseños tiene una variación mucha más marcada especialmente en los diseños de Fuller y Bolomey los cuales tiene un peso unitario cada vez menor cuando se requiere más resistencia.

También se reconoce que la mayoría de resistencias y diseños se encuentran dentro del margen del peso unitario, con la excepción de los diseños de Faury, O'Reilly y Porrero & Grases que son concretos con peso unitarios inferiores a los requeridos.



Con el siguiente grafico se muestra la tendencia de todos los diseños de mezcla con respecto a la relación de la resistencia promedio obtenido con el peso unitario promedio que se obtuvo del ensayo al concreto fresco, donde se nota que los diseños de ACI, Walker, Modulo de Fineza y Faury tienen la tendencia de que a mayor resistencia se necesite, se requerirá un mayor peso unitario para obtenerlo; mientras que para los diseños de Füller, Bolomey, O'Reilly y Porrero & Grases, sucederá lo contrario, donde a mayor resistencia requiera el diseño, el peso unitario de la mezcla disminuirá por aumentar el contenido de finos entre ellos el cemento.

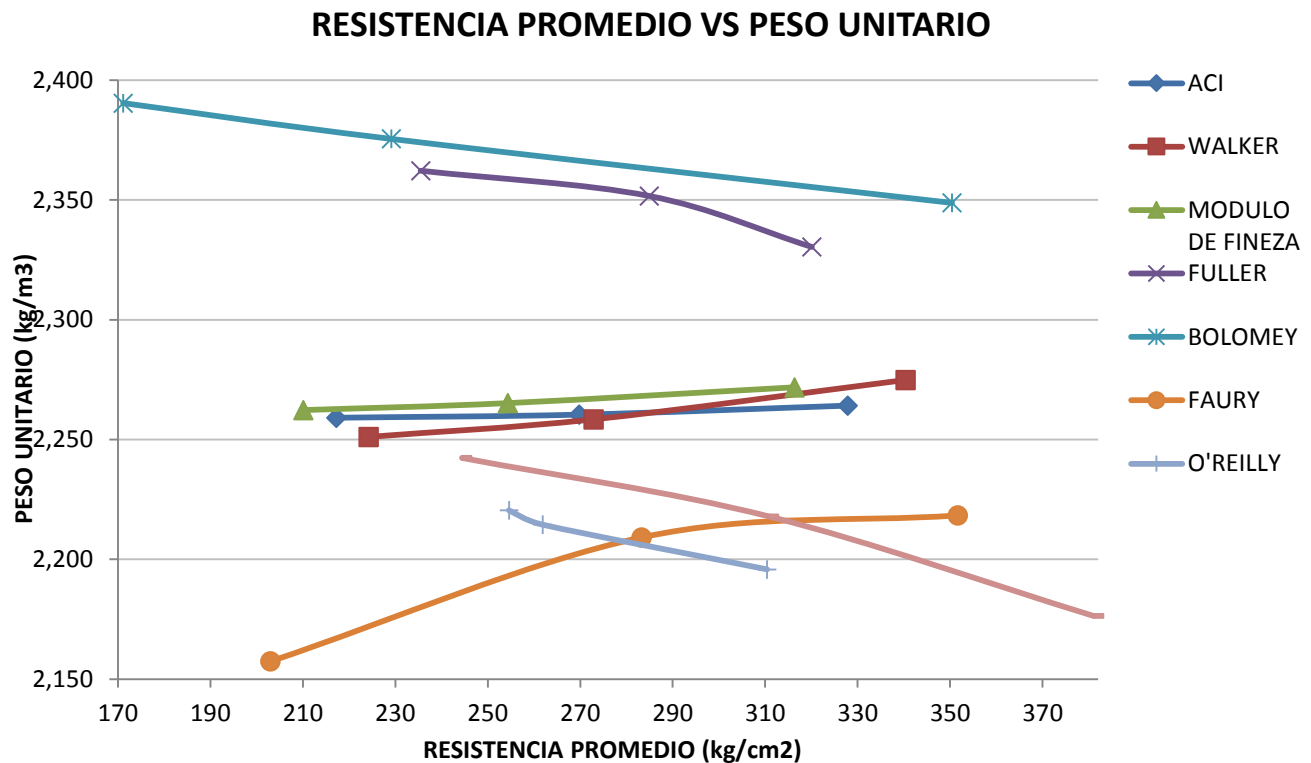


Fig. 5.56. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Peso Unitario

Con los gráficos se obtendrá ecuaciones que sigan la tendencia de estas rectas según el diseño que se tenga, y poder determinar así una aproximación de la resistencia a la compresión promedio a los 28 días de curado a partir de un dato de peso unitario (kg/m³) o viceversa respectivamente.

$$\text{ACI} = 20.445 (P.U.) - 45959 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{WALKER} = 4.7569 (P.U.) - 10478 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\text{MÓDULO DE FINEZA} = 10.848 (P.U.) - 24327 = (\text{Resist. Compr.})$$

$$\begin{aligned}
 \text{FÜLLER*} &= -4.6947 (P.U.) + 11325 = (\text{Resist. Compr.}) * \\
 &= -1.6538 (P.U.) + 4174 = (\text{Resist. Compr.}) * \\
 \text{BOLOMEY} &= -4.3309 (P.U.) + 10521 = (\text{Resist. Compr.}) \\
 \text{FAURY*} &= 1.5515 (P.U.) - 3144.1 = (\text{Resist. Compr.}) * \\
 &= 7.4357 (P.U.) - 16143 = (\text{Resist. Compr.}) * \\
 \text{O'REILLY} &= -2.3446 (P.U.) + 5457.7 = (\text{Resist. Compr.}) \\
 \text{PORRERO \& GRASES} &= -2.0304 (P.U.) + 4803.8 = (\text{Resist. Compr.})
 \end{aligned}$$

* Los diseños de Füller y Faury presentan gráficos con un comportamiento muy disperso por lo que se generó dos ecuaciones con las dos marcadas pendientes que presentan, siendo la primera ecuación aplicable para resistencias de hasta $f'_{cr}=285 \text{ kg/cm}^2$ en ambos diseños. Las ecuaciones están diseñadas para las siguientes unidades: Peso Unitario (kg/m^3) y Resistencia a la Compresión (kg/cm^2)

En esta ocasión se muestra que las ecuaciones tienen una diferente pendiente al ser algunas positivas o negativas, con lo que podemos reconocer que los diseños ACI, Walker, Modulo de Fineza y Faury requieren menos peso unitario es decir menos peso de los componentes reduciendo la cantidad del agregado grueso para obtener una mejor resistencia, sin embargo en los diseños de Füller, Bolomey, O'Reilly y Porrero & Grases ocurre lo contrario aumentando el peso unitario con una diferente proporción de los agregados para obtener una resistencia más alta.

5.3.2.4. CUADRO COMPARATIVO CON LAS RESISTENCIAS PROMEDIOS EXACTAS

Habiendo obtenido las fórmulas para obtener los resultados dependiendo de los requisitos necesarios, se realizara a continuación un análisis de los resultados de las propiedades físicas si los diseños establecidos habrían obtenido la resistencia requerida exacta de f'_{cr} con 245, 294 y 364 kg/cm^2 . Y poder analizar qué requisitos cumplen dentro de los rangos ya establecidos anteriormente, la gama de colores establecida nos permitirá hacer una rápida inspección visual siendo el color amarillo un resultado por debajo del rango impuesto, un color verde cuando se encuentre dentro del rango y uno rojo cuando sea superior a este.

LIMITE INFERIOR		3.5	-12.5%	1.3	-13.3%	2240	-4.7%
VALOR OPTIMO		4	0.0%	1.5	0.0%	2350	0.0%
LIMITE SUPERIOR		4.5	12.5%	1.7	13.3%	2460	4.7%
F'CR (kg/cm2)	MÉTODO	ASENTAMIENTO		CONTENIDO DE AIRE		PESO UNITARIO	
		(plg)	%	(%)	%	(kg/m3)	%
245	ACI	4.03	0.8%	1.67	11.0%	2259.92	-3.8%
	WALKER	3.84	-3.9%	1.66	10.7%	2254.20	-4.1%
	MÓDULO DE FINEZA	3.81	-4.7%	1.82	21.3%	2265.12	-3.6%
	FÜLLER	3.56	-11.0%	1.60	6.7%	2360.11	0.4%
	BOLOMEY	3.77	-5.8%	1.34	-10.5%	2372.72	1.0%
	FAURY	2.55	-36.3%	2.37	57.9%	2184.40	-7.0%
	O'REILLY	3.42	-14.5%	2.03	35.4%	2223.28	-5.4%
	PORRERO & GRASES	3.47	-13.2%	2.18	45.1%	2245.27	-4.5%
294	ACI	3.25	-18.6%	1.49	-0.4%	2262.31	-3.7%
	WALKER	3.08	-23.0%	1.41	-5.7%	2264.50	-3.6%
	MÓDULO DE FINEZA	3.07	-23.1%	1.61	7.5%	2269.63	-3.4%
	FÜLLER	3.09	-22.8%	1.48	-1.1%	2346.11	-0.2%
	BOLOMEY	3.09	-22.8%	1.31	-12.4%	2361.40	0.5%
	FAURY	2.44	-39.1%	2.13	41.8%	2210.55	-5.9%
	O'REILLY	3.26	-18.4%	1.72	14.9%	2202.38	-6.3%
	PORRERO & GRASES	2.97	-25.9%	2.06	37.1%	2221.14	-5.5%
364	ACI	2.14	-46.4%	1.25	-16.8%	2265.74	-3.6%
	WALKER	1.98	-50.4%	1.06	-29.3%	2279.22	-3.0%
	MÓDULO DE FINEZA	2.02	-49.5%	1.32	-12.3%	2276.09	-3.1%
	FÜLLER	2.41	-39.6%	1.32	-12.1%	2303.79	-2.0%
	BOLOMEY	2.12	-46.9%	1.28	-15.0%	2345.24	-0.2%
	FAURY	2.28	-43.0%	1.78	18.9%	2219.97	-5.5%
	O'REILLY	3.04	-23.9%	1.28	-14.5%	2172.52	-7.6%
	PORRERO & GRASES	2.24	-44.0%	1.88	25.5%	2186.66	-7.0%

Cuadro 5.31. Cuadro comparativo de los valores resultantes de la resistencia requerida exacta dentro de los rangos de aceptación

A partir del grafico anterior se puede sacar las siguientes conclusiones sobre la comparación de los diseños de mezcla cuando todos hayan alcanzado la misma resistencia promedio requerida es la siguiente:

En la resistencia de $f'_{cr} = 245 \text{ kg/cm}^2$, los diseños que cumplirían con las propiedades impuestas obteniendo resultados que estén dentro de los rangos establecidos son los diseños de ACI, Walker, Füller y Bolomey; por el contrario el diseño de Faury en esta resistencia no cumple con ninguno de los requerimientos obteniendo valores muy alejados de los requeridos.

Cuando los diseños lleguen a una resistencia de 294 kg/cm^2 , ninguno cumplirá con los tres requerimientos a la vez, especialmente con el de asentamiento, sin embargo estos resultados son cercanos a los impuestos en el rango de aceptación, ya que si se tomara el rango impuesto por los diseños convencionales de 3 a 4 pulgadas, los diseños de ACI, Walker, Modulo de Fineza, Füller, y Bolomey cumplirían con el asentamiento y también con los otros dos requerimientos de contenido de aire y peso unitario. Los diseños de Faury, O'Reilly y Porrero & Grases, no cumplen nuevamente con ninguno de los requerimientos.

En el caso de la última resistencia de $f'_{cr}=364 \text{ kg/cm}^2$, ningún diseño cumple con los tres requisitos siendo los valores de asentamiento más distantes del requerido, con valores pertenecientes a una mezcla seca y de poca trabajabilidad, lo que indicaría la necesidad de un aumento de agua en la mezcla para obtener los valores esperados.

5.3.2.5. CUADRO COMPARATIVO DEL RANGO DE RESISTENCIAS PARA CUMPLIR CON LOS INTERVALOS DE ACEPTACIÓN

A continuación se muestra un cuadro comparativo que con la ayuda de las ecuaciones anteriormente descritas, se logró obtener rangos de resistencias donde se cumplan cada una de las propiedades que se trabajó en esta investigación.

El fin de esta comparación es poder obtener un rango de resistencia de cada diseño que cumpla con los tres intervalos de aceptación, para poder realizar un análisis sobre la amplitud del rango de la resistencia y poder determinar en qué resistencias el concreto se manejara de una mejor manera.

LIMITE INFERIOR		3.5	1.3	2240	Para cumplir con el intervalo de las tres propiedades simultáneamente	
VALOR OPTIMO		4	1.5	2350		
LIMITE SUPERIOR		4.5	1.7	2460		
MÉTODO	LIMITE	ASENTAMIENTO	CONTENIDO DE AIRE	PESO UNITARIO	RANGO DE RESISTENCIA	DIFERENCIA
ACI	LIMITE SUPERIOR	278.52	349.19	4335.70	278.52	43.33
	LIMITE INFERIOR	215.48	235.19	-162.20	235.19	
WALKER	LIMITE SUPERIOR	267.03	316.59	1223.97	267.03	29.77
	LIMITE INFERIOR	203.03	237.27	177.46	237.27	
MÓDULO DE FINEZA	LIMITE SUPERIOR	265.77	367.67	2359.08	265.77	-7.56
	LIMITE INFERIOR	199.39	273.33	-27.48	273.33	
FÜLLER	LIMITE SUPERIOR	251.33	371.82	808.87	251.33	48.72
	LIMITE INFERIOR	147.52	202.60	105.65	202.60	
BOLOMEY	LIMITE SUPERIOR	264.29	320.09	819.78	264.29	72.38
	LIMITE INFERIOR	191.91	-398.59	-133.01	191.91	
FAURY	LIMITE SUPERIOR	-26.94	462.24	672.59	-26.94	-407.87
	LIMITE INFERIOR	-432.22	380.92	331.26	380.92	
O'REILLY	LIMITE SUPERIOR	219.28	361.26	205.80	205.80	-91.88
	LIMITE INFERIOR	-97.64	297.68	-310.02	297.68	
PORRERO & GRASES	LIMITE SUPERIOR	242.32	600.45	255.70	242.32	-195.96
	LIMITE INFERIOR	145.68	438.29	-190.98	438.29	

Cuadro 5.32. Cuadro comparativo del rango de las resistencias para cumplir con el intervalo de aceptación

Tras la revisión y análisis de la tabla se puede concluir con lo siguiente:

Considerando todos los diseños de mezcla a la vez, no existe un rango de resistencias en que cumpla con todos los requerimientos ya que siempre alguno de los diseños no cumplirá con una de sus requisitos impuestos en estas tres propiedades fundamentales, sin embargo si solo se considera a los diseños que presentan una diferencia positiva entre los valores de su rango, es decir los diseños de ACI, Walker, Füller y Bolomey, se podrá obtener un rango de resistencias que va desde 238 al 251 kg/cm², donde todos los requerimientos tiende cumplirán con los márgenes establecidos.

Cuando el valor de la diferencia entre los resultados obtenidos del rango de resistencias de cada diseño sea positivo va a significar que existe un rango de resistencias donde se cumpla los tres requerimientos, como se da en los casos de ACI, Walker, Füller y Bolomey, siendo este último el que tiene un mayor margen de resistencias donde se cumpla con lo solicitado. Sin embargo si el valor de la diferencia mostrada en la tabla da un valor negativo, significara que no existe un rango donde se cumpla con los tres requerimientos por lo que se tendrá que analizar y descartar algún requerimiento por su menor importancia para seleccionar el diseño considerando solo dos propiedades, o de lo contrario se tendrá que modificar la mezcla a fin de obtener los resultado esperados.

Un aspecto relevante a considerar es que tomando independientemente cada propiedad y analizando sus rangos de aceptación se puede observar que el diseño de Faury, no cumplirá en ninguna resistencia con el asentamiento requerido ya que presenta valores negativos, por lo que si se desea utilizar en obra , tendrá necesariamente que añadirse agua a la mezcla, para ganar asentamiento.

Cabe recalcar que si se amplían los rangos de aceptación de las propiedades, el rango de resistencias donde se cumplan los requerimientos también crecerá, siendo más accesible a cumplir con lo deseado.

5.4. RELACIÓN COSTO – BENEFICIO

5.4.1. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

En el siguiente apartado se mostrara las tablas con los costos unitarios de cada componente resultante de cada diseño de mezcla propuesto en la presente investigación con cada uno de sus resistencias requeridas con el objetivo de tener su valor total requerido para producir una cantidad de 1 m³ de concreto, con esto posteriormente hacer una análisis de comparación entre los resultados y la variación entre estos.

RESISTENCIA PROMEDIO F'C =175 kg/cm ²						
Método	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)	Total (S/.)
ACI	Cemento	7.231	bls	S/. 20.50	S/. 148.24	S/. 189.20
	Agregado Grueso 1"	0.405	m3	S/. 65.00	S/. 26.35	
	Agregado Fino	0.282	m3	S/. 50.00	S/. 14.12	
	Agua	0.208	m3	S/. 2.35	S/. 0.49	
WALKER	Cemento	7.381	bls	S/. 20.50	S/. 151.31	S/. 191.87
	Agregado Grueso 1"	0.399	m3	S/. 65.00	S/. 25.93	
	Agregado Fino	0.283	m3	S/. 50.00	S/. 14.14	
	Agua	0.212	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
MÓDULO DE FINEZA	Cemento	7.231	bls	S/. 20.50	S/. 148.24	S/. 189.36
	Agregado Grueso 1"	0.394	m3	S/. 65.00	S/. 25.64	
	Agregado Fino	0.300	m3	S/. 50.00	S/. 14.99	
	Agua	0.208	m3	S/. 2.35	S/. 0.49	
FÜLLER	Cemento	7.496	bls	S/. 20.50	S/. 153.66	S/. 195.68
	Agregado Grueso 1"	0.424	m3	S/. 65.00	S/. 27.57	
	Agregado Fino	0.279	m3	S/. 50.00	S/. 13.95	
	Agua	0.214	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
BOLOMEY	Cemento	7.496	bls	S/. 20.50	S/. 153.66	S/. 196.13
	Agregado Grueso 1"	0.455	m3	S/. 65.00	S/. 29.60	
	Agregado Fino	0.247	m3	S/. 50.00	S/. 12.37	
	Agua	0.213	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
FAURY	Cemento	7.964	bls	S/. 20.50	S/. 163.26	S/. 200.97
	Agregado Grueso 1"	0.279	m3	S/. 65.00	S/. 18.14	
	Agregado Fino	0.381	m3	S/. 50.00	S/. 19.03	
	Agua	0.228	m3	S/. 2.35	S/. 0.54	
O'REILLY	Cemento	7.929	bls	S/. 20.50	S/. 162.54	S/. 201.70
	Agregado Grueso 1"	0.359	m3	S/. 65.00	S/. 23.36	
	Agregado Fino	0.306	m3	S/. 50.00	S/. 15.28	
	Agua	0.221	m3	S/. 2.35	S/. 0.52	
PORRERO & GRASES	Cemento	7.721	bls	S/. 20.50	S/. 158.28	S/. 198.67
	Agregado Grueso 1"	0.328	m3	S/. 65.00	S/. 21.30	
	Agregado Fino	0.372	m3	S/. 50.00	S/. 18.59	
	Agua	0.215	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	

Cuadro 5.33. Costo Unitario de los diseños de mezcla para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

RESISTENCIA PROMEDIO F'C =210 kg/cm ²						
Método	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)	Total (S/.)
ACI	Cemento	8.132	bls	S/. 20.50	S/. 166.72	S/. 207.00
	Agregado Grueso 1"	0.405	m3	S/. 65.00	S/. 26.35	
	Agregado Fino	0.269	m3	S/. 50.00	S/. 13.44	
	Agua	0.207	m3	S/. 2.35	S/. 0.49	
WALKER	Cemento	8.301	bls	S/. 20.50	S/. 170.17	S/. 210.10
	Agregado Grueso 1"	0.403	m3	S/. 65.00	S/. 26.20	
	Agregado Fino	0.265	m3	S/. 50.00	S/. 13.23	
	Agua	0.211	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
MÓDULO DE FINEZA	Cemento	8.132	bls	S/. 20.50	S/. 166.72	S/. 207.15
	Agregado Grueso 1"	0.395	m3	S/. 65.00	S/. 25.68	
	Agregado Fino	0.285	m3	S/. 50.00	S/. 14.26	
	Agua	0.208	m3	S/. 2.35	S/. 0.49	
FÜLLER	Cemento	8.527	bls	S/. 20.50	S/. 174.80	S/. 215.91
	Agregado Grueso 1"	0.415	m3	S/. 65.00	S/. 26.97	
	Agregado Fino	0.273	m3	S/. 50.00	S/. 13.64	
	Agua	0.213	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
BOLOMEY	Cemento	8.527	bls	S/. 20.50	S/. 174.80	S/. 216.28
	Agregado Grueso 1"	0.440	m3	S/. 65.00	S/. 28.61	
	Agregado Fino	0.247	m3	S/. 50.00	S/. 12.36	
	Agua	0.213	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
FAURY	Cemento	9.060	bls	S/. 20.50	S/. 185.73	S/. 222.81
	Agregado Grueso 1"	0.293	m3	S/. 65.00	S/. 19.05	
	Agregado Fino	0.350	m3	S/. 50.00	S/. 17.50	
	Agua	0.227	m3	S/. 2.35	S/. 0.53	
O'REILLY	Cemento	8.803	bls	S/. 20.50	S/. 180.46	S/. 218.57
	Agregado Grueso 1"	0.350	m3	S/. 65.00	S/. 22.72	
	Agregado Fino	0.297	m3	S/. 50.00	S/. 14.86	
	Agua	0.226	m3	S/. 2.35	S/. 0.53	
PORRERO & GRASES	Cemento	9.393	bls	S/. 20.50	S/. 192.55	S/. 231.04
	Agregado Grueso 1"	0.312	m3	S/. 65.00	S/. 20.27	
	Agregado Fino	0.354	m3	S/. 50.00	S/. 17.69	
	Agua	0.223	m3	S/. 2.35	S/. 0.52	

Cuadro 5.34. Costo Unitario de los diseños de mezcla para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

RESISTENCIA PROMEDIO F'C =280 kg/cm ²						
Método	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)	Total (S/.)
ACI	Cemento	9.745	bls	S/. 20.50	S/. 199.77	S/. 238.84
	Agregado Grueso 1"	0.405	m3	S/. 65.00	S/. 26.35	
	Agregado Fino	0.245	m3	S/. 50.00	S/. 12.23	
	Agua	0.206	m3	S/. 2.35	S/. 0.48	
WALKER	Cemento	9.947	bls	S/. 20.50	S/. 203.91	S/. 242.69
	Agregado Grueso 1"	0.409	m3	S/. 65.00	S/. 26.60	
	Agregado Fino	0.234	m3	S/. 50.00	S/. 11.68	
	Agua	0.210	m3	S/. 2.35	S/. 0.49	
MÓDULO DE FINEZA	Cemento	9.745	bls	S/. 20.50	S/. 199.77	S/. 239.00
	Agregado Grueso 1"	0.397	m3	S/. 65.00	S/. 25.81	
	Agregado Fino	0.259	m3	S/. 50.00	S/. 12.93	
	Agua	0.207	m3	S/. 2.35	S/. 0.49	
FÜLLER	Cemento	10.000	bls	S/. 20.50	S/. 205.01	S/. 244.81
	Agregado Grueso 1"	0.402	m3	S/. 65.00	S/. 26.10	
	Agregado Fino	0.264	m3	S/. 50.00	S/. 13.20	
	Agua	0.213	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
BOLOMEY	Cemento	10.000	bls	S/. 20.50	S/. 205.01	S/. 245.05
	Agregado Grueso 1"	0.419	m3	S/. 65.00	S/. 27.21	
	Agregado Fino	0.247	m3	S/. 50.00	S/. 12.34	
	Agua	0.212	m3	S/. 2.35	S/. 0.50	
FAURY	Cemento	10.625	bls	S/. 20.50	S/. 217.82	S/. 254.00
	Agregado Grueso 1"	0.313	m3	S/. 65.00	S/. 20.35	
	Agregado Fino	0.306	m3	S/. 50.00	S/. 15.31	
	Agua	0.226	m3	S/. 2.35	S/. 0.53	
O'REILLY	Cemento	10.539	bls	S/. 20.50	S/. 216.05	S/. 251.85
	Agregado Grueso 1"	0.328	m3	S/. 65.00	S/. 21.31	
	Agregado Fino	0.279	m3	S/. 50.00	S/. 13.93	
	Agua	0.239	m3	S/. 2.35	S/. 0.56	
PORRERO & GRASES	Cemento	12.365	bls	S/. 20.50	S/. 253.48	S/. 288.74
	Agregado Grueso 1"	0.285	m3	S/. 65.00	S/. 18.53	
	Agregado Fino	0.324	m3	S/. 50.00	S/. 16.18	
	Agua	0.235	m3	S/. 2.35	S/. 0.55	

Cuadro 5.35. Costo Unitario de los diseños de mezcla para un $f'c=280$ kg/cm²

Tras la revisión de los cuadros anteriores donde se obtiene el costo unitario de cada diseño requerido para producir 1 m³ de concreto, se puede hacer el siguiente grafico donde se muestra una comparación mucha más clara del costo unitario entre los diseños a lo largo de sus resistencias.

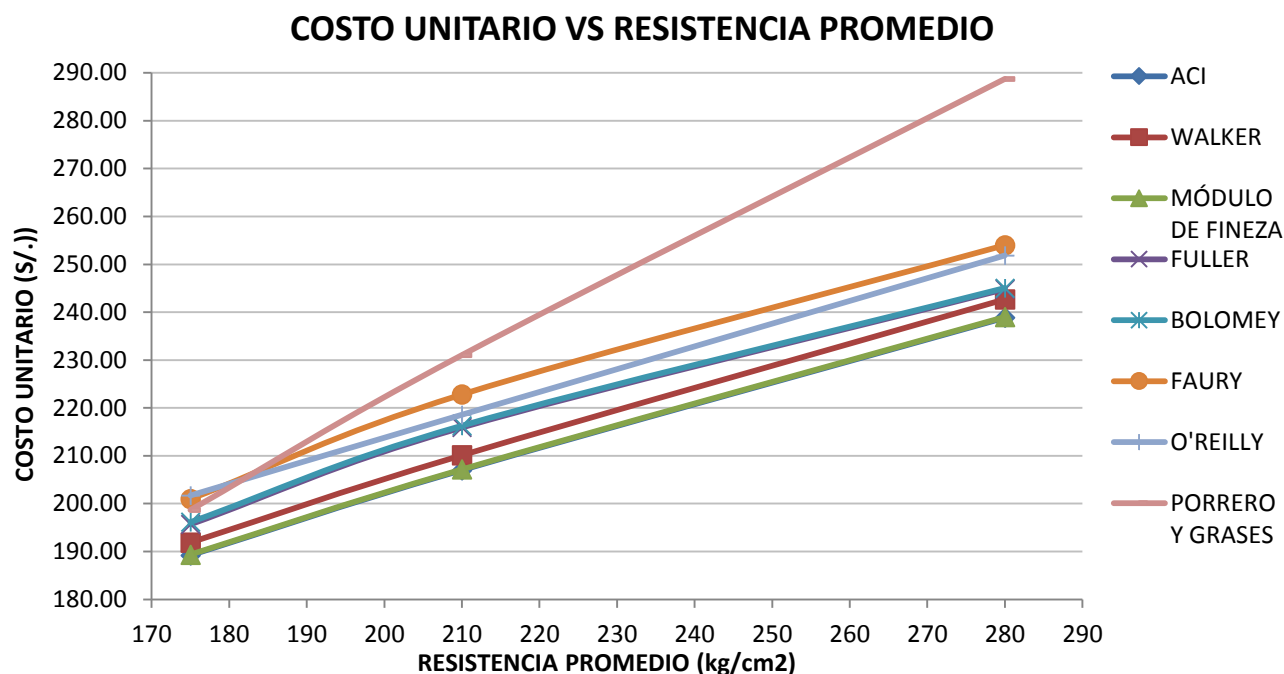


Fig. 5.57. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Costo Unitario

A continuación se muestra la tabla resumen de los costos unitarios en las tres resistencias $f'c$ requeridas, haciendo una comparación porcentual de cada caso con el diseño base de ACI (100%).

COSTO UNITARIO						
Método	175 kg/cm ²		210 kg/cm ²		280 kg/cm ²	
	S/.	%	S/.	%	S/.	%
ACI	189.20	100.00%	207.00	100.00%	238.84	100.00%
WALKER	191.87	101.41%	210.10	101.50%	242.69	101.61%
MÓDULO DE FINEZA	189.36	100.08%	207.15	100.07%	239.00	100.07%
FÜLLER	195.68	103.42%	215.91	104.31%	244.81	102.50%
BOLOMEY	196.13	103.66%	216.28	104.48%	245.05	102.60%
FAURY	200.97	106.22%	222.81	107.64%	254.00	106.35%
O'REILLY	201.70	106.61%	218.57	105.59%	251.85	105.45%
PORRERO & GRASES	198.67	105.00%	231.04	111.61%	288.74	120.89%

Cuadro 5.36. Costo Unitario de los diseños de mezcla – 175,210 y 280 kg/cm²

Los diseños convencionales de ACI y Módulo de Fineza tienen un costo unitario casi igual en sus tres resistencias debido a que tienen una proporción de componentes parecido, con una misma tendencia de crecimiento además se reconoce que estos son los que tiene un menor precio comparado con los demás diseños, seguido por Walker, donde a mayor resistencias requiere un mayor costo para su producción.

Los diseños racionales de Füller y Bolomey siguen relativamente la misma tendencia que los diseños convencionales, siendo estos más costosos en un porcentaje aproximado del 2.5 al 4.5%; el diseño de Faury es más costoso que estos dos diseños anteriores. Referente al diseño de O'Reilly, este en bajas resistencias es más costoso que Faury pero en resistencias superiores como 280 kg/cm² se asemeja más a los diseños racionales de Füller y Bolomey con un ligero incremento en el costo del concreto por metro cubico.

Para finalizar el diseño de Porrero & Grases es el único que descompagina con la tendencia de crecimiento referente al costo, ya que tiene una gran pendiente, concluyendo que mientras se trabaje con una menor resistencia el costo será menor como se ve en la resistencia de 175 kg/cm², que llega a asemejarse a los diseños de racionales, sin embargo a mayor resistencia el costo del concreto se dispara siendo superior a los diseños convencionales hasta en un porcentaje del 20%.

Haciendo una comparación entre las resistencias se puede calcular que para: un $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, el costo aproximado varia de S/.189 a S/.200, para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ varia de S/.207 a S/.230 y para un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ un costo aproximado de S/.238 a S/.290, estos rangos dependen del diseño a usar, de donde se concluye que a una mayor resistencia se necesitara una mayor gasto económico.

5.4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO COSTO - BENEFICIO

Tomando en consideración la Guía del PMBOK (Guía de los Fundamentos para la Gestión de Proyectos) propuesta por el PMI (Project Management Institute), donde hace referencia al análisis de la relación Costo-Beneficio en el capítulo 8 sobre “Gestión de la calidad del Proyecto”, el cual indica los beneficios de cumplir con los requisitos de calidad, siendo donde implique menor trabajo con una mayor productividad y satisfacción de los interesados utilizando menores recursos (es decir con costos menores), por lo que a continuación se analizara los resultados de las propiedades obtenidas anteriormente con el costo de cada diseño de mezcla para determinar su nivel de calidad.

Dado la cantidad de propiedades que se analizó, se multiplicara el beneficio de cada una por un factor que dependerá de su nivel de importancia en las propiedades de la mezcla, siendo la resistencia a la compresión la más importante con un factor de 1.00 (100% del beneficio), el asentamiento con un factor de 0.50, contenido de aire con un factor de 0.3 y peso unitario del concreto con un factor de 0.1, posteriormente se sumara los beneficios y se obtendrá un total siendo el beneficio ideal de 190%. En este caso las propiedades de asentamiento y contenido de aire se consideraran como valor exacto por lo que un resultado superior o inferior al requerido significara un menor porcentaje de beneficio.

F'CR (kg/cm ²)	MÉTODO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		ASENTAMIENTO		CONTENIDO DE AIRE		PESO UNITARIO		BENEFICIO
		FACTOR	1.00	FACTOR	0.50	FACTOR	0.30	FACTOR	0.10	1.90
		kg/cm2	%	(plg)	%	(%)	%	(kg/m3)	%	%
245	ACI	217.23	59.68%	4.03	99.2%	1.75	83.3%	2259.10	96.1%	143.87%
	WALKER	224.18	61.59%	4.13	96.7%	1.73	84.4%	2251.10	95.8%	144.83%
	MÓDULO DE FINEZA	210.09	57.72%	4.30	92.5%	1.97	68.9%	2262.29	96.3%	134.26%
	FÜLLER	235.48	64.69%	3.60	90.0%	1.62	92.2%	2362.19	100.5%	147.41%
	BOLOMEY	171.12	47.01%	4.80	80.0%	1.38	92.2%	2390.43	101.7%	124.85%
	FAURY	202.97	55.76%	2.93	73.3%	2.53	31.1%	2157.38	91.8%	110.94%
	O'REILLY	254.57	69.94%	3.40	85.0%	2.00	66.7%	2220.48	94.5%	141.89%
	PORRERO & GRASES	244.42	67.15%	3.43	85.8%	2.17	55.6%	2242.33	95.4%	136.27%
294	ACI	269.78	74.11%	3.53	88.3%	1.60	93.3%	2260.38	96.2%	155.90%
	WALKER	272.86	74.96%	3.47	86.7%	1.57	95.6%	2258.43	96.1%	156.57%
	MÓDULO DE FINEZA	254.30	69.86%	3.73	93.3%	1.78	81.1%	2265.19	96.4%	150.50%
	FÜLLER	284.89	78.27%	3.27	81.7%	1.52	98.9%	2351.67	100.1%	158.77%
	BOLOMEY	229.13	62.95%	3.97	99.2%	1.35	90.0%	2375.48	101.1%	149.64%
	FAURY	283.28	77.82%	2.73	68.3%	2.25	50.0%	2209.14	94.0%	136.39%
	O'REILLY	261.84	71.93%	3.35	83.8%	1.88	74.4%	2214.48	94.2%	145.57%
	PORRERO & GRASES	310.82	85.39%	2.87	71.7%	2.03	64.4%	2217.90	94.4%	149.99%
364	ACI	327.81	90.06%	2.47	61.7%	1.37	91.1%	2264.14	96.3%	157.86%
	WALKER	340.33	93.50%	2.33	58.3%	1.17	77.8%	2274.86	96.8%	155.68%
	MÓDULO DE FINEZA	316.33	86.90%	2.72	67.9%	1.52	98.9%	2271.81	96.7%	160.19%
	FÜLLER	320.09	87.94%	2.80	70.0%	1.42	94.4%	2330.38	99.2%	161.19%
	BOLOMEY	350.42	96.27%	2.32	57.9%	1.28	85.6%	2348.76	99.9%	160.89%
	FAURY	351.61	96.60%	2.57	64.2%	1.82	78.9%	2218.33	94.4%	161.79%
	O'REILLY	310.42	85.28%	3.22	80.4%	1.63	91.1%	2195.81	93.4%	162.16%
	PORRERO & GRASES	381.11	104.70%	2.03	50.8%	1.83	77.8%	2176.33	92.6%	162.71%

Cuadro 5.37. Análisis de Costo - Beneficio de los diseños de mezcla.

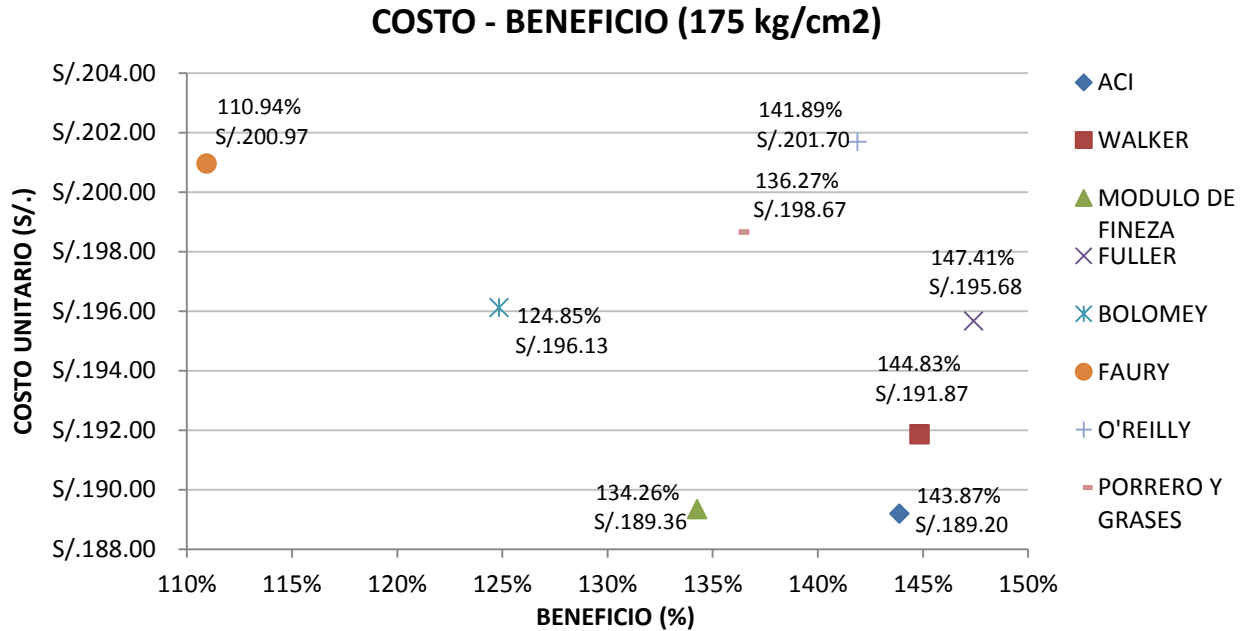


Fig. 5.58. Figura Comparativa Costo – Beneficio, $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Haciendo el análisis del costo-beneficio de la resistencia de 175 kg/cm^2 , se puede obtener que los diseños más convenientes a usarse son los convencionales (ACI y Walker) por representar un menor costo con un mejor beneficio, siendo el más óptimo el de ACI. El siguiente diseño a usar es el de Fuller por su buen beneficio pero mayor costo. El diseño más deficiente que se muestra es Faury, por su alto costo por metro cubico y poco beneficio respecto a sus propiedades.

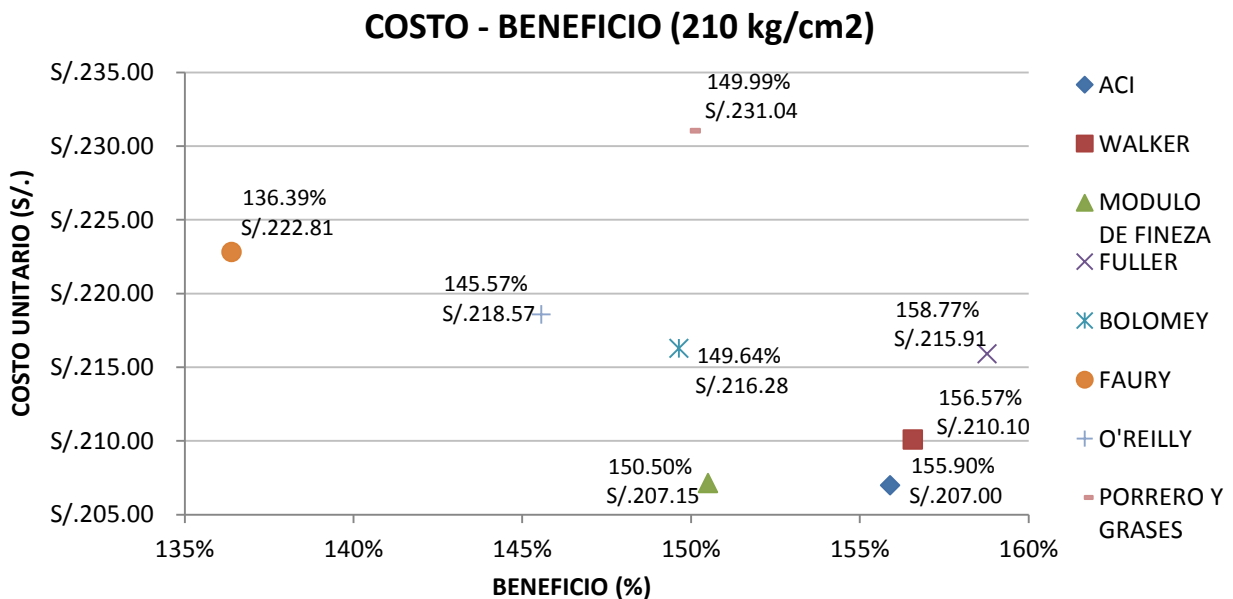


Fig. 5.59. Figura Comparativa Costo – Beneficio, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

En esta resistencia nuevamente se presenta el mayor beneficio/costo en los diseños convencionales de Walker y ACI, seguido por Füller con un mayor costo y relativo mayor beneficio; comparando los diseños de Bolomey, Modulo de Fineza y Porrero & Grases estos presentan un similar beneficio pero el más óptimo de estos es el diseño de Modulo de Fineza por su menor costo seguido por Bolomey. Nuevamente el diseño de Faury es el que presente menos beneficio, debido a su bajo asentamiento y peso unitario.

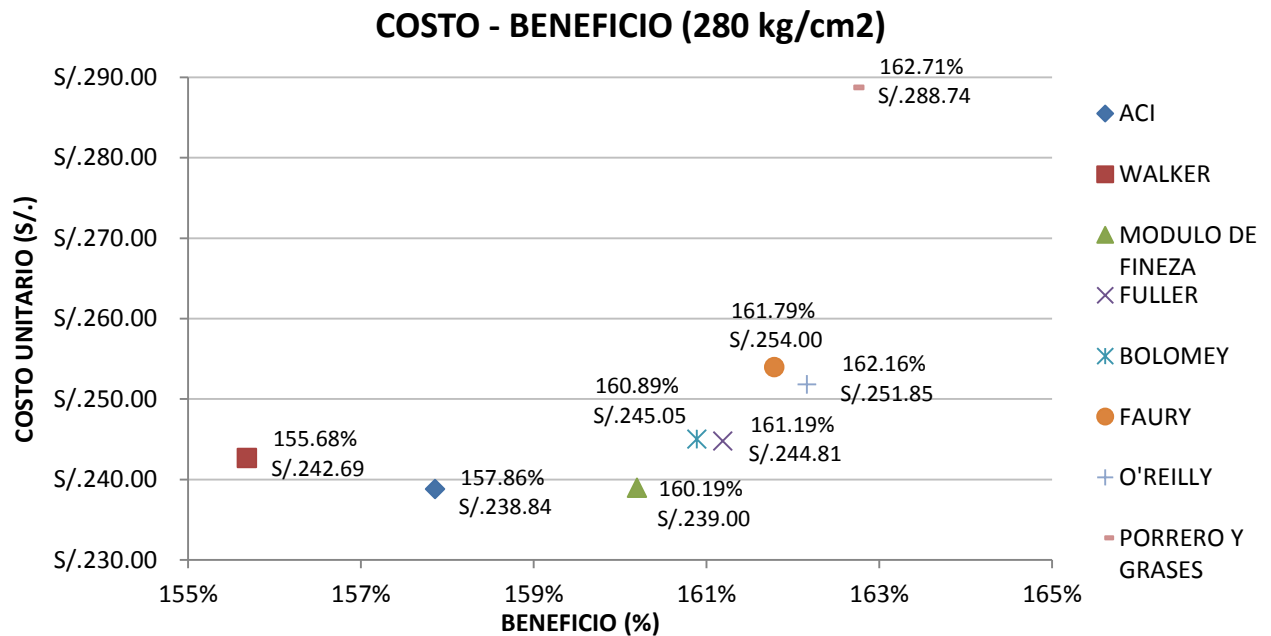


Fig. 5.60. Figura Comparativa Costo – Beneficio, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

La elección del diseño mas conveniente en este caso dependerá del análisis del diseñador sobre los requerimientos que busca en el diseño, sin embargo se puede notar que el diseño mas optimo es el de Füller por tener mayor beneficio que los convencionales y a costo promedio, este seguido por Bolomey y Modulo de Fineza respectivamente; los diseños de Faury y O'Reilly tienen un mejor beneficio pero requiere un valor costo lo que no los hace óptimos.

En esta ocasión hay que recalcar al diseño de Porrero & Grases tiene el mayor costo de todos los diseños, sin embargo el beneficio que presenta no es lo suficientemente mayor como para elegir este diseños para la producción de concreto; por el contrario Walker esta vez es el diseño más deficiente por las propiedades que presenta en esta resistencia.

CONCLUSIONES

1. Se realizó un análisis comparativo de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido con los materiales típicos de Arequipa utilizando diferentes dosificaciones de los componentes brindados por los diversos métodos de diseños de mezclas, los cuales muestran sus resultados a lo largo de esta investigación y se presentan las conclusiones obtenidas a partir de ellas.

DISEÑO DE MEZCLAS

2. Los agregados utilizados en esta investigación, provenientes de la cantera “La Poderosa”, presentan buenas características de resistencia con unos pesos específicos de 2.718 kg/m^3 para el agregado grueso y 2.340 kg/m^3 para el agregado fino, estos también cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C33.
3. El tamaño máximo utilizado en los diseños convencionales y prácticos será el que describe la norma NTP 400.037; los diseños racionales de Füller, Bolomey y Faury tienen su propia definición sobre el Tamaño máximo. Un mayor TMN generara un concreto más económico.
4. Solo los diseños convencionales presentan un margen de selección de asentamiento siendo de una pulgada, mientras que para el resto de diseños es necesario introducir un asentamiento exacto para desarrollar la dosificación.
5. Los diseños convencionales y racionales de Füller y Bolomey obtienen la cantidad de agua a partir de un principio del TMN y asentamiento independiente de la resistencia, sin embargo estos últimos consideran una corrección en función al perfil de los agregados y de su asentamiento; Faury obtiene su cantidad de agua según las características del encofrado y contenido de aire incorporado; O'Reilly a partir de ensayos experimentales y Porrero & Grases es el único que obtiene la cantidad de agua a partir de la resistencia requerida.
6. La estimación del contenido de aire en todos los diseños se hace solo a partir del TMN, sin embargo en el diseño de Porrero & Grases también lo hace con la cantidad de cemento.
7. En la elección de la relación a/c, los diseños convencionales consideran solo a la resistencia requerida f'_{cr} , mientras que los diseños racionales también consideran al perfil del agregado, O'Reilly lo obtiene a partir de experiencias en laboratorio afectado a una corrección pertinente y el diseño de Porrero & Grases tiene su propia ecuación de la Ley Triangular.

8. La cantidad de cemento se calcula a partir de la relación a/c y de la cantidad de agua sin embargo Porrero & Grases el único método que propone una corrección de este después de ser calculado en función a los perfiles de los agregados.
9. En cuanto a la proporción de los agregados, los diseños convencionales lo obtienen con propiedades y características de estos, mientras que los diseños de racionales lo obtienen por curvas granulométricas ideales, siendo los diseños de Bolomey y Faury los que consideran al cemento como un agregado más; el beneficio principal de los diseños racionales o granulométricas es que pueden ser aplicados cuando haya más de dos tipos de agregados. El diseño de O'Reilly obtiene la proporción tras un ensayo a los agregados mientras que Porrero & Grases tras aplicar los resultados de la curva granulometría a una tabla propuesta por el autor de la relación optima entre los agregados.
10. El diseño de O'Reilly incluye en su procedimiento la intervención de incógnitas que son halladas a partir de pruebas de laboratorio, como son la resistencia promedio de las probetas de prueba, la resistencia a la compresión del cemento y peso unitario combinado máximo, por lo que el realizar estos ensayos generara un mayor tiempo para determinar su diseño.
11. Referente al proporcionamiento de cada método, se puede decir que los métodos convencionales y Faury tienen la tendencia que a mayor resistencia se requiera, el diseño disminuirá el agregado fino mientras que el grueso y el cemento aumentan, en el caso de ACI el agregado grueso se mantiene constante sin importar la resistencia. Por otra parte los diseños racionales y prácticos proponen lo contrario reduciendo el agregado fino y grueso en diferentes proporciones mientras el cemento aumenta.
12. Los diseños convencionales tiene un rápido y fácil uso por su aplicación de tablas y gráficos mientras que los diseños racionales requieren un análisis visual sobre la proporción adecuada de agregados tratando de ajustar lo máximo posible a la curva ideal, mientras que los diseños de O'Reilly requieren un mayor gasto de energía, tiempo y recursos al ser un método experimental.
13. Los diseños tanto analíticos como prácticos no consideran la intervención de aditivos en la mezcla, sin embargo estos deben ser considerados como parte de la procedimiento, siendo así que ACI en su libro "Standar Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete Committe", hace ciertas recomendaciones y reglas para el proporcionamiento de los aditivos dentro de la mezcla, cabe recalcar que también cada aditivo cuenta con su propio procedimiento de adición en la mezcla que se debe tener en cuenta.

ASENTAMIENTO

14. El componente del agua es una pieza fundamental en la propiedad del asentamiento siendo esta utilizada en la mezcla solo un aproximado del 30% para la hidratación del cemento y el resto en ganar un mayor asentamiento, por lo que a una mayor relación a/c, se obtendrá un mayor asentamiento resultante.
15. Cuando se tiene diseños con el mismo valor de relación agua/cemento, se puede observar la influencia de la proporción de los agregados en el asentamiento de la siguiente manera: a mayor relación agregado fino/grueso, se tendrá un mayor asentamiento por que generan una mayor cantidad de pasta; sin embargo esta conclusión se cumple dentro de un rango aproximado de (0.50-0.80), ya que si no se está dentro de este margen afecta desfavorablemente en una reducción de la resistencia y del asentamiento resultando en mezclas pedregosas o muy pastosas a menor o mayor valor de este respectivamente.
16. Los diseños convencionales alcanzan el asentamiento requerido en bajas resistencias y mientras estas aumentan el asentamiento tiende a salir por el rango inferior, de estos diseños Modulo de fineza es el que tiene mayor asentamiento. Los diseños racionales presentan diferentes asentamientos, siendo Bolomey el mayor en bajas resistencias por resultar en una mezcla con poca adherencia que produce un alto asentamiento pero poca trabajabilidad, el diseño de Füller tiene asentamientos menores que los convencionales mientras que Faury presenta el menor asentamiento en resistencias bajas por resultar en una mezcla pastosa y seca con su alto contenido de finos; estos diseños racionales se nivelan en altas resistencias donde tiene un mejor comportamiento llegando a igualar y superar a los convencionales. Por otro lado O'Reilly es el que presenta un mayor equilibrio entre sus asentamiento a lo largo de las resistencias por su naturaleza experimental, mientras que Porrero & Grases presenta uno de las menores asentamientos que se va volviendo aún más pequeño a más resistencia requerida.
17. Se recomienda la aplicación de los diseños de Faury y Porrero & Grases en la construcción de estructuras pretensadas o pos tensadas ya que con su bajo asentamiento y alta cantidad de finos, tendrá un mejor desempeño tras el proceso de vibro-compactación que se realiza en estas construcciones, generando una mayor resistencia con una mayor rigidez, que no es posible obtener en obra con los equipos convencionales.
18. Los diseños que generan una pasta sobre arenosa pero con una buena trabajabilidad como Modulo de Fineza y O'Reilly, pueden un mejor desempeño en la construcción de pavimentos y estructuras ciclópeas.

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

19. Conforme se muestra en los resultados se puede encontrar una relación inversamente proporcional, donde a mayor resistencia del concreto requerido (menor a/c) se obtendrá menos aire atrapado en la mezcla.
20. El proporcionamiento de los agregados será el factor más importante para la determinación del contenido de aire, siendo este valor menor cuando se presente un mayor contenido de agregado grueso y por tanto menor relación agregado fino/grueso, ya que estas partículas de mayor tamaño servirán para desplazar volumen del concreto volviéndolo más económico y generando una menor cantidad de mortero en la mezcla, en el cual se presenta la mayor cantidad de aire atrapado.
21. Cuando se tenga una proporción similar de agregados en dos diseños de mezclas diferentes, el factor que determinara el contenido de aire atrapado será la cantidad de cemento, ya que a mayor cantidad de partículas finas del cemento en la mezcla (y una proporción de las partículas más finas de la arena), harán que llenen los espacios vacíos que generan el porcentaje de aire, por lo que en resumen a mayor cantidad de cemento se tendrá un menor contenido de aire atrapado promedio.
22. Los diseños de ACI y Walker presentan un contenido de aire similar, seguido por Modulo de Fineza con un mayor porcentaje en las tres resistencias; los diseños racionales de Füller y Bolomey presentan un menor porcentaje que los convencionales, siendo Bolomey el diseño que tiene la menor cantidad de aire atrapado, mientras que los diseños prácticos sumando al de Faury presentan mayor porcentaje de aire que los convencionales, siendo el mayor en el diseño de Faury.
23. Un contenido mayor de aire atrapado en la mezcla ayudara en el asentamiento de la mezcla, ya que estas partículas de vacío provocaran un mayor desplazamiento entre partículas generando una consistencia más trabajable, por eso el incorporar aire mediante agentes externos también beneficiara al asentamiento, sin embargo añadir aire incorporado a un diseño con un alto aire atrapado puede causar problemas en el concreto ya que aumenta su permeabilidad generando vacíos interconectados entre sí que terminen en una menor resistencia por ruptura en lugares críticos.

PESO UNITARIO

24. El peso unitario de un concreto es determinado principalmente por la proporción de los agregados siendo que a mayor cantidad de agregado grueso se tendrá un mayor peso unitario por peso específico superior.

25. El rendimiento de la mezcla del concreto se ve relacionado con la cantidad de finos en la mezcla es decir de las partículas de cemento que al unirse con agua reaccionan formando una pasta que hace a la mezcla más compacta como medio ligante, sin embargo esta reacción produce un menor volumen que la suma de los componentes de la mezcla por separado, lo que resulta en un menor rendimiento que el esperado.
26. Los resultados de los pesos unitarios del concreto en estado endurecido son posibles compararlos con el estado fresco, siendo estos valores relativamente cercanos con una ligera disminución en su peso cuando se trata del concreto endurecido, debido a la contracción por fraguado y por secado; el porcentaje de diferencia entre los resultados según su resistencia requerida están en el rango aproximado de: 175 kg/cm² (3.3% al 4.0%), 210 kg/cm² (2.9% al 3.7%) y 280 kg/cm² (2.3% al 3.0%).
27. La variación entre los peso del concreto endurecido y fresco se da en proporción a su relación a/c siendo que a mayor valor de este, se tendrá una mayor diferencia de peso, debido a que el agua que se utiliza en la mezcla es superior al que se necesita para producir la hidratación del cemento, por lo que el agua sobrante ocupa espacios en los poros capilares que al momento de su evaporación por la fragua del concreto produce un menor peso que el obtenido cuando se encontraba en una mezcla fresca.
28. Cuando se requiera la aplicación del concreto en estructuras masivas como losas de gran tamaño u otros, no son recomendables los diseños de: ACI, Walker, Módulo de Fineza y Faury en bajas resistencias ($f'c=175$ y 210 kg/cm²), y O'Reilly en resistencias más altas ($f'c=280$ kg/cm²), debido a que estas generan un mayor cambio de volumen después del fraguado, lo que generaría fisuras en el concreto.
29. En general los diseños de Faury, O'Reilly y Porrero & Grases, son recomendables usarlos en construcciones que no estén sometidas a cargas estructurales, debido a que estos diseños ayudan a aligerar el peso del concreto con el uso menor del agregado grueso.
30. El diseño de Porrero & Grases y Faury generan un rendimiento menor del aceptable, por lo que al realizar estos diseños se necesitara tener en cuenta una mayor proporción de agregados para obtener una cantidad requerida.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

31. La resistencia del concreto depende en primera instancia de la cantidad de cemento y su relación con el agua es decir de su valor de a/c, siendo que a menor valor a/c se tendrá una resistencia más alta.
32. Mezclas que tengan una relación de agregados fino/grueso muy alta o muy baja, generan un concreto pastoso o pedregoso respectivamente ambos siendo poco manejables, y que

- provocan una laboriosa compactación, por lo que un diseño optimo se dará cuando se presente un equilibrio de estos los agregados con una correcta dosificación de cemento.
33. La resistencia inicial del concreto a los 7 días varía entre el 65% al 75% del concreto final obtenido dependiendo principalmente de la cantidad de cemento, por lo que se puede concluir que a mayor cantidad de cemento se tendrá una ligero mayor porcentaje de resistencia inicial.
 34. La eficiencia del concreto nos dará una referencia de la calidad del concreto respecto a la cantidad de cemento que se utiliza en cada diseño de mezcla, de lo que se puede concluir que el cemento no siempre va a significar una mayor resistencia a la compresión, ya que hay más factores que influyen en esta, como el proporcionamiento de los agregados, cantidad de agua, las características físicas de los componentes, tipo y calidad de mezclado y compactad, etc.
 35. A partir los resultados obtenidos podemos decir que los diseños más eficientes en función a su cantidad de cemento y resistencia son: O'Reilly (0.755), Füller (0.786) y Bolomey (0.824) para $f'c = 175, 210$ y 280 kg/cm^2 respectivamente, mientras que los diseños más deficientes son Bolomey (0.537), Bolomey (0.632) y O'Reilly (0.693), con las mismas resistencias requeridas respectivamente.
 36. En la resistencia de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, los diseños que tiene una mayor resistencia a la compresión son los de O'Reilly y Porrero & Grases superando la resistencia de diseño $f'cr$, mientras que los diseños convencionales se quedan atrás de estos (siendo el mayor Walker), seguido por los diseños de Bolomey y Faury con una baja resistencia incluso menor a la $f'c$, por lo que estos dos diseños son deficientes en menores resistencias. Conforme se requiere una mayor resistencia se determina que ahora los diseños de Bolomey y Faury tienen un comportamiento adecuado con una alta resistencia junto con Porrero & Grases, mientras que los diseños convencionales se quedan detrás de estos en esta resistencia.
 37. Se debe tener un especial cuidado con concreto de Bolomey de baja resistencia ya que al tener una consistencia muy pedregosa con la poca presencia de finos, genera problemas de segregación y cangrejas, por lo que se necesita una mayor energía y atención en el proceso de colocación y varillado en las probetas.
 38. Los diseños de Bolomey y Füller al tener un mejor desempeño con altas resistencias, son recomendables usarse en concreto masivos como presas, muros de contención, construcciones de gran envergadura.
 39. La resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido también se ve relacionado a las propiedades del concreto en estado fresco siendo que hay la tendencia de tener una mayor resistencia cuando se presente un menor contenido de aire y de asentamiento, En cuanto la relación con el peso unitario, se da de la siguiente manera: los diseños convencionales

sumado a Faury obtendrán una mayor resistencia cuando se tenga un mayor peso unitario, sin embargo los diseño racionales y Porrero & Grases obtendrán una mayor resistencia cuando el peso unitario de la mezcla disminuya, esto no quiere decir que sea menos resistencia, sino que se reduce el agregado grueso para aumentar la cantidad de cemento y poder obtener mejores resultados.

40. Por las características de resistencia, el agregado grueso ayudada a la resistencia del concreto mientras que la arena por sus características de finura ayudada a la trabajabilidad del concreto, y así llegando a un equilibrio se podrá cumplir con todos los requisitos de diseño.

ANÁLISIS DE COSTOS

41. Los costos unitarios del concreto varían entre S/.190 – 200 para resistencias de 175 kg/cm², S/.207-230 para resistencias de 210 kg/cm². y S/.240-290 para resistencias de 280 kg/cm².
42. La mayoría de diseños tienen una margen cercano entre si siendo ACI el diseño más económico en las tres resistencias estudiadas, seguido por los métodos convencionales, mientras que el diseño más costoso es el de Porrero & Grases resultando hasta en un porcentaje del 20% mayor al de ACI en resistencias altas y con tendencia a ser más costosa.
43. Acerca del beneficio – costo de los diseños de mezcla se puede decir que considerando el cumplimiento de los requisitos de asentamiento, contenido de aire, peso unitario y resistencia a la compresión, se tiene que para una resistencia de 175 kg/cm² y 210 kg/cm² los diseños más óptimos son Walker, ACI y Füller, mientras que para la resistencia de 280 kg/cm² los diseños más óptimos son O'Reilly, Faury y Füller. Por otro lado el diseño más deficiente en las dos primeras resistencias es el de Faury mientras que en la resistencia de 280 kg/cm² es el diseño de Walker.
44. Los diseños de Faury y Bolomey tiene una bajo beneficio en resistencias menores mientras que cuando esta aumenta su valor requerido, los beneficios de estos diseños aumentan mientras que el resto de diseños se mantiene regularmente constante en sus beneficios.
45. La teorías de diseño de mezcla aún tiene un largo camino por recorrer, es por eso que se seguirán creando nuevos diseños para encontrar el más óptimo dependiendo de las características y condiciones que presente el concreto y sus componentes; esta tesis sirvió para tener un conocimiento más amplio acerca de los métodos de diseño de mezcla, en su parte teórico-analítico (es decir sobre el diseño de mezcla, procedimientos, variables, y recomendaciones), y en su parte práctica (a partir de los ensayos realizados).

RECOMENDACIONES

1. Para realizar la comparación de resultados del concreto en estado fresco y endurecido sin el uso de componentes que afecten a sus resultados como aditivos, microfibras, etc es necesario tener una precisión en el peso de los componentes y en la cantidad de ensayos a realizar para tener un promedio más confiable.
2. Con respecto al ensayo de probetas a la compresión, se recomienda el mínimo de 15 probetas de cada tipo para obtener una desviación estándar y poder tener resultados más ajustados a los verdaderos, tras un diagrama de control.
3. Al momento de realizar la mezcla y ensayos, es necesario que los materiales y equipos estén debidamente preparados y en condiciones óptimas para evitar diferencias en los resultados tanto físicos como mecánicos.
4. El proceso de mezclado debe ser controlado hasta conseguir una mezcla homogénea y trabajable, ya que un mezclado superior a los 3 minutos puede producir segregación y sangrado en el concreto.
5. Cuando se requiera una mayor trabajabilidad en la mezcla, no es recomendable añadir agua ya que producirá una menor resistencia, y una posiblemente mayor agrietamiento por contracción, siendo lo más recomendable el añadir una pasta de cemento y agua.
6. Se debe realizar las pruebas del concreto en estado fresco y haberlo colocado en los moldes en un tiempo no mayor de 45 minutos ya que transcurrida esta hora se produce la fragua inicial del concreto afectando los resultados, otra manera de reconocer este cambio es la pérdida de brillo en la superficie del concreto debido a la evaporación del agua. Pasado este tiempo se debe tener un especial cuidado por las próximas 5 horas ya que los agente externos que modifiquen el concreto podrán afectar de sobremanera en la resistencia final.
7. Las probetas de concreto deben ser cambiadas de posición cada cierto tiempo en el pozo de curado para una mayor hidratación, esta agua debe ser controlado a una temperatura estable y con la proporción de cal necesaria.
8. Se recomienda la supervisión y recomendación del personal de laboratorio para poder realizar los ensayos de manera eficiente y sin causar accidentes.
9. Se recomienda en todo momento el uso de equipos de protección personal (EPPs), tanto para el procedimiento de mezcla como para la realización de los ensayos.

PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

1. Se propone ampliar esta investigación con el uso de diversos aditivos y/o fibras que afecten las características y propiedades del concreto para poder realizar una comparación entre los diseños de mezcla.
2. Se recomienda la investigación del uso de estos diseños de mezcla con diversos tipos de materiales de las canteras de Arequipa a fin de encontrar los diseños de mezcla ideales y óptimos para cada tipo de agregado sea de perfil redondeado o triturado, en especial con los agregados que no cumplan con la norma ASTM C33.
3. Se puede realizar una investigación de concretos especiales (concreto permeable, reciclable, de alta resistencia, etc.) utilizando los diseños de mezcla realizados en esta investigación.
4. Si se tuviese los equipos necesarios se propone ampliar la investigación obteniendo resultados de más propiedades del concreto como ensayos acústicos, térmicos, resistencia a la flexión, tracción, abrasión, tiempo de fraguado, prueba de ultrasonido, etc.
5. Se propone ampliar esta investigación con el uso de más métodos de diseños de mezcla, en especial con los que son propuestos recientemente.



BIBLIOGRAFÍA

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto, teoría y problemas* (Segunda ed.). Lima, Peru: San Marcos.
- Agustín Ortega, P. (2012). *Optimización del esquelado granular*. Cartagena de Indias, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Arcos D'Hainaut, C. (Diciembre de 1976). Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado. *Informes de la construcción CSIC*, Vol. 29(Nº 286).
- Arias Calluari, K. (2014). *Análisis estadístico del comportamiento de los agregados en las canteras de Arequipa para diferentes resistencias del concreto*. Arequipa, Peru: Universidad Católica de Santa María.
- ASTM C33. (s.f.). *Especificación estándar para agregados*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C94. (s.f.). *Especificación Normalizada para Concreto Premezclado*. American Society for Testing and Materials.
- Barreda, M. (2009). *"Ensayos de Hormigon en estado fresco y endurecido"*. Scanferia Lucas Jordan.
- Blanco Alvarez, F. (s.f.). *Dosificación de Hormigones, Práctica 6*. Obtenido de Universidad de Oviedo, Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Practica6.DosificacionHormigon.pdf>
- Blanco Alvarez, F. (s.f.). *Materiales Petreos Lección 3*. Obtenido de Universidad de Oviedo, Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/LECCION3.MaterialesPetrosNATURALES.5-ARIDOS.HORMIGONES.Granulometria.pdf>
- Calero Sevilla, J. (2014). *Tecnología del Hormigón - Dosificación Hormigones*. Santiago de Chile: Pontificie Universidad Católica de Chile - Departamento Ingeniería y Gestión de la Construcción.
- Cementos Yura S.A. (2014). Cemento Portland Puzolánico Yura IP - Alta Durabilidad. *Ficha Técnica Cemento Tipo IP*.
- Córdova Pérez, C. C., Cuéllar Soto, L. A., & Guizado Barrios, M. S. (2012). Tesis: Comparación de la resistencia equivalente a la flexión entre las fibras de acero Wirand producidas en Italia y las producidas en Perú. Lima, Perú: PUCP.
- Delgado Alamilla, H., Garnica Anguas, P., Villatoro Mendez, G., & Rodríguez Oropeza, G. (2006). Influencia de la granulometría en las propiedades volumetricas de la mezcla asfaltica. *Secretaria de comunicaciones y transporte*.

- DIMEZCO. (2010). *Dimezco 2000. Diseños de Mezcla del Concreto*. Obtenido de <https://dimezco2000.wordpress.com/>
- García Pérez, J. (2004). *Diseño de hormigones dirigido a la aplicación*. Barcelona, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Giraldo Bolívar, O. (1987). *Guía Práctica para el diseño de mezclas de hormigón*. Medellín, Colombia.
- Giraldo Bolívar, O. (2006). *Dosificación de mezclas de hormigón*. Medellín, Colombia.
- González Sandoval, F. (2004). *Manual de supervisión de obras de concreto* (Vol. Segunda Edición). (G. N. Editores, Ed.) Cda. de México, México: Limusa S.A.
- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado* (3ra ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial.
- Laura Huanca, S. (2006). *Diseño de mezclas de Concreto*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- López Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto* (Primera ed.). Lima, Perú: Capítulo Peruano ACI.
- Lopez, R. (13 de Abril de 2015). *SCRIBD*. Obtenido de APOYO Diseño de Mezclas por Método de Walker: <https://es.scribd.com/document/261733121/APOYO-Diseno-de-Mezclas-Por-Metodo-de-Walker>
- Mego Zapata, J. (s.f.). *Tecnología del Concreto - Absorción y peso específico del Agregado Grueso*. Trujillo - La Libertad, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Montenegro Gambini, J. (2011). *Consideraciones en el mezclado del Concreto*. Obtenido de Civilgeeks: <http://civilgeeks.com/2011/09/26/consideraciones-en-el-mezclado-del-concreto/>
- National Ready Mixed Concrete Association. (1978). *El Concreto en la Práctica ¿Qué, por qué y cómo?* CIPes 11. NRMCA.
- Neville, A., & Brooks, J. (1988). *Tecnología del concreto* (Primera Edición ed., Vol. Tomo II). México D.F., México, México: Editoria Trillas.
- NTP 339.033. (2002). *CONCRETO Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo*. (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 339.034. (2008). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.

- NTP 339.035. (2002). *HORMIGÓN. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams*. (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 339.046. (2002). *HORMIGÓN. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cubico, rendimiento y contenido de aire del hormigón*. (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 339.083. (2002). *HORMIGÓN. Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el metodo de presión*. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 339.088. (2002). *HORMIGON Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 339.185. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 400.012. (2001). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (2da Edición ed.). Lima, Peru: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 400.017. (1999). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 400.018. (2002). *AGREGADOS, Método de ensayo normalizado para determinar materiales mas finos que pasan por el tamiz normalizado 75 um (Nº 200) por lavado en agregados* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 400.019. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 400.021. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso especifico y absorción del agregado grueso* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 400.022. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso especifico y absorción del agregado fino* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- NTP 400.037. (2002). *AGREGADOS Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón* (2da Edición ed.). Lima, Peru: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- Olaya, C. (4 de Abril de 2013). *SCRIBD. Obtenido de Diseño de Mezclas - Método Fuller*: <https://es.scribd.com/doc/134022460/DISENO-DE-MEZCLAS-METODO-FULLER>

- Oré Torre, J. (2014). *SENCICO: Manual de Preparación, colocación y cuidados del concreto* (Vol. Primera Edición). Lima, Perú: Editorial CARTOLAN SRL.
- O'Reilly Díaz, V. (Noviembre de 1997). Método O'Reilly de Dosificación del Hormigón. *Edificar, Revista Técnica de la Construcción*, 64. (W. Graiño Acerenza, Entrevistador) Montevideo, Uruguay: Editorial Saga y Asociados Ltda.
- O'Reilly Díaz, V. (1997). *Método para el diseño de hormigón de alto comportamiento* (Primera Edición ed.). Santiago de Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.
- O'Reilly Díaz, V. (Julio de 2015). Semblanza. (E. Chao, Ed.) *Revista Construcción y Tecnología en concreto*.
- Ostos Chirinos, J. J. (2009). Comparación de Métodos de Diseño de Mezclas de concreto de Baja Consistencia. Xalapa, México: Universidad Veracruzana.
- Porrero S., J., Grases G., J., & Ramos R., C. (1979). *Manual del Concreto Fresco* (2da Edición ed.). Caracas, Venezuela: Editorial Arte.
- Porrero S., J., Grases G., J., Ramos R., C., & Velazco J., G. (2014). *Manual del Concreto Estructural "Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural"* (Primera Edición ed.). Caracas, Venezuela: Edición digital.
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño*. Arequipa, Perú.
- Rivera López, G. (2006). *Concreto Simple*. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca.
- Rivva Lopez, E. (1992). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú.
- Rodriguez Rios, J. (2015). *Residencia, Supervisión y seguridad en obras*. Trujillo, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú. Obtenido de https://es.slideshare.net/Consultora_KECSAC/curso-tecnologia-del-concreto-cip-cd-la-libertad-trujillo-2015
- Torre Castillo, A. (2004). *Curso Básico de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- UNAM, I. d. (1994). *Manual de Tecnología del Concreto* (Vol. 2). México D.F, México: Editorial Limusa S.A.
- Villacorta, J. (3 de Octubre de 2013). *SlideShare*. Recuperado el 08 de Julio de 2017, de <https://es.slideshare.net/jaimexxxx/diseño-de-por-el-método-walker>
- Yoc Járez, E. (2007). *Evaluación de concretos elaborados de acuerdo a los métodos de diseño "Vitervo O'Reilly y práctica estándar de selección de proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1)"*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Recomendaciones de tiempo mínimo de mezclado recomendado	23
Tabla 2.2. Tiempo mínimo de mezclado consideraciones Bureau of Reclamation y ASTM	23
Tabla 3.1. Valores de las constantes a y b de la ecuación Fuller – Thompson	30
Tabla 3.2. Valores de coeficiente de variación y grado de uniformidad que puede esperarse en el concreto, bajo diferentes condiciones de producción.	41
Tabla 3.3. Factor de Corrección	43
Tabla 3.4. Resistencia a la compresión Promedio	44
Tabla 3.5. Resistencia a la compresión promedio	45
Tabla 3.6. Valores de “t”	46
Tabla 3.7. Clasificación de la mezcla según su asentamiento	46
Tabla 3.8. Tipo de consolidación según el nivel de asentamiento	47
Tabla 3.9. Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras.....	47
Tabla 3.10. Volumen de agua por m ³	49
Tabla 3.11. Volumen unitario de agua por m ³ - UNI	50
Tabla 3.12. Contenido de aire atrapado	51
Tabla 3.13. Contenido de aire incorporado y total.....	52
Tabla 3.14. Relación agua/cemento por resistencia - ACI	54
Tabla 3.15. Relación agua/cemento por resistencia NRMCA	55
Tabla 3.16. Relación agua/cemento por resistencia Walker	55
Tabla 3.17. Relación agua/cemento por resistencia USBR	56
Tabla 3.18. Condiciones especiales de exposición	57
Tabla 3.19. Concreto expuesto a soluciones de sulfatos	58
Tabla 3.20. Contenido máximo de ion cloruro	58
Tabla 4.1. Requisitos de gradación del Agregado Fino – ASTM	63
Tabla 4.2. Recomendación del uso del concreto con el módulo de finura del agregado fino	68
Tabla 4.3. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global	70
Tabla 4.4. Requisitos de gradación del Agregado Grueso – ASTM	72
Tabla 4.5. Peso mínimo de la muestra de ensayo	83
Tabla 4.6. Capacidad de la medida	88
Tabla 4.7. Cantidad mínima de muestra.	95
Tabla 4.8. Tipo de carga según la gradación del agregado	98
Tabla 4.9. Gradación de las muestras de ensayo	98
Tabla 4.10. Tamaño de la muestra de agregado	100
Tabla 4.11. Porcentaje de humedad promedio	101
Tabla 4.12. Características Técnicas del cemento Portland Tipo IP – Cementos Yura.	103
Tabla 4.13. Límites permisibles para el agua de mezcla	106
Tabla 4.14. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen del concreto	111
Tabla 4.15. Resistencia promedio – Porcentaje de la resistencia especificada – Método Walker	116
Tabla 4.16. Determinación del porcentaje del Agregado Fino – Método Walker	120

Tabla 4.17. Módulo de fineza de la combinación de agregados	127
Tabla 4.18. Cantidad de agua en kgf por metro cúbico para diferentes Tamaños máximos del método de Füller	132
Tabla 4.19. Corrección de la Tabla 4.18. Cantidad de agua en la mezcla.....	132
Tabla 4.20. Curva de Füller para diferentes tamaños máximos	135
Tabla 4.21. Valores del coeficiente A de la curva de Bolomey	153
Tabla 4.22. Valores de A para agregados de forma mixta	153
Tabla 4.23. Valores del coeficiente “K”	180
Tabla 4.24. Valores modificados del coeficiente “K”	180
Tabla 4.25. Valores para el coeficiente “A” de la gráfica de Faury	185
Tabla 4.26. Valores para el coeficiente “B” de la gráfica de Faury	185
Tabla 4.27. Valores de Índice Ponderal “Ip” para agregados según el tamaño de las partículas	200
Tabla 4.28. Valores de M1 y M2 para diferentes consistencias – Método O’Reilly	221
Tabla 4.29. Valores del “w” para diferentes “V” – Método O’Reilly	221
Tabla 4.30. Máximos valores de “a” para distintas condiciones de servicio o ambientales según COVENIN 1753:2003	232
Tabla 4.31. K _R Factor para corregir “a” por tamaño máximo, mm (plg.)	233
Tabla 4.32. K _A Factor para corregir “a” por tipo de agregado	233
Tabla 4.33. C ₁ Factor para corregir “C” por tamaño máximo, mm (plg.)	236
Tabla 4.34. C ₂ Factor para corregir “C” por tipo de agregado	236
Tabla 4.35. Contenidos mínimos de cemento en función de las condiciones de servicio o ambientales según COVENIN 1753:2003	236
Tabla 4.36. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos de agregado. Porcentaje Pasantes	239
Tabla 4.37. Granulometría del ejemplo de combinación de Agregados.....	240
Tabla 5.1. Tiempo permisible de tolerancia para ensayo de resistencia a la compresión	303
Tabla 5.2. Factor de corrección de la resistencia a la compresión.....	303

LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1.1. Variables independientes, indicadores y fuentes.....</i>	<i>6</i>
<i>Cuadro 1.2. Variables dependientes, indicadores y fuentes.....</i>	<i>7</i>
<i>Cuadro 4.1. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N°1.....</i>	<i>64</i>
<i>Cuadro 4.2. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N°2.....</i>	<i>65</i>
<i>Cuadro 4.3. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N°3.....</i>	<i>66</i>
<i>Cuadro 4.4. Análisis granulométrico del Agregado Fino – Promedio.....</i>	<i>67</i>
<i>Cuadro 4.5. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N°1.....</i>	<i>73</i>
<i>Cuadro 4.6. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N°2.....</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 4.7. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N°3.....</i>	<i>75</i>
<i>Cuadro 4.8. Análisis granulométrico del Agregado Grueso – Promedio.....</i>	<i>76</i>
<i>Cuadro 4.9. Prueba de peso específico del agregado fino.....</i>	<i>80</i>
<i>Cuadro 4.10. Peso específico de masa del agregado fino.....</i>	<i>81</i>
<i>Cuadro 4.11. Peso específico saturado superficialmente seco del agregado fino.....</i>	<i>82</i>
<i>Cuadro 4.12. Peso específico aparente del agregado fino.....</i>	<i>82</i>
<i>Cuadro 4.13. Porcentaje de absorción del agregado fino.....</i>	<i>82</i>
<i>Cuadro 4.14. Prueba de peso específico del agregado grueso.....</i>	<i>85</i>
<i>Cuadro 4.15. Peso específico de masa del agregado grueso.....</i>	<i>86</i>
<i>Cuadro 4.16. Peso específico saturado superficialmente seco del agregado grueso.....</i>	<i>86</i>
<i>Cuadro 4.17. Peso específico aparente del agregado grueso.....</i>	<i>87</i>
<i>Cuadro 4.18. Porcentaje de absorción del agregado grueso.....</i>	<i>87</i>
<i>Cuadro 4.19. Peso Unitario Suelto del agregado fino.....</i>	<i>90</i>
<i>Cuadro 4.20. Peso Unitario Suelto del agregado grueso.....</i>	<i>90</i>
<i>Cuadro 4.21. Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.....</i>	<i>92</i>
<i>Cuadro 4.22. Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.....</i>	<i>93</i>
<i>Cuadro 4.23. Porcentaje de vacíos del Agregado Fino.....</i>	<i>93</i>
<i>Cuadro 4.24. Porcentaje de vacíos del Agregado Grueso.....</i>	<i>94</i>
<i>Cuadro 4.25. Porcentaje de material que pasa el tamiz #200 – Agregado Fino.....</i>	<i>96</i>
<i>Cuadro 4.26. Porcentaje de material que pasa el tamiz #200 – Agregado Grueso.....</i>	<i>97</i>
<i>Cuadro 4.27. Resistencia a la abrasión del agregado grueso.....</i>	<i>99</i>
<i>Cuadro 4.28. Resistencia a la Compresión del Mortero en diferentes proporciones.....</i>	<i>105</i>
<i>Cuadro 4.29. Resumen de las propiedades de los componentes del concreto.....</i>	<i>107</i>
<i>Cuadro 4.30. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Tanteo de Füller.....</i>	<i>138</i>
<i>Cuadro 4.31. Proporcionamiento de los agregados por el Método Grafico de Füller.....</i>	<i>141</i>
<i>Cuadro 4.32. Módulo de fineza de la curva de Füller MFF_2 para un TM de $1''$.....</i>	<i>143</i>
<i>Cuadro 4.33. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Füller.....</i>	<i>144</i>
<i>Cuadro 4.34. Curva de Bolomey para un TM de $1''$.....</i>	<i>154</i>
<i>Cuadro 4.35. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>156</i>

Cuadro 4.36. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	157
Cuadro 4.37. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	159
Cuadro 4.38. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$	161
Cuadro 4.39. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	162
Cuadro 4.40. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	163
Cuadro 4.41. Módulo de fineza de la curva de Bolomey MFB_2 para un TM de $1''$	165
Cuadro 4.42. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$	166
Cuadro 4.43. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	167
Cuadro 4.44. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	169
Cuadro 4.45. Curva de Faury para un TM de $1''$	188
Cuadro 4.46. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$	190
Cuadro 4.47. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	191
Cuadro 4.48. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	192
Cuadro 4.49. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$	195
Cuadro 4.50. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	196
Cuadro 4.51. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	197
Cuadro 4.52. Índice Ponderal del Agregado Fino por método de Tabla de Faury	200
Cuadro 4.53. Índice Ponderal del Agregado Grueso por método de Tabla de Faury	201
Cuadro 4.54. Índice Ponderal del Agregado Fino por método de ecuaciones de Faury	203
Cuadro 4.55. Índice Ponderal del Agregado Grueso por método de ecuaciones de Faury	203
Cuadro 4.56. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	207
Cuadro 4.57. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	208
Cuadro 4.58. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	209
Cuadro 4.59. Prueba de Peso Unitario Combinado Optimo y del Porcentaje de Vacíos de la combinación de los agregados	216
Cuadro 4.60. Condiciones óptimas para el diseño de mezcla O'Reilly	219

Cuadro 4.61. Cuadro resumen de la resistencia promedio de las probetas de prueba para para el diseño de mezcla O'Reilly.....	219
Cuadro 4.62. Proporcionamiento de los agregados por el diseño de mezcla de Porrero & Grases	244
Cuadro 4.63. Cuadro resumen del diseño de mezcla ACI, Walker y Modulo de Fineza para $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm ²	250
Cuadro 4.64. Cuadro resumen del diseño de mezcla Füller, Bolomey y Faury para $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm ²	251
Cuadro 4.65. Cuadro resumen del diseño de mezcla O'Reilly y Porrero & Grases para $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm ²	252
Cuadro 4.66. Cuadro comparativo de la dosificación entre diseño para un $f'c = 175$ kg/cm ²	253
Cuadro 4.67. Cuadro comparativo de la dosificación entre diseño para un $f'c = 210$ kg/cm ²	255
Cuadro 4.68. Cuadro comparativo de la dosificación entre diseño para un $f'c = 280$ kg/cm ²	257
Cuadro 4.69. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño ACI	259
Cuadro 4.70. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de WALKER	260
Cuadro 4.71. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de Modulo de Fineza de la Combinación de los agregados.	261
Cuadro 4.72. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de FÜLLER	262
Cuadro 4.73. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de BOLOMEY.....	263
Cuadro 4.74. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de FAURY	264
Cuadro 4.75. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de O'REILLY.....	265
Cuadro 4.76. Cuadro comparativo de la dosificación entre resistencias para el diseño de Porrero & Grases	266
Cuadro 4.77. Resistencia Promedio VS a/c por diferentes métodos de mezcla.....	267
Cuadro 5.1. Cuadro resumen de asentamiento promedio por resistencia requerida.....	270
Cuadro 5.2. Asentamiento promedio de cada método y resistencia requerida	271
Cuadro 5.3. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=175$ kg/cm ²	272
Cuadro 5.4. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=210$ kg/cm ²	274
Cuadro 5.5. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=280$ kg/cm ²	275
Cuadro 5.6. Peso Unitario y Rendimiento promedio de cada método y resistencia requerida	281
Cuadro 5.7. Cuadro resumen de Peso Unitario y Rendimiento promedio por resistencia requerida ...	282
Cuadro 5.8. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c=175$ kg/cm ²	284
Cuadro 5.9. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c= 210$ kg/cm ²	286
Cuadro 5.10. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c= 280$ kg/cm ² ..	288
Cuadro 5.11. Análisis del Peso Unitario y Rendimiento promedio para resistencia $f'c= 280$ kg/cm ² ..	289
Cuadro 5.12. Contenido de aire promedio de cada método y resistencia requerida	293
Cuadro 5.13. Cuadro resumen del contenido de aire promedio por resistencia requerida	294
Cuadro 5.14. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=175$ kg/cm ²	295
Cuadro 5.15. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=210$ kg/cm ²	296
Cuadro 5.16. Análisis del Asentamiento promedio por cada método de resistencia $f'c=280$ kg/cm ²	297
Cuadro 5.17. Resistencia a la compresión promedio a los 7 y 28 días de cada método y resistencia requerida.....	304

<i>Cuadro 5.18. Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días.....</i>	<i>305</i>
<i>Cuadro 5.19. Desviación Estándar y Coeficiente de Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días.....</i>	<i>306</i>
<i>Cuadro 5.20. Resistencia a la compresión promedio ajustada a la desviación estándar a los 7 y 28 días de cada método y resistencia requerida.....</i>	<i>307</i>
<i>Cuadro 5.21. Resistencia a la compresión promedio de los 7 y 28 días para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>308</i>
<i>Cuadro 5.22. Resistencia a la compresión promedio de los 7 y 28 días para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>310</i>
<i>Cuadro 5.23. Resistencia a la compresión promedio de los 7 y 28 días para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>311</i>
<i>Cuadro 5.24. Cuadro resumen del Peso Unitario corregido de cada método y resistencia requerida.</i>	<i>317</i>
<i>Cuadro 5.25. Peso Unitario promedio del concreto endurecido para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>318</i>
<i>Cuadro 5.26. Peso Unitario promedio del concreto endurecido para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>319</i>
<i>Cuadro 5.27. Peso Unitario promedio del concreto endurecido para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>320</i>
<i>Cuadro 5.28. Cuadro resumen de la Eficiencia de cada método y resistencia requerida.</i>	<i>322</i>
<i>Cuadro 5.29. Cuadro comparativo del Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario.....</i>	<i>326</i>
<i>Cuadro 5.30. Cuadro comparativo de los diseños de mezcla VS Rango de aceptación.....</i>	<i>340</i>
<i>Cuadro 5.31. Cuadro comparativo de los valores resultantes de la resistencia requerida exacta dentro de los rangos de aceptación</i>	<i>357</i>
<i>Cuadro 5.32. Cuadro comparativo del rango de las resistencias para cumplir con el intervalo de aceptación.....</i>	<i>359</i>
<i>Cuadro 5.33. Costo Unitario de los diseños de mezcla para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>361</i>
<i>Cuadro 5.34. Costo Unitario de los diseños de mezcla para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>362</i>
<i>Cuadro 5.35. Costo Unitario de los diseños de mezcla para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.....</i>	<i>363</i>
<i>Cuadro 5.36. Costo Unitario de los diseños de mezcla – 175,210 y 280 kg/cm^2</i>	<i>364</i>
<i>Cuadro 5.37. Análisis de Costo - Beneficio de los diseños de mezcla.....</i>	<i>366</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Fig. 1.1. Representación gráfica de las leyes de Feret, donde las líneas de igual compacidad en la mezcla de agregados donde G: Gruesos, M: Medianos, F: Finos</i>	3
<i>Fig. 2.1 Nivel de incidencia de los componentes del concreto</i>	19
<i>Fig. 2.2. Efecto del tiempo de mezclado en la calidad del concreto</i>	23
<i>Fig. 3.1. Relaciones Básicas del concreto</i>	37
<i>Fig. 3.2. Condiciones de humedad de los agregados</i>	61
<i>Fig. 4.1. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°1</i>	64
<i>Fig. 4.2. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°2</i>	65
<i>Fig. 4.3. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°3</i>	66
<i>Fig. 4.4. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo Promedio</i>	67
<i>Fig. 4.5. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°1</i>	73
<i>Fig. 4.6. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°2</i>	74
<i>Fig. 4.7. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo N°3</i>	75
<i>Fig. 4.8. Curva granulométrica del Agregado Fino – Ensayo Promedio</i>	76
<i>Fig. 4.9. Cemento Tipo IP - Alta Durabilidad - Yura</i>	102
<i>Fig. 4.10. Resistencia a la Compresión del Mortero en diferentes proporciones</i>	105
<i>Fig. 4.11. Curva de Füller para un TM de 1''</i>	136
<i>Fig. 4.12. Ejemplo de proporcionamiento de agregados. Método por Tanteo de Füller</i>	137
<i>Fig. 4.13. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Tanteo de Füller</i>	138
<i>Fig. 4.14. Ejemplo de proporcionamiento de agregados. Método Gráfico de Füller</i>	139
<i>Fig. 4.15. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Füller</i>	141
<i>Fig. 4.16. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Füller</i>	144
<i>Fig. 4.17. Curvas granulométricas de referencia de Füller y Bolomey</i>	153
<i>Fig. 4.18. Curva de Bolomey para un TM de 1''</i>	154
<i>Fig. 4.19. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$</i>	156
<i>Fig. 4.20. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$</i>	158
<i>Fig. 4.21. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$</i>	159
<i>Fig. 4.22. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$</i>	161
<i>Fig. 4.23. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$</i>	162
<i>Fig. 4.24. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$</i>	163
<i>Fig. 4.25. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$</i>	166

Fig. 4.26. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	168
Fig. 4.27. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Módulo de Fineza de Bolomey – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	169
Fig. 4.28. Volumen a considerar para obtener el radio medio de una sección	176
Fig. 4.29. Determinación del radio medio en una viga doblemente reforzada	177
Fig. 4.30. Efecto Pared	178
Fig. 4.31. Concepto de la gráfica de la ecuación de Faury	186
Fig. 4.32. Gráfica de la ecuación de Faury	187
Fig. 4.33. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$	190
Fig. 4.34. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	191
Fig. 4.35. Proporcionamiento de los agregados por el Método por Tanteo de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	192
Fig. 4.36. Dosificación gráfica de agregados por Faury	193
Fig. 4.37. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$	195
Fig. 4.38. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	196
Fig. 4.39. Proporcionamiento de los agregados por el Método Gráfico de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	197
Fig. 4.40. Índice Ponderal “Ip” para los agregados - Faury	202
Fig. 4.41. Índice Ponderal de referencia “I _{R1} ” para el concreto de referencia - Faury	205
Fig. 4.42. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 175 \text{ kg/cm}^2$	207
Fig. 4.43. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$	208
Fig. 4.44. Proporcionamiento de los agregados por el Método de Índices Ponderales de Faury – Diseño de Mezcla $F'C = 280 \text{ kg/cm}^2$	209
Fig. 4.45. Peso Unitario de la Combinación de los agregados Fino y Grueso.....	217
Fig. 4.46. Contenido mínimo de vacíos de la combinación de los agregados Fino y Grueso.....	217
Fig. 4.47. Resistencia a la Compresión del Mortero- Análisis de O'Reilly	220
Fig. 4.48. Carta de Esfericidad y Redondez de Referencia del diseño O'Reilly	223
Fig. 4.49. Representación Gráfica de la Ley de Abrams	231
Fig. 4.50. Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de cemento (C) y la relación agua/cemento (α)	235
Fig. 4.51. Ejemplo de relación arena/agregado total, β (%)	241
Fig. 4.52. Relación Arena/Agregado Total β (%).....	243
Fig. 4.53. Proporcionamiento de los agregados por el Diseño de Mezcla de Porrero & Grases	244
Fig. 4.54. Comparación de la dosificación del cemento entre los métodos de diseño de mezcla para $un f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	253

Fig. 4.55. Comparación de la dosificación de los agregados y agua entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	254
Fig. 4.56. Comparación de la dosificación del cemento entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	255
Fig. 4.57. Comparación de la dosificación de los agregados y agua entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	256
Fig. 4.58. Comparación de la dosificación del cemento entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	257
Fig. 4.59. Comparación de la dosificación de los agregados y agua entre los métodos de diseño de mezcla para un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	258
Fig. 4.60. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de ACI	259
Fig. 4.61. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de WALKER	260
Fig. 4.62. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de Modulo de Fineza de la Combinación de los agregados.	261
Fig. 4.63. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de FÜLLER	262
Fig. 4.64. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de BOLOMEY ..	263
Fig. 4.65. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de FAURY	264
Fig. 4.66. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de O'REILLY....	265
Fig. 4.67. Figura comparativa de la dosificación entre resistencias para el diseño de Porrero & Grases	266
Fig. 4.68. Resistencia Promedio VS a/c por diferentes métodos de mezcla	267
Fig. 4.69. Comparación de curvas granulométricas Füller, Bolomey y Faury.....	268
Fig. 5.1.Comparación de Asentamiento entre métodos con una resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	272
Fig. 5.2.Comparación de Asentamiento entre métodos con una resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	273
Fig. 5.3.Comparación de Asentamiento entre métodos con una resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	275
Fig. 5.4.Asentamiento vs Resistencia Promedio $f'c$	276
Fig. 5.5. Comparación de Peso Unitario entre métodos con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	283
Fig. 5.6. Comparación del Rendimiento entre métodos con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	283
Fig. 5.7. Comparación de Peso Unitario entre métodos con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	285
Fig. 5.8. Comparación del Rendimiento entre métodos con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	285
Fig. 5.9. Comparación de Peso Unitario entre métodos con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	287
Fig. 5.10. Comparación de Rendimiento entre métodos con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	287
Fig. 5.11. Peso Unitario VS Resistencia Promedio $f'c$	289
Fig. 5.12. Comparación del Contenido de Aire entre métodos con una resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$..	294
Fig. 5.13. Comparación del Contenido de Aire entre métodos con una resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$..	296
Fig. 5.14. Comparación del Contenido de Aire entre métodos con una resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$..	297
Fig. 5.15. Contenido de Aire VS Resistencia promedio $f'c$	299
Fig. 5.16. Comparación de la Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días del $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	308
Fig. 5.17. Comparación de la Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días del $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	309
Fig. 5.18. Comparación de la Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días del $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	311
Fig. 5.19. Resistencia a la Compresión VS Tiempo para una resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	313
Fig. 5.20. Resistencia a la Compresión VS Tiempo para una resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	314

Fig. 5.21. Resistencia a la Compresión VS Tiempo para una resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	315
Fig. 5.22. Comparación del Peso Unitario del concreto endurecido con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	318
Fig. 5.23. Comparación del Peso Unitario del concreto endurecido con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	319
Fig. 5.24. Comparación del Peso Unitario del concreto endurecido con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	320
Fig. 5.25. Comparación Eficiencia del concreto con un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	323
Fig. 5.26. Comparación Eficiencia del concreto con un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	324
Fig. 5.27. Comparación Eficiencia del concreto con un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	324
Fig. 5.28. Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario para un $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	327
Fig. 5.29. Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	328
Fig. 5.30. Asentamiento VS Contenido de Aire VS Peso Unitario para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	329
Fig. 5.31. Asentamiento VS Contenido de Aire	330
Fig. 5.32. Asentamiento VS Contenido de Aire - ACI, Walker, Modulo de Fineza, Füller, Bolomey y O'Reilly	331
Fig. 5.33. Asentamiento VS Contenido de Aire - Faury y Porrero & Grases	332
Fig. 5.34. Peso Unitario VS Asentamiento	333
Fig. 5.35. Peso Unitario VS Asentamiento – ACI, Walker y Modulo de Fineza	334
Fig. 5.36. Peso Unitario VS Asentamiento – Füller y Bolomey	335
Fig. 5.37. Peso Unitario VS Asentamiento – Faury, Porrero & Grases y O'Reilly	335
Fig. 5.38. Peso Unitario VS Contenido de Aire	336
Fig. 5.39. Peso Unitario VS Contenido de Aire – ACI, Walker y Modulo de Fineza	337
Fig. 5.40. Peso Unitario VS Contenido de Aire – Füller y Bolomey	338
Fig. 5.41. Peso Unitario VS Contenido de Aire – O'Reilly, Faury y Porrero & Grases	338
Fig. 5.42. Resistencia Promedio VS Asentamiento – $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	341
Fig. 5.43. Resistencia Promedio VS Asentamiento – $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	342
Fig. 5.44. Resistencia Promedio VS Asentamiento – $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	343
Fig. 5.45. Resistencia Promedio VS Asentamiento – 175, 210, 280 kg/cm^2	344
Fig. 5.46. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Asentamiento	345
Fig. 5.47. Resistencia Promedio VS Contenido de Aire – $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	346
Fig. 5.48. Resistencia Promedio VS Contenido de Aire – $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	347
Fig. 5.49. Resistencia Promedio VS Contenido de Aire – $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	348
Fig. 5.50. Resistencia Promedio VS Contenido de aire – 175, 210, 280 kg/cm^2	349
Fig. 5.51. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Contenido de Aire	350
Fig. 5.52. Resistencia Promedio VS Peso Unitario – $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	351
Fig. 5.53. Resistencia Promedio VS Peso Unitario – $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	352
Fig. 5.54. Resistencia Promedio VS Peso Unitario – $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	353
Fig. 5.55. Resistencia Promedio VS Peso Unitario – 175, 210, 280 kg/cm^2	354
Fig. 5.56. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Peso Unitario	355
Fig. 5.57. Tendencia del comportamiento de la Resistencia Promedio VS Costo Unitario	364
Fig. 5.58. Figura Comparativa Costo – Beneficio, $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	367
Fig. 5.59. Figura Comparativa Costo – Beneficio, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	367
Fig. 5.60. Figura Comparativa Costo – Beneficio, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	368

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 4.1. Agitador de Tamices – Granulometría Agregado Fino</i>	63
<i>Ilustración 4.2. Granulometría del Agregado Fino</i>	63
<i>Ilustración 4.3. Agitador de Tamices – Granulometría Agregado Grueso.....</i>	70
<i>Ilustración 4.4. Granulometría del Agregado Grueso</i>	71
<i>Ilustración 4.5. Agregado Fino reposando en agua por 24 horas.....</i>	78
<i>Ilustración 4.6. Prueba de Absorción del Agregado Fino</i>	79
<i>Ilustración 4.7. Prueba de Absorción del Agregado Fino en condición saturada superficialmente seca.....</i>	79
<i>Ilustración 4.8. Ensayo de Peso específico del Agregado Fino</i>	80
<i>Ilustración 4.9. Agregado Grueso reposando en agua 24 horas</i>	84
<i>Ilustración 4.10. Agregado Grueso en estado saturado y estado saturado superficialmente seco ..</i>	84
<i>Ilustración 4.11. Prueba de ensayo de peso específico del Agregado Grueso</i>	85
<i>Ilustración 4.12. Prueba de Peso unitario suelto del Agregado Fino y Grueso</i>	89
<i>Ilustración 4.13. Prueba de Peso unitario compactado del Agregado Fino.....</i>	91
<i>Ilustración 4.14. Prueba de Peso unitario compactado del Agregado Grueso</i>	92
<i>Ilustración 4.15. Prueba de Cantidad de Finos que pasan la Malla #200 - Agregado Fino.....</i>	95
<i>Ilustración 4.16. Prueba de Cantidad de Finos que pasan la Malla #200 - Agregado Grueso</i>	96
<i>Ilustración 4.17. Máquina de abrasión de los Ángeles.....</i>	99
<i>Ilustración 4.18. Prueba de Abrasión – Agregado Grueso.....</i>	99
<i>Ilustración 4.19. Cubos de mortero para determinar la resistencia a la compresión.</i>	104
<i>Ilustración 4.20. Requerimientos iniciales y perfil de una viga estructural (mm)</i>	108
<i>Ilustración 4.21. Ensayo de Peso Unitario de la Combinación de los agregados.....</i>	215
<i>Ilustración 5.1. Ensayo de Asentamiento del concreto en estado fresco</i>	270
<i>Ilustración 5.2. Ensayo de Peso Unitario del concreto en estado fresco.....</i>	278
<i>Ilustración 5.3. Ensayo de Contenido de aire del concreto en estado fresco</i>	292
<i>Ilustración 5.4. Ensayo de Contenido de aire del concreto en estado fresco</i>	292
<i>Ilustración 5.5. Pozo de curado</i>	301
<i>Ilustración 5.6. Probetas de concreto</i>	302

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESIÓN DEL DISEÑO DE O'REILLY

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

GRÁFICOS DEL CONTROL ESTADÍSTICO DEL ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
DE SANTA MARÍA

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPRESIÓN DEL DISEÑO DE O'REILLY

F'C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO 1	DIAMETRO 2	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	AREA (cm2)	LONGITUD 1	LONGITUD 2	LONGITUD PROMEDIO (cm)	L/D	FACTOR DE CORRECCION	FUERZA MÁXIMA (kgf)	ESFUERZO MÁXIMO (kg/cm2)	PROMEDIO (kg/cm2)
175	7 días	PRU.ORE/175/7/1	13/11/2017	20/11/2017	10.60	10.60	10.600	88.247	20.40	20.41	20.405	1.925	1.00	12150	137.681	141.902
		PRU.ORE/175/7/2	13/11/2017	20/11/2017	10.73	10.70	10.715	90.173	20.52	20.49	20.505	1.914	1.00	12705	140.897	
		PRU.ORE/175/7/3	13/11/2017	20/11/2017	10.60	10.65	10.625	88.664	20.42	20.45	20.435	1.923	1.00	11214	126.477	
		PRU.ORE/175/7/4	13/11/2017	20/11/2017	10.40	10.42	10.410	85.112	20.25	20.28	20.265	1.947	1.00	12464	146.442	
		PRU.ORE/175/7/5	13/11/2017	20/11/2017	10.10	10.15	10.125	80.516	20.20	20.21	20.205	1.996	1.00	12484	155.051	
		PRU.ORE/175/7/6	13/11/2017	20/11/2017	10.62	10.65	10.635	88.831	20.30	20.27	20.285	1.907	1.00	13353	150.319	
		PRU.ORE/175/7/7	13/11/2017	20/11/2017	10.60	10.65	10.625	88.664	20.20	20.29	20.245	1.905	1.00	12476	140.711	
		PRU.ORE/175/7/8	13/11/2017	20/11/2017	10.60	10.57	10.585	87.998	20.48	20.50	20.490	1.936	1.00	12254	139.254	
175	28 días	PRU.ORE/175/28/1	13/11/2017	11/12/2017	10.60	10.62	10.610	88.414	20.37	20.32	20.345	1.918	1.00	17695	200.138	212.708
		PRU.ORE/175/28/2	13/11/2017	11/12/2017	10.70	10.75	10.725	90.341	20.46	20.48	20.470	1.909	1.00	20302	224.727	
		PRU.ORE/175/28/3	13/11/2017	11/12/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.20	20.18	20.190	1.889	1.00	18276	203.627	
		PRU.ORE/175/28/4	13/11/2017	11/12/2017	10.08	10.13	10.105	80.198	20.17	20.20	20.185	1.998	1.00	17956	223.896	
		PRU.ORE/175/28/5	13/11/2017	11/12/2017	10.60	10.58	10.590	88.081	20.43	20.45	20.440	1.930	1.00	18396	208.853	
		PRU.ORE/175/28/6	13/11/2017	11/12/2017	10.60	10.67	10.635	88.831	20.20	20.21	20.205	1.900	1.00	19689	221.645	
		PRU.ORE/175/28/7	13/11/2017	11/12/2017	10.53	10.59	10.560	87.583	20.19	20.18	20.185	1.911	1.00	18216	207.987	
		PRU.ORE/175/28/8	13/11/2017	11/12/2017	10.15	10.16	10.155	80.993	20.17	20.19	20.180	1.987	1.00	17065	210.696	
210	7 días	PRU.ORE/210/7/1	13/11/2017	20/11/2017	10.50	10.60	10.550	87.417	20.51	20.45	20.480	1.941	1.00	13646	156.103	175.836
		PRU.ORE/210/7/2	13/11/2017	20/11/2017	10.75	10.75	10.750	90.763	20.42	20.35	20.385	1.896	1.00	15924	175.447	
		PRU.ORE/210/7/3	13/11/2017	20/11/2017	10.66	10.64	10.650	89.082	20.20	20.18	20.190	1.896	1.00	14823	166.398	
		PRU.ORE/210/7/4	13/11/2017	20/11/2017	10.40	10.38	10.390	84.785	20.17	20.19	20.180	1.942	1.00	15755	185.822	
		PRU.ORE/210/7/5	13/11/2017	20/11/2017	10.76	10.78	10.770	91.101	20.40	20.34	20.370	1.891	1.00	16152	177.298	
		PRU.ORE/210/7/6	13/11/2017	20/11/2017	10.50	10.52	10.510	86.755	20.32	20.34	20.330	1.934	1.00	14263	164.405	
		PRU.ORE/210/7/7	13/11/2017	20/11/2017	10.62	10.64	10.630	88.748	20.38	20.40	20.390	1.918	1.00	17456	196.693	
		PRU.ORE/210/7/8	13/11/2017	20/11/2017	10.66	10.68	10.670	89.417	20.40	20.41	20.405	1.912	1.00	16545	185.033	
210	28 días	PRU.ORE/210/28/1	13/11/2017	11/12/2017	10.65	10.70	10.675	89.501	20.43	20.45	20.440	1.915	1.00	23875	266.758	264.159
		PRU.ORE/210/28/2	13/11/2017	11/12/2017	10.68	10.71	10.695	89.836	20.41	20.42	20.415	1.909	1.00	24030	267.487	
		PRU.ORE/210/28/3	13/11/2017	11/12/2017	10.56	10.63	10.595	88.164	20.20	20.26	20.230	1.909	1.00	22214	251.962	
		PRU.ORE/210/28/4	13/11/2017	11/12/2017	10.68	10.69	10.685	89.668	20.10	20.07	20.085	1.880	1.00	23841	265.880	
		PRU.ORE/210/28/5	13/11/2017	11/12/2017	10.70	10.72	10.710	90.088	20.40	20.38	20.390	1.904	1.00	24381	270.634	
		PRU.ORE/210/28/6	13/11/2017	11/12/2017	10.65	10.69	10.670	89.417	20.38	20.34	20.360	1.908	1.00	22851	255.556	
		PRU.ORE/210/28/7	13/11/2017	11/12/2017	10.70	10.67	10.685	89.668	20.45	20.45	20.450	1.914	1.00	23470	261.742	
		PRU.ORE/210/28/8	13/11/2017	11/12/2017	10.68	10.70	10.690	89.752	20.48	20.52	20.500	1.918	1.00	24099	268.506	
280	7 días	PRU.ORE/280/7/1	13/11/2017	20/11/2017	10.59	10.59	10.590	88.081	20.40	20.38	20.390	1.925	1.00	20496	232.695	222.563
		PRU.ORE/280/7/2	13/11/2017	20/11/2017	10.48	10.45	10.465	86.014	20.41	20.35	20.380	1.947	1.00	18326	213.059	
		PRU.ORE/280/7/3	13/11/2017	20/11/2017	10.68	10.70	10.690	89.752	20.02	20.00	20.010	1.872	1.00	21342	237.788	
		PRU.ORE/280/7/4	13/11/2017	20/11/2017	10.71	10.73	10.720	90.257	20.55	20.50	20.525	1.915	1.00	19645	217.657	
		PRU.ORE/280/7/5	13/11/2017	20/11/2017	10.78	10.80	10.790	91.439	20.58	20.60	20.590	1.908	1.00	18874	206.410	
		PRU.ORE/280/7/6	13/11/2017	20/11/2017	10.79	10.80	10.795	91.524	20.61	20.62	20.615	1.910	1.00	20446	223.395	
		PRU.ORE/280/7/7	13/11/2017	20/11/2017	10.79	10.75	10.770	91.101	20.40	20.42	20.410	1.895	1.00	21295	233.753	
		PRU.ORE/280/7/8	13/11/2017	20/11/2017	10.50	10.90	10.700	89.920	20.42	20.45	20.435	1.910	1.00	19445	216.247	
280	28 días	PRU.ORE/280/7/9	13/11/2017	20/11/2017	10.10	10.08	10.090	79.960	20.00	19.98	19.990	1.981	1.00	17756	222.061	331.005
		PRU.ORE/280/28/1	13/11/2017	11/12/2017	10.55	10.57	10.560	87.583	20.40	20.38	20.390	1.931	1.00	29058	331.778	
		PRU.ORE/280/28/2	13/11/2017	11/12/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.53	20.54	20.535	1.921	1.00	30089	335.245	
		PRU.ORE/280/28/3	13/11/2017	11/12/2017	10.55	10.52	10.535	87.168	20.50	20.52	20.510	1.947	1.00	29043	333.183	
		PRU.ORE/280/28/4	13/11/2017	11/12/2017	10.20	10.15	10.175	81.313	20.22	20.24	20.230	1.988	1.00	27350	336.356	
		PRU.ORE/280/28/5	13/11/2017	11/12/2017	10.68	10.71	10.695	89.836	20.51	20.52	20.515	1.918	1.00	29396	327.218	
		PRU.ORE/280/28/6	13/11/2017	11/12/2017	10.50	10.52	10.510	86.755	20.40	20.42	20.410	1.942	1.00	29372	338.562	
		PRU.ORE/280/28/7	13/11/2017	11/12/2017	10.68	10.65	10.665	89.333	20.45	20.48	20.465	1.919	1.00	29547	330.751	
280	28 días	PRU.ORE/280/28/8	13/11/2017	11/12/2017	10.60	10.65	10.625	88.664	20.37	20.40	20.385	1.919	1.00	28283	318.990	331.005
		PRU.ORE/280/28/9	13/11/2017	11/12/2017	10.58	10.60	10.590	88.081	20.48	20.49	20.485	1.934	1.00	28799	326.961	

MÉTODO ACI

D.ACI/280/7/12	15/11/2017	22/11/2017	10.52	10.58	10.550	87.417	20,00	20,10	20.050	1.900	1,00
D.ACI/280/7/13	15/11/2017	22/11/2017	10.50	10.52	10.510	86.795	20,05	20,30	20.325	1.930	1,00
D.ACI/280/7/14	15/11/2017	22/11/2017	10.03	10.10	10.065	87.956	10,00	10,00	10.000	1.000	1,00

MÉTODO WALKER

F°C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio (cm)	Area (cm2)	Longitud 1	Longitud 2	Longitud Promedio (cm)	L/D	Factor de Correccion	Volumen (cm3)	Peso de Probeta (g)	Peso Unitario (kg/m3)	Peso Unitario Promedio(kg/m3)	Fuerza maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2)	Xi- Xprom	Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefic. de Variación "v"	Peso Unitario Corregido (kg/m3)	Resistencia a la compresión promedio corregida (kg/cm2)
175	7 días	D.WAL/175/7/1	17/11/2017	24/11/2017	10.45	10.48	10.465	86.014	20.79	20.75	20.770	1.985	1.00	1786.507				12571	146.151	149.535	11.453	4.255	4.936	3.30%	-	149.635
		D.WAL/175/7/2	17/11/2017	24/11/2017	10.48	10.47	10.475	86.178	20.79	20.78	20.785	1.984	1.00	1791.216				12930	150.038							
		D.WAL/175/7/3	17/11/2017	24/11/2017	10.50	10.49	10.495	86.508	20.30	20.32	20.310	1.935	1.00	1756.971				13178	152.333							
		D.WAL/175/7/4	17/11/2017	24/11/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.30	20.35	20.325	1.901	1.00	1824.214				13124	146.225							
		D.WAL/175/7/5	17/11/2017	24/11/2017	10.65	10.62	10.635	88.831	20.50	20.55	20.525	1.930	1.00	1823.258				13961	157.163							
		D.WAL/175/7/6	17/11/2017	24/11/2017	10.50	10.52	10.510	86.755	20.80	20.73	20.765	1.976	1.00	1801.471				13362	154.020							
		D.WAL/175/7/7	17/11/2017	24/11/2017	10.52	10.51	10.515	86.838	20.80	20.75	20.775	1.976	1.00	1804.054				12210	140.607							
		D.WAL/175/7/8	17/11/2017	24/11/2017	10.50	10.51	10.505	86.673	20.80	20.78	20.790	1.979	1.00	1801.924				13060	150.682							
		D.WAL/175/7/9	17/11/2017	24/11/2017	10.60	10.57	10.585	87.998	20.50	20.45	20.475	1.934	1.00	1801.754				12890	146.481							
		D.WAL/175/7/10	17/11/2017	24/11/2017	10.51	10.58	10.545	87.334	20.00	20.05	20.025	1.899	1.00	1748.862				13340	152.747							
		D.WAL/175/7/11	17/11/2017	24/11/2017	10.50	10.58	10.540	87.251	20.42	20.40	20.410	1.936	1.00	1780.796				13160	150.829							
		D.WAL/175/7/12	17/11/2017	24/11/2017	10.40	10.35	10.375	84.541	20.32	20.35	20.335	1.960	1.00	1719.136				13015	153.949							
		D.WAL/175/7/13	17/11/2017	24/11/2017	10.63	10.65	10.640	88.915	20.42	20.40	20.410	1.918	1.00	1814.747				13365	147.116							
		D.WAL/175/7/14	17/11/2017	24/11/2017	10.68	10.71	10.695	88.831	20.41	20.420	1.909	1.00	1834.456				13961	157.163								
		D.WAL/175/7/15	17/11/2017	24/11/2017	10.76	10.75	10.755	89.584	19.92	19.915	1.852	1.00	1809.219				13365	147.116								
175	28 días	D.WAL/175/28/1	17/11/2017	15/12/2017	10.70	10.72	10.710	90.088	20.01	19.97	19.990	1.866	1.00	1800.867	3969.00	2203.939	2166.829	20395	226.389	226.029	7.251	8.412	3.72%	2163.420	224.179	
		D.WAL/175/28/2	17/11/2017	15/12/2017	10.71	10.71	10.710	90.088	20.20	20.25	20.225	1.888	1.00	1822.038	3948.00	2166.805										
		D.WAL/175/28/3	17/11/2017	15/12/2017	10.73	10.72	10.725	90.341	20.41	20.40	20.405	1.903	1.00	1843.406	4008.50	2174.507										
		D.WAL/175/28/4	17/11/2017	15/12/2017	10.72	10.70	10.710	90.088	20.40	20.42	20.410	1.906	1.00	1838.704	3810.50	2072.384										
		D.WAL/175/28/5	17/11/2017	15/12/2017	10.79	10.75	10.770	91.101	20.40	20.41	20.405	1.895	1.00	1858.908	4050.00	2178.699										
		D.WAL/175/28/6	17/11/2017	15/12/2017	10.62	10.65	10.635	88.831	20.36	20.37	20.365	1.915	1.00	1809.045	3939.00	2177.392										
		D.WAL/175/28/7	17/11/2017	15/12/2017	10.52	10.50	10.510	86.755	20.37	20.40	20.385	1.940	1.00	1768.504	3829.50	2165.390										
		D.WAL/175/28/8	17/11/2017	15/12/2017	10.75	10.71	10.730	90.425	20.50	20.47	20.485	1.909	1.00	1852.360	3959.00	2137.274										
		D.WAL/175/28/9	17/11/2017	15/12/2017	10.82	10.85	10.835	92.204	20.50	20.48	20.490	1.891	1.00	1889.251	4196.50	2221.251										
		D.WAL/175/28/10	17/11/2017	15/12/2017	10.70	10.73	10.715	90.173	20.48	20.49	20.485	1.912	1.00	1847.184	3945.50	2135.954										
		D.WAL/175/28/11	17/11/2017	15/12/2017	10.72	10.75	10.735	90.509	20.51	20.52	20.515	1.911	1.00	1856.802	3970.00	2138.085										
		D.WAL/175/28/12	17/11/2017	15/12/2017	10.71	10.73	10.720	90.257	20.48	20.51	20.495	1.912	1.00	1849.811	4083.00	2207.252										
		D.WAL/175/28/13	17/11/2017	15/12/2017	10.73	10.76	10.745	90.678	20.49	20.51	20.500	1.908	1.00	1858.902	4045.00	2176.015										
		D.WAL/175/28/14	17/11/2017	15/12/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.50	20.53	20.515	1.919	1.00	1841.267	3954.00	2147.434										
		D.WAL/175/28/15	17/11/2017	15/12/2017	10.70	10.67	10.685	89.668	20.20	20.18	20.190	1.890	1.00	1810.403	3983.00	2200.063										
210	7 días	D.WAL/210/7/1	17/11/2017	24/11/2017	10.65	10.63	10.640	88.915	20.00	20.00	20.000	1.880	1.00	1778.292				14918	167.779	180.767	8.213	9.528	5.27%	-	181.519	
		D.WAL/210/7/2	17/11/2017	24/11/2017	10.08	10.00	10.040	79.169	20.55	20.51	20.530	2.045	1.00	1625.348				15022	189.745							
		D.WAL/210/7/3	17/11/2017	24/11/2017	10.11	10.10	10.105	80.198	20.80	20.79	20.795	2.058	1.00	1667.713				13929	173.683							
		D.WAL/210/7/4	17/11/2017	24/11/2017	10.65	10.68	10.665	89.333	20.38	20.40	20.390	1.912	1.00	1821.499				15587	174.482							
		D.WAL/210/7/5	17/11/2017	24/11/2017	10.00	10.08	10.040	79.169	20.50	20.45	20.475	2.039	1.00	1620.993				15441	195.037							
		D.WAL/210/7/6	17/11/2017	24/11/2017	10.00	10.25	10.125	80.516	20.50	20.48	20.490	2.024	1.00	1649.764				13725	170.464							
		D.WAL/210/7/7	17/11/2017	24/11/2017	10.50	10.57	10.535	87.168	20.80	20.78	20.790	1.973	1.00	1812.231				15816	181.442							
		D.WAL/210/7/8	17/11/2017	24/11/2017	10.00	10.21	10.105	80.198	20.48	20.50	20.490	2.028	1.00	1643.253				14270	177.935							
		D.WAL/210/7/9	17/11/2017	24/11/2017	10.50	10.48	10.490	86.425	20.79	20.78	20.785	1.981	1.00	1796.350				16171	187.110							
		D.WAL/210/7/10	17/11/2017	24/11/2017	10.47	10.45	10.460	85.932	20.78	20.79	20.785	1.987	1.00	1786.090				15330	178.398							
		D.WAL/210/7/11	17/11/2017	24/11/2017	10.00	10.12	10.060	79.485	20.80	20.80	20.800	2.068	1.00	1653.291				14570	183.305							
		D.WAL/210/7/12	17/11/2017	24/11/2017	10.00	10.05	10.025	78.933	20.60	20.62	20.610	2.056	1.00	1626.809				13575	171.981							
		D.WAL/210/7/13	17/11/2017	24/11/2017	10.05	10.08	10.065	79.564	20.58	20.60	20.590	2.046	1.00	1638.226				14390	180.860							
		D.WAL/210/7/14	17/11/2017	24/11/2017	10.20	10.23	10.215	81.953	20.30	20.31	20.303	1.988	1.00	1663.858				15524	189.425							
		D.WAL/210/7/15	17/11/2017	24/11/2017	10.20	10.23	10.215	81.953	20.50	20.51	20.503	2.007	1.00	1680.248				15560	189.864							
210	28 días	D.WAL/210/28/1	17/11/2017	15/12/2017	10.21	10.19	10.200	81.713	20.20	20.17	20.185	1.979	1.00	1649.373	3602.50	2184.163	2183.792	22298	272.883	273.794	10.263	11.905	4.35%	2182.069	272.862	
		D.WAL/210/28/2	17/11/2017	15/12/2017	10.19	10.20	10.195	81.633	20.21	20.18	20.195	1.981	1.00	1648.573	3641.00	2208.577										
		D.WAL/210/28/3	17/11/2017	15/12/2017	10.20	10.22	10.210	81.873	20.20	20.26	20.230	1.981	1.00	1656.293	3542.50	2138.812										
		D.WAL/210/28/3	17/11/2017	15/12/2017	10.20	10.17	10.185	81.473	20.23	20.25	20.240	1.987	1.00	1649.007	3624.00	2197.686										
		D.WAL/210/28/4	17/11/2017	15/12/2017	10.69	10.67	10.680	89.584	20.22	20.23	20.225	1.894	1.00	1811.844	4005.00	2210.455										
		D.WAL/210/28/4	17/11/2017	15/12/2017	10.23	10.20	10.215	81.953	20.40	20.35	20.375	1.995	1.00	1669.799	3624.00	2170.321										
		D.WAL/210/28/5	17/11/2017	15/12/2017	10.15	10.18	10.165	81.153	20.18	20.20	20.190	1.986	1.00	1638.479	3566.00	2176.408										
		D.WAL/210/28/5	17/11/2017	15/12/2017	10.12	10.14	10.130	80.595	20.19	20.17	20.180	1.992	1.00	1626.410	3532.00	2171.655										
		D.WAL/210/28/6	17/11/2017	15/12/2017	10.14	10.13	10.135	80.675	20.18	20.19	20.185	1.992	1.00	1628.419	3626.00	2226.700										
		D.WAL/210/28/6	17/11/2017	15/12/2017	10.71	10.68	10.695	89.836	20.20	20.17	20.185	1.887	1.00	1813.344	3953.00	2179.950										
		D.WAL/210/28/7	17/11/2017	15/12/2017	10.12	10.10	10.110	80.277	20.18	20.17	20.175	1.996	1.00	1619.592	3511.00	2167.829										
		D.WAL/210/28/7	17/11/2017</																							

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS

F'C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio (cm)	Area (cm2)	Longitud 1	Longitud 2	Longitud Promedio (cm)	L/D	Factor de Correccion	Volumen (cm3)	Peso de Probeta (g)	Peso Unitario (kg/m3)	Peso Unitario Promedio(kg/m3)	Fuerza maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2)	Xi- Xprom	Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefic. de Variación "v"	Peso Unitario Corregido (kg/m3)	Resistencia a la compresión promedio corregida (kg/cm2)	
175	7 días	D.MF/175/7/1	20/11/2017	27/11/2017	10.00	10.10	10.050	79.327	20.60	20.63	20.615	2.051	1.00	1635.330				10672	134.531	137.576	9.270	6.356	7.373	5.36%	-	137.717	
		D.MF/175/7/2	20/11/2017	27/11/2017	10.12	10.11	10.115	80.357	20.40	20.35	20.375	2.014	1.00	1637.266				11346	141.196								
		D.MF/175/7/3	20/11/2017	27/11/2017	10.04	10.07	10.055	79.406	20.80	20.82	20.810	2.070	1.00	1652.442				11917	150.077								
		D.MF/175/7/4	20/11/2017	27/11/2017	10.00	10.05	10.025	78.933	20.75	20.75	20.750	2.070	1.00	1637.860				10420	132.011								
		D.MF/175/7/5	20/11/2017	27/11/2017	10.05	10.02	10.035	79.091	20.80	20.78	20.790	2.072	1.00	1644.293				11219	141.850								
		D.MF/175/7/6	20/11/2017	27/11/2017	10.10	10.07	10.085	79.881	20.78	20.71	20.745	2.057	1.00	1657.124				11486	143.789								
		D.MF/175/7/7	20/11/2017	27/11/2017	10.10	10.03	10.065	79.564	20.80	20.79	20.795	2.066	1.00	1654.537				10502	131.994								
		D.MF/175/7/8	20/11/2017	27/11/2017	10.00	10.11	10.055	79.406	20.79	20.79	20.790	2.068	1.00	1650.853				9786	123.240								
		D.MF/175/7/9	20/11/2017	27/11/2017	10.10	10.12	10.110	80.277	20.80	20.81	20.805	2.058	1.00	1670.167				10818	134.758								
		D.MF/175/7/10	20/11/2017	27/11/2017	10.40	10.35	10.375	84.541	20.75	20.73	20.740	1.999	1.00	1753.375				11882	140.548								
		D.MF/175/7/11	20/11/2017	27/11/2017	10.10	10.12	10.110	80.277	20.40	20.45	20.425	2.020	1.00	1639.662				10680	133.039								
		D.MF/175/7/12	20/11/2017	27/11/2017	10.01	10.04	10.025	78.933	20.10	20.12	20.110	2.006	1.00	1587.343				10996	139.308								
		D.MF/175/7/13	20/11/2017	27/11/2017	10.50	10.45	10.475	86.178	20.41	20.45	20.430	1.950	1.00	1760.623				11993	149.031								
		D.MF/175/7/14	20/11/2017	27/11/2017	10.00	10.07	10.035	79.406	20.79	20.05	20.060	1.999	1.00	1586.557				10680	136.578								
		D.MF/175/7/15	20/11/2017	27/11/2017	10.60	10.63	10.615	89.119	20.03	20.015	1.886	1.00	1771.273				12772	138.694									
175	28 días	D.MF/175/28/1	20/11/2017	18/12/2017	10.05	10.09	10.070	79.643	20.45	20.45	20.450	2.031	1.00	1628.704	3504.00	2151.404											
		D.MF/175/28/2	20/11/2017	18/12/2017	10.06	10.08	10.070	79.643	20.42	20.44	20.430	2.029	1.00	1627.111	3545.50	2179.015											
		D.MF/175/28/3	20/11/2017	18/12/2017	10.10	10.07	10.085	79.881	20.25	20.23	20.240	2.007	1.00	1616.785	3535.50	2186.748											
		D.MF/175/28/4	20/11/2017	18/12/2017	10.12	10.14	10.130	80.595	20.27	20.26	20.265	2.000	1.00	1633.260	3579.00	2191.323											
		D.MF/175/28/5	20/11/2017	18/12/2017	10.66	10.68	10.670	89.417	19.92	19.93	19.925	1.867	1.00	1781.628	3909.00	2194.061											
		D.MF/175/28/6	20/11/2017	18/12/2017	10.09	10.13	10.110	80.277	20.20	20.18	20.190	1.997	1.00	1620.797	3517.00	2169.921											
		D.MF/175/28/7	20/11/2017	18/12/2017	10.01	10.06	10.035	79.091	20.17	20.20	20.185	2.011	1.00	1596.443	3465.00	2170.450											
		D.MF/175/28/8	20/11/2017	18/12/2017	10.10	10.12	10.110	80.277	20.43	20.45	20.440	2.022	1.00	1640.866	3589.50	2187.565											
		D.MF/175/28/9	20/11/2017	18/12/2017	10.12	10.11	10.115	80.357	20.20	20.21	20.205	1.998	1.00	1623.605	3557.00	2190.803											
		D.MF/175/28/10	20/11/2017	18/12/2017	10.08	10.10	10.090	79.960	20.19	20.18	20.185	2.000	1.00	1613.990	3525.00	2184.028											
		D.MF/175/28/11	20/11/2017	18/12/2017	10.09	10.11	10.100	80.118	20.17	20.19	20.180	1.998	1.00	1616.791	3505.50	2168.184											
		D.MF/175/28/12	20/11/2017	18/12/2017	10.18	10.21	10.195	81.633	20.03	19.99	20.010	1.963	1.00	1633.471	3555.00	2176.347											
		D.MF/175/28/13	20/11/2017	18/12/2017	10.68	10.71	10.695	89.836	20.40	20.38	20.390	1.906	1.00	1831.760	3942.00	2152.028											
		D.MF/175/28/14	20/11/2017	18/12/2017	10.12	10.09	10.105	80.198	20.41	20.38	20.395	2.018	1.00	1635.634	3548.50	2169.495											
		D.MF/175/28/15	20/11/2017	18/12/2017	10.60	10.59	10.595	88.164	20.05	20.04	20.045	1.892	1.00	1767.249	3854.00	2180.790											
210	7 días	D.MF/210/7/1	21/11/2017	28/11/2017	10.68	10.65	10.665	89.333	20.40	20.37	20.385	1.911	1.00	1821.052													
		D.MF/210/7/2	21/11/2017	28/11/2017	10.20	10.20	10.200	81.713	20.10	20.10	20.100	1.971	1.00	1642.428													
		D.MF/210/7/3	21/11/2017	28/11/2017	10.68	10.67	10.675	89.501	20.41	20.42	20.415	1.912	1.00	1827.153													
		D.MF/210/7/4	21/11/2017	28/11/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.40	20.41	20.405	1.909	1.00	1831.394													
		D.MF/210/7/5	21/11/2017	28/11/2017	10.70	10.75	10.725	90.341	20.42	20.42	20.420	1.904	1.00	1844.761													
		D.MF/210/7/6	21/11/2017	28/11/2017	10.68	10.70	10.690	89.752	20.41	20.40	20.403	1.909	1.00	1831.215													
		D.MF/210/7/7	21/11/2017	28/11/2017	10.53	10.57	10.550	87.417	20.38	20.37	20.375	1.931	1.00	1781.117													
		D.MF/210/7/8	21/11/2017	28/11/2017	10.50	10.52	10.510	86.755	20.37	20.40	20.385	1.940	1.00	1768.504													
		D.MF/210/7/9	21/11/2017	28/11/2017	10.40	10.45	10.425	85.358	20.40	20.35	20.375	1.954	1.00	1739.160													
		D.MF/210/7/10	21/11/2017	28/11/2017	10.51	10.58	10.545	87.334	20.50	20.48	20.490	1.943	1.00	1789.472													
		D.MF/210/7/11	21/11/2017	28/11/2017	10.67	10.68	10.675	89.501	20.53	20.51	20.520	1.922	1.00	1836.551													
		D.MF/210/7/12	21/11/2017	28/11/2017	10.62	10.60	10.610	88.414	20.40	20.41	20.405	1.923	1.00	1804.086													
		D.MF/210/7/13	21/11/2017	28/11/2017	10.80	10.78	10.790	91.439	20.42	20.42	20.420	1.892	1.00	1867.190													
		D.MF/210/7/14	21/11/2017	28/11/2017	10.41	10.44	10.425	85.358	20.37	20.40	20.385	1.955	1.00	1740.014													
		D.MF/210/7/15	21/11/2017	28/11/2017	10.50	10.49	10.495	86.508	20.50	20.47	20.485	1.952	1.00	1772.110													
210	28 días	D.MF/210/28/1	21/11/2017	19/12/2017	10.65	10.68	10.665	89.333	20.38	20.39	20.385	1.911	1.00	1821.052	3969.50	2179.784											
		D.MF/210/28/2	21/11/2017	19/12/2017	10.65	10.63	10.640	88.915	19.96	19.91	19.935	1.874	1.00	1772.513	3858.00	2176.571											
		D.MF/210/28/3	21/11/2017	19/12/2017	10.63	10.62	10.625	88.664	20.05	19.99	20.020	1.884	1.00	1775.055	3887.50	2190.073											
		D.MF/210/28/4	21/11/2017	19/12/2017	10.47	10.51	10.490	86.425	20.40	20.43	20.415	1.946	1.00	1764.372	3845.50	2179.529											
		D.MF/210/28/5	21/11/2017	19/12/2017	10.60	10.57	10.585	87.998	20.41	20.40	20.405	1.928	1.00	1795.594	3916.00	2180.894		</									

MÉTODO FÜLLER

F'C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio (cm)	Area (cm2)	Longitud 1	Longitud 2	Longitud Promedio (cm)	L/D	Factor de Correcion	Volumen (cm3)	Peso de Probeta (g)	Peso Unitario (kg/m3)	Peso Unitario Promedio(kg/m3)	Fuerza maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2)	Xi- Xprom	Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefic. de Variación "v"	Peso Unitario Corregido (kg/m3)	Resistencia a la compresión promedio corregida (kg/cm2)	
175	7 días	D.FUL/175/7/1	22/11/2017	29/11/2017	10.51	10.48	10.495	86.508	20.45	20.42	20.435	1.947	1.00	1767.785				13872	160.356	158.418	3.753	5.816	6.746	4.26%	-	158.531	
		D.FUL/175/7/2	22/11/2017	29/11/2017	10.70	10.63	10.665	89.333	20.55	20.54	20.545	1.926	1.00	1835.345				13706	153.426								
		D.FUL/175/7/3	22/11/2017	29/11/2017	10.50	10.60	10.550	87.417	20.42	20.44	20.430	1.936	1.00	1785.925				13886	158.848								
		D.FUL/175/7/4	22/11/2017	29/11/2017	10.56	10.50	10.530	87.086	20.48	20.47	20.475	1.944	1.00	1783.079				14268	163.839								
		D.FUL/175/7/5	22/11/2017	29/11/2017	10.52	10.53	10.525	87.003	20.46	20.44	20.450	1.943	1.00	1779.211				13509	155.271								
		D.FUL/175/7/6	22/11/2017	29/11/2017	10.52	10.56	10.540	87.251	20.45	20.43	20.440	1.939	1.00	1783.413				13632	156.239								
		D.FUL/175/7/7	22/11/2017	29/11/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.40	20.42	20.410	1.909	1.00	1831.843				15282	170.269								
		D.FUL/175/7/8	22/11/2017	29/11/2017	10.70	10.67	10.685	89.668	20.40	20.41	20.405	1.910	1.00	1829.682				14393	160.514								
		D.FUL/175/7/9	22/11/2017	29/11/2017	10.51	10.57	10.540	87.251	20.43	20.39	20.410	1.936	1.00	1780.796				12661	145.110								
		D.FUL/175/7/10	22/11/2017	29/11/2017	10.68	10.68	10.680	89.584	20.50	20.48	20.490	1.919	1.00	1835.584				14192	158.420								
		D.FUL/175/7/11	22/11/2017	29/11/2017	10.50	10.46	10.480	86.261	20.37	20.39	20.380	1.945	1.00	1757.991				14194	164.548								
		D.FUL/175/7/12	22/11/2017	29/11/2017	10.60	10.56	10.580	87.015	20.40	20.42	20.410	1.929	1.00	1794.338				13389	152.295								
		D.FUL/175/7/13	22/11/2017	29/11/2017	10.65	10.68	10.665	89.333	20.48	20.47	20.475	1.920	1.00	1829.092				14211	158.177								
		D.FUL/175/7/14	22/11/2017	29/11/2017	10.67	10.69	10.680	89.584	20.40	20.41	20.405	1.911	1.00	1827.970				14211	158.177								
		D.FUL/175/7/15	22/11/2017	29/11/2017	10.70	10.69	10.695	89.584	20.43	20.425	1.910	1.00	1834.905				14211	158.177									
175	28 días	D.FUL/175/28/1	22/11/2017	20/12/2017	10.40	10.44	10.420	85.276	20.21	20.22	20.215	1.940	1.00	1723.848	3942.00	2286.744					23.607						
		D.FUL/175/28/2	22/11/2017	20/12/2017	10.58	10.52	10.550	87.417	20.40	20.43	20.415	1.935	1.00	1784.614	4075.50	2283.688					20860	238.627					
		D.FUL/175/28/3	22/11/2017	20/12/2017	10.61	10.57	10.590	88.081	20.41	20.43	20.420	1.928	1.00	1798.612	4087.00	2272.307					20685	234.841					
		D.FUL/175/28/4	22/11/2017	20/12/2017	10.68	10.72	10.700	89.920	20.19	20.23	20.210	1.889	1.00	1817.288	4138.00	2277.019					20820	231.539					
		D.FUL/175/28/5	22/11/2017	20/12/2017	10.70	10.72	10.710	90.088	20.38	20.41	20.395	1.904	1.00	1837.353	4172.00	2270.658					20633	229.031					
		D.FUL/175/28/6	22/11/2017	20/12/2017	10.45	10.46	10.455	85.850	20.37	20.39	20.380	1.949	1.00	1749.614	3996.00	2283.933					20526	239.093					
		D.FUL/175/28/7	22/11/2017	20/12/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.18	20.21	20.195	1.889	1.00	1812.546	4049.00	2233.874					20148	224.485					
		D.FUL/175/28/8	22/11/2017	20/12/2017	10.70	10.72	10.710	90.088	20.60	20.62	20.610	1.924	1.00	1856.722	4165.00	2243.201					20617	228.853					
		D.FUL/175/28/9	22/11/2017	20/12/2017	10.51	10.55	10.530	87.086	20.43	20.41	20.420	1.939	1.00	1778.289	4055.00	2280.282					20593	236.468					
		D.FUL/175/28/10	22/11/2017	20/12/2017	10.52	10.58	10.550	87.417	20.20	20.23	20.215	1.916	1.00	1767.130	4013.00	2270.914					20575	235.367					
		D.FUL/175/28/11	22/11/2017	20/12/2017	10.65	10.63	10.640	88.915	19.92	19.93	19.925	1.873	1.00	1771.624	4106.00	2317.648					22191	249.577					
		D.FUL/175/28/12	22/11/2017	20/12/2017	10.68	10.72	10.700	89.920	20.39	20.42	20.405	1.907	1.00	1834.822	4144.00	2258.529					20644	229.581					
		D.FUL/175/28/13	22/11/2017	20/12/2017	10.70	10.69	10.695	89.836	20.15	20.17	20.160	1.885	1.00	1811.098	4169.00	2301.918					21798	242.642					
		D.FUL/175/28/14	22/11/2017	20/12/2017	10.67	10.69	10.680	89.584	20.17	20.20	20.185	1.890	1.00	1808.261	4163.50	2302.488					21774	243.056					
		D.FUL/175/28/15	22/11/2017	20/12/2017	10.65	10.68	10.665	89.333	20.41	20.39	20.400	1.913	1.00	1822.392	4130.50	2266.527					20694	231.650					
210	7 días	D.FUL/210/7/1	22/11/2017	29/11/2017	10.45	10.47	10.460	85.932	20.41	20.44	20.425	1.953	1.00	1755.154					16126	187.661	195.211	57.006	6.574	7.626	3.91%	-	194.621
		D.FUL/210/7/2	22/11/2017	29/11/2017	10.45	10.46	10.455	85.850	20.43	20.41	20.420	1.953	1.00	1753.048					16755	195.167							
		D.FUL/210/7/3	22/11/2017	29/11/2017	10.45	10.45	10.450	85.767	20.20	20.23	20.215	1.934	1.00	1733.789					17127	199.691							
		D.FUL/210/7/4	22/11/2017	29/11/2017	10.01	10.05	10.030	79.012	20.00	19.98	19.990	1.993	1.00	1579.445					15817	200.185							
		D.FUL/210/7/5	22/11/2017	29/11/2017	10.08	10.02	10.050	79.327	19.98	19.99	19.985	1.989	1.00	1585.354					15694	197.839							
		D.FUL/210/7/6	22/11/2017	29/11/2017	10.11	10.06	10.085	79.881	20.05	20.05	20.050	1.988	1.00	1601.607					15926	199.372							
		D.FUL/210/7/7	22/11/2017	29/11/2017	10.00	10.03	10.015	78.776	19.95	19.97	19.960	1.993	1.00	1572.361					15271	193.854							
		D.FUL/210/7/8	22/11/2017	29/11/2017	10.01	10.02	10.015	78.776	19.98	19.98	19.980	1.995	1.00	1573.937					14653	186.009							
		D.FUL/210/7/9	22/11/2017	29/11/2017	10.03	10.04	10.035	79.091	20.00	20.03	20.015	1.995	1.00	1582.998					16774	212.086							
		D.FUL/210/7/10	22/11/2017	29/11/2017	10.06	10.09	10.075	79.722	20.00	20.00	20.000	1.985	1.00	1594.447					15003	188.191							
		D.FUL/210/7/11	22/11/2017	29/11/2017	10.40	10.46	10.430	85.439	20.20	20.22	20.210	1.938	1.00	1726.732					16864	197.380							
		D.FUL/210/7/12	22/11/2017	29/11/2017	10.08	10.05	10.065	79.564	20.01	19.97	19.990	1.986	1.00	1590.487					15247	191.632							
		D.FUL/210/7/13	22/11/2017	29/11/2017	10.40	10.38	10.390	84.785	20.23	20.24	20.235	1.948	1.00	1715.632					16674	196.661							
		D.FUL/210/7/14	22/11/2017	29/11/2017	10.40	10.44	10.420	85.276	20.20	20.22	20.210	1.940	1.00	1723.422					16148	189.362							
		D.FUL/210/7/15	22/11/2017	29/11/2017	10.58	10.57	10.575	87.832	20.40	20.42	20.410	1.930	1.00	1792.642					16958	193.074							
210	28 días	D.FUL/210/28/1	22/11/2017	20/12/2017	10.12	10.10	10.110	80.277	20.33	20.34	20.335	2.011	1.00	1632.437	3754.50	2299.936					23501	292.748					
		D.FUL/210/28/2	22/11/2017	20/12/2017	10.41	10.38	10.395	84.867	20.12	20.08	20.100	1.934	1.00	1705.827	3908.50	2291.264					24656	290.525					
		D.FUL/210/28/3	22/11/2017	20/12/2017	10.00	10.04	10.020	78.854	20.25	20.23	20.240	2.020	1.00	1596.011	3586.00	2246.852					21689	275.052					
		D.FUL/210/28/4	22/11/2017	20/12/2017	10.11	10.09	10.100	80.118	20.26	20.24	20.250	2.005	1.00	1622.399	3636.00	2241.126					21573	269.264					
		D.FUL/210/28/5	2																								

MÉTODO BOLOMEY

F°C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio (cm)	Area (cm2)	Longitud 1	Longitud 2	Longitud Promedio (cm)	L/D	Factor de Correcion	Volumen (cm3)	Peso de Probeta (g)	Peso Unitario (kg/m3)	Peso Unitario Promedio(kg/m3)	Fuerza maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2)	Xi-Xprom	Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefic. de Variación "v"	Peso Unitario Corregido (kg/m3)	Resistencia a la compresión promedio corregida (kg/cm2)
175	7 días	D.BOL/175/7/1	23/11/2017	30/11/2017	10.06	10.09	10.075	79.722	20.11	20.17	20.140	1.999	1.00	1605.608				8679	108.865	113.493	21.411	6.850	7.946	7.00%	-	113.510
		D.BOL/175/7/2	23/11/2017	30/11/2017	10.10	10.08	10.090	79.960	20.07	20.09	20.080	1.990	1.00	1605.595				8687	108.642		23.528					
		D.BOL/175/7/3	23/11/2017	30/11/2017	10.12	10.08	10.100	80.118	20.18	20.16	20.170	1.997	1.00	1615.989				8974	112.009		2.200					
		D.BOL/175/7/4	23/11/2017	30/11/2017	10.06	10.12	10.090	79.960	20.19	20.14	20.165	1.999	1.00	1612.391				9356	117.009		12.363					
		D.BOL/175/7/5	23/11/2017	30/11/2017	10.07	10.10	10.085	79.881	20.08	20.11	20.095	1.993	1.00	1605.202				8867	111.003		6.197					
		D.BOL/175/7/6	23/11/2017	30/11/2017	10.05	10.08	10.065	79.564	20.14	20.10	20.120	1.999	1.00	1600.831				8830	110.980		6.315					
		D.BOL/175/7/7	23/11/2017	30/11/2017	10.12	10.15	10.135	80.675	20.18	20.21	20.195	1.993	1.00	1629.226				9639	119.480		35.848					
		D.BOL/175/7/8	23/11/2017	30/11/2017	10.05	10.11	10.080	79.801	20.06	20.04	20.050	1.989	1.00	1600.020				9387	117.629		17.114					
		D.BOL/175/7/9	23/11/2017	30/11/2017	10.12	10.08	10.100	80.118	20.13	20.15	20.140	1.994	1.00	1613.586				8968	111.934		2.428					
		D.BOL/175/7/10	23/11/2017	30/11/2017	10.51	10.48	10.495	86.508	20.20	20.23	20.215	1.926	1.00	1748.753				9390	108.545		24.476					
		D.BOL/175/7/11	23/11/2017	30/11/2017	10.11	10.10	10.105	80.198	19.92	19.93	19.925	1.972	1.00	1597.941				9639	120.190		44.860					
		D.BOL/175/7/12	23/11/2017	30/11/2017	10.11	10.13	10.120	80.436	20.09	20.12	20.105	1.987	1.00	1617.167				8963	111.430		4.254					
		D.BOL/175/7/13	23/11/2017	30/11/2017	10.12	10.10	10.110	80.277	20.15	20.12	20.135	1.992	1.00	1616.381				9275	120.608		221.539					
		D.BOL/175/7/14	23/11/2017	30/11/2017	10.09	10.13	10.110	79.877	20.17	20.175	20.175	1.996	1.00	1619.592				9387	117.916		19.571					
		D.BOL/175/7/15	23/11/2017	30/11/2017	10.15	10.16	10.155	80.436	20.13	20.120	20.120	1.981	1.00	1629.588				9275	120.146		214.730					
175	28 días	D.BOL/175/28/1	23/11/2017	21/12/2017	10.72	10.75	10.735	90.509	20.39	20.42	20.405	1.901	1.00	1846.846	4248.00	2300.138	2302.699	16663	185.482	170.613	48.620	10.649	12.353	7.24%	2301.681	171.125
		D.BOL/175/28/2	23/11/2017	21/12/2017	10.68	10.71	10.695	89.836	20.45	20.44	20.445	1.912	1.00	1836.701	4277.00	2328.631		14350	176.826		221.083					
		D.BOL/175/28/3	23/11/2017	21/12/2017	10.15	10.18	10.165	81.153	20.15	20.18	20.165	1.984	1.00	1636.451	3794.00	2318.432		14244	173.297		38.606					
		D.BOL/175/28/4	23/11/2017	21/12/2017	10.22	10.24	10.230	82.194	20.10	20.07	20.085	1.963	1.00	1650.870	3797.00	2299.999		15083	168.840		7.203					
		D.BOL/175/28/5	23/11/2017	21/12/2017	10.60	10.73	10.665	89.333	20.51	20.46	20.485	1.921	1.00	1829.985	4208.00	2299.472		15083	168.840		3.143					
		D.BOL/175/28/6	23/11/2017	21/12/2017	10.72	10.68	10.700	89.920	20.48	20.51	20.495	1.915	1.00	1842.915	4344.50	2357.406		16878	187.700		291.951					
		D.BOL/175/28/7	23/11/2017	21/12/2017	10.68	10.72	10.700	89.920	20.53	20.52	20.525	1.918	1.00	1845.613	4251.00	2303.300		15326	170.440		0.030					
		D.BOL/175/28/8	23/11/2017	21/12/2017	10.71	10.73	10.720	90.257	20.57	20.52	20.545	1.917	1.00	1854.324	4285.00	2310.815		15572	172.530		3.675					
		D.BOL/175/28/9	23/11/2017	21/12/2017	10.17	10.15	10.160	81.073	20.15	20.16	20.155	1.984	1.00	1634.030	3747.00	2293.103		13691	168.872		3.031					
		D.BOL/175/28/10	23/11/2017	21/12/2017	10.52	10.56	10.540	87.251	20.12	20.14	20.130	1.910	1.00	1756.365	4013.00	2284.832		13956	159.952		113.658					
		D.BOL/175/28/11	23/11/2017	21/12/2017	10.08	10.05	10.065	79.564	20.00	20.00	20.000	1.987	1.00	1591.283	3646.00	2291.233		13710	172.314		2.892					
		D.BOL/175/28/12	23/11/2017	21/12/2017	10.18	10.17	10.175	81.313	20.25	20.24	20.245	1.990	1.00	1646.177	3737.50	2270.412		12638	155.425		230.693					
		D.BOL/175/28/13	23/11/2017	21/12/2017	10.12	10.18	10.150	80.914	20.40	20.41	20.405	2.010	1.00	1651.044	3740.50	2265.537		11993	148.220		501.466					
		D.BOL/175/28/14	23/11/2017	21/12/2017	10.15	10.17	10.160	81.073	20.40	20.40	20.400	2.008	1.00	1653.893	3818.00	2308.492		14656	180.775		103.262					
D.BOL/175/28/15	23/11/2017	21/12/2017	10.42	10.47	10.445	85.685	20.40	20.42	20.410	1.954	1.00	1748.839	4037.50	2308.675	14985	174.884	18.240									
210	7 días	D.BOL/210/7/1	27/11/2017	04/12/2017	10.53	10.58	10.555	87.500	20.38	20.40	20.390	1.932	1.00	1784.118				13523	154.549	158.597	16.389	8.122	9.422	5.94%	-	158.648
		D.BOL/210/7/2	27/11/2017	04/12/2017	10.62	10.65	10.635	88.831	20.40	20.42	20.410	1.919	1.00	1813.042				12705	143.024		242.524					
		D.BOL/210/7/3	27/11/2017	04/12/2017	10.40	10.38	10.390	84.785	20.20	20.18	20.190	1.943	1.00	1711.817				13565	159.992		1.945					
		D.BOL/210/7/4	27/11/2017	04/12/2017	10.50	10.53	10.515	86.838	20.38	20.39	20.385	1.939	1.00	1770.144				12891	148.449		102.985					
		D.BOL/210/7/5	27/11/2017	04/12/2017	10.48	10.56	10.520	86.920	20.38	20.38	20.380	1.937	1.00	1771.436				13476	155.039		12.666					
		D.BOL/210/7/6	27/11/2017	04/12/2017	10.51	10.57	10.540	87.251	20.40	20.38	20.390	1.935	1.00	1779.051				14965	171.516		166.898					
		D.BOL/210/7/7	27/11/2017	04/12/2017	10.60	10.63	10.615	88.497	20.42	20.45	20.435	1.925	1.00	1808.442				13592	153.587		25.108					
		D.BOL/210/7/8	27/11/2017	04/12/2017	10.62	10.67	10.645	88.998	20.42	20.47	20.445	1.921	1.00	1819.568				14596	164.003		29.223					
		D.BOL/210/7/9	27/11/2017	04/12/2017	10.47	10.51	10.490	86.425	20.40	20.44	20.420	1.947	1.00	1764.804				13234	153.126		29.932					
		D.BOL/210/7/10	27/11/2017	04/12/2017	10.53	10.51	10.520	86.920	20.46	20.45	20.455	1.944	1.00	1777.955				14245	163.886		27.965					
		D.BOL/210/7/11	27/11/2017	04/12/2017	10.52	10.50	10.510	86.755	20.37	20.40	20.385	1.940	1.00	1768.504				13212	152.291		39.776					
		D.BOL/210/7/12	27/11/2017	04/12/2017	10.75	10.71	10.730	90.425	20.50	20.47	20.485	1.909	1.00	1852.360				15449	170.848		150.086					
		D.BOL/210/7/13	27/11/2017	04/12/2017	10.82	10.85	10.835	92.204	20.50	20.48	20.490	1.891	1.00	1889.251				14704	159.473		0.767					
		D.BOL/210/7/14	27/11/2017	04/12/2017	10.22	10.23	10.225	82.114	20.20	20.20	20.200	1.976	1.00	1658.700				13651	166.245		58.481					
		D.BOL/210/7/15	27/11/2017	04/12/2017	10.64	10.67	10.655	89.165	20.24	20.21	20.225	1.898	1.00	1803.372				14528	162.933		18.797					
210	28 días	D.BOL/210/28/1	27/11/2017	26/12/2017	10.73	10.70	10.715	90.173	20.51	20.54	20.525	1.916	1.00	1850.791	4216.50	2278.215	2296.896	19512	216.385	229.816	180.383	12.625	14.645	6.37%	2296.934	229.127
		D.BOL/210/28/2	27/11/2017	26/12/2017	10.74	10.71	10.725	90.341	20.50	20.52	20.510	1.912	1.00	1852.892	4205.00	2269.425		18276	202.300		757.104					
		D.BOL/210/28/3	27/11/2017	26/1																						

MÉTODO FAURY

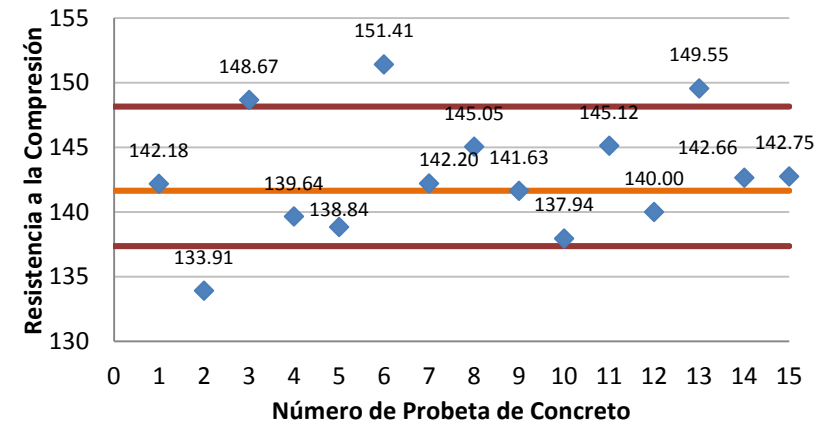
F'C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio (cm)	Area (cm2)	Longitud 1	Longitud 2	Longitud Promedio (cm)	L/D	Factor de Correcion	Volumen (cm3)	Peso de Probeta (g)	Peso Unitario (kg/m3)	Peso Unitario Promedio(kg/m3)	Fuerza maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2)	Xi- Xprom	Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefic. de Variación "v"	Peso Unitario Corregido (kg/m3)	Resistencia a la compresión promedio corregida (kg/cm2)
175	7 días	D.FAU/175/7/1	28/11/2017	05/12/2017	10.61	10.65	10.630	88.748	20.39	20.42	20.405	1.920	1.00	1810.894				11977	134.956	136.048	1.194	5.073	5.885	4.33%	-	136.046
		D.FAU/175/7/2	28/11/2017	05/12/2017	10.74	10.76	10.750	90.763	20.31	20.36	20.335	1.892	1.00	1845.657				12492	137.634							
		D.FAU/175/7/3	28/11/2017	05/12/2017	10.60	10.68	10.640	88.915	20.40	20.40	20.400	1.917	1.00	1813.858				12488	140.449							
		D.FAU/175/7/4	28/11/2017	05/12/2017	10.19	10.24	10.215	81.953	20.39	20.38	20.385	1.996	1.00	1670.619				10193	124.376							
		D.FAU/175/7/5	28/11/2017	05/12/2017	10.59	10.65	10.620	88.581	20.40	20.42	20.410	1.922	1.00	1807.931				11797	133.178							
		D.FAU/175/7/6	28/11/2017	05/12/2017	10.71	10.76	10.735	90.509	20.40	20.41	20.405	1.901	1.00	1846.846				12436	137.400							
		D.FAU/175/7/7	28/11/2017	05/12/2017	10.70	10.69	10.695	89.836	20.42	20.44	20.430	1.910	1.00	1835.354				12016	133.755							
		D.FAU/175/7/8	28/11/2017	05/12/2017	10.56	10.50	10.530	87.086	20.31	20.35	20.330	1.931	1.00	1770.451				11942	137.129							
		D.FAU/175/7/9	28/11/2017	05/12/2017	10.54	10.52	10.530	87.086	20.40	20.41	20.405	1.938	1.00	1776.983				12142	139.426							
		D.FAU/175/7/10	28/11/2017	05/12/2017	10.64	10.58	10.610	88.414	20.27	20.29	20.280	1.911	1.00	1793.034				11954	135.205							
		D.FAU/175/7/11	28/11/2017	05/12/2017	10.44	10.42	10.430	85.439	20.52	20.54	20.530	1.968	1.00	1754.072				11326	132.562							
		D.FAU/175/7/12	28/11/2017	05/12/2017	10.81	10.79	10.800	91.609	20.48	20.49	20.485	1.897	1.00	1876.607				13536	147.759							
		D.FAU/175/7/13	28/11/2017	05/12/2017	10.68	10.70	10.690	89.752	20.48	20.47	20.475	1.915	1.00	1837.677				12542	135.151							
		D.FAU/175/7/14	28/11/2017	05/12/2017	10.72	10.73	10.725	89.836	20.46	20.46	20.460	1.908	1.00	1848.375				12542	139.206							
		D.FAU/175/7/15	28/11/2017	05/12/2017	10.63	10.62	10.625	88.581	20.42	20.450	1.925	1.00	1813.181				11983	135.151								
175	28 días	D.FAU/175/28/1	28/11/2017	26/12/2017	10.72	10.74	10.730	90.425	20.35	20.32	20.335	1.895	1.00	1838.796	3938.00	2141.619	2071.911	18496	206.852	202.900	144.436	5.898	6.842	3.37%	2072.188	202.969
		D.FAU/175/28/2	28/11/2017	26/12/2017	10.67	10.67	10.670	89.417	20.42	20.43	20.425	1.914	1.00	1826.336	3818.50	2090.798		18496	206.852							
		D.FAU/175/28/3	28/11/2017	26/12/2017	10.71	10.65	10.680	89.584	20.31	20.35	20.330	1.904	1.00	1821.251	3874.00	2127.110		18633	207.994							
		D.FAU/175/28/4	28/11/2017	26/12/2017	10.68	10.67	10.675	89.501	20.42	20.44	20.430	1.914	1.00	1828.496	3781.00	2067.820		17967	200.747							
		D.FAU/175/28/5	28/11/2017	26/12/2017	10.68	10.70	10.690	89.752	20.27	20.29	20.280	1.897	1.00	1820.175	3791.00	2082.766		18576	206.970							
		D.FAU/175/28/6	28/11/2017	26/12/2017	10.77	10.81	10.790	91.439	20.52	20.54	20.530	1.903	1.00	1877.248	3873.00	2063.126		18408	201.314							
		D.FAU/175/28/7	28/11/2017	26/12/2017	10.72	10.74	10.730	90.425	20.48	20.49	20.485	1.909	1.00	1852.360	3842.00	2074.111		18228	201.581							
		D.FAU/175/28/8	28/11/2017	26/12/2017	10.64	10.68	10.660	89.249	20.41	20.42	20.415	1.915	1.00	1822.022	3694.00	2027.418		17560	196.752							
		D.FAU/175/28/9	28/11/2017	26/12/2017	10.63	10.62	10.625	88.664	20.37	20.35	20.360	1.916	1.00	1805.201	3743.50	2073.730		17967	202.641							
		D.FAU/175/28/10	28/11/2017	26/12/2017	10.79	10.74	10.765	91.016	20.48	20.47	20.475	1.902	1.00	1863.553	3824.50	2052.262		18259	200.613							
		D.FAU/175/28/11	28/11/2017	26/12/2017	10.81	10.83	10.820	91.948	20.46	20.46	20.460	1.891	1.00	1881.265	3835.00	2038.522		18408	200.199							
		D.FAU/175/28/12	28/11/2017	26/12/2017	10.75	10.73	10.740	90.594	20.47	20.47	20.470	1.906	1.00	1854.455	3775.00	2035.639		18037	199.098							
		D.FAU/175/28/13	28/11/2017	26/12/2017	10.72	10.72	10.720	90.257	20.43	20.42	20.425	1.905	1.00	1843.493	3922.00	2127.483		18892	209.314							
		D.FAU/175/28/14	28/11/2017	26/12/2017	10.79	10.80	10.795	91.524	20.51	20.53	20.520	1.901	1.00	1878.073	3902.00	2077.661		18719	204.526							
		D.FAU/175/28/15	28/11/2017	26/12/2017	10.70	10.71	10.705	90.004	20.40	20.41	20.405	1.906	1.00	1836.538	3670.50	1998.598		17099	189.980							
210	7 días	D.FAU/210/7/1	28/11/2017	05/12/2017	10.42	10.48	10.450	85.767	20.24	20.24	20.240	1.937	1.00	1735.933				16824	196.158	201.027	23.702	5.503	6.383	3.18%	-	200.001
		D.FAU/210/7/2	28/11/2017	05/12/2017	10.52	10.56	10.540	87.251	20.25	20.28	20.265	1.923	1.00	1768.144				17394	199.356							
		D.FAU/210/7/3	28/11/2017	05/12/2017	10.07	10.10	10.085	79.881	20.00	20.03	20.015	1.985	1.00	1598.812				16216	203.003							
		D.FAU/210/7/4	28/11/2017	05/12/2017	10.17	10.20	10.185	81.473	20.00	20.00	20.000	1.964	1.00	1629.453				16787	206.045							
		D.FAU/210/7/5	28/11/2017	05/12/2017	10.10	10.12	10.110	80.277	20.05	20.06	20.055	1.984	1.00	1609.959				16285	202.860							
		D.FAU/210/7/6	28/11/2017	05/12/2017	10.40	10.48	10.440	85.603	20.40	20.42	20.410	1.955	1.00	1747.165				16833	196.639							
		D.FAU/210/7/7	28/11/2017	05/12/2017	10.46	10.50	10.480	86.261	20.41	20.41	20.410	1.948	1.00	1760.579				17075	197.947							
		D.FAU/210/7/8	28/11/2017	05/12/2017	10.58	10.42	10.500	86.590	20.50	20.48	20.490	1.951	1.00	1774.232				17963	207.449							
		D.FAU/210/7/9	28/11/2017	05/12/2017	10.11	10.15	10.130	80.595	20.17	20.18	20.175	1.992	1.00	1626.007				15515	192.505							
		D.FAU/210/7/10	28/11/2017	05/12/2017	10.19	10.25	10.220	82.034	19.98	19.95	19.965	1.954	1.00	1637.800				16444	200.454							
		D.FAU/210/7/11	28/11/2017	05/12/2017	10.03	10.08	10.055	79.406	19.95	19.97	19.960	1.985	1.00	1584.946				15831	199.367							
		D.FAU/210/7/12	28/11/2017	05/12/2017	10.25	10.29	10.270	82.838	20.15	20.16	20.155	1.963	1.00	1669.604				17846	215.432							
		D.FAU/210/7/13	28/11/2017	05/12/2017	10.41	10.37	10.390	84.785	20.20	20.23	20.215	1.946	1.00	1713.936				17015	200.683							
		D.FAU/210/7/14	28/11/2017	05/12/2017	10.53	10.54	10.535	87.168	20.50	20.50	20.500	1.946	1.00	1786.952				17396	199.568							
		D.FAU/210/7/15	28/11/2017	05/12/2017	10.50	10.52	10.510	86.755	20.50	20.51	20.505	1.951	1.00	1778.915				17172	197.936							
210	28 días	D.FAU/210/28/1	28/11/2017	26/12/2017	10.78	10.78	10.780	91.270	20.12	20.08	20.100	1.865	1.00	1834.524	3761.50	2050.395	2135.956	25690	281.473	284.163	141.092	7.608	8.825	3.11%	2132.523	283.276
		D.FAU/210/28/2	28/11/2017	26/12/2017	10.12	10.15	10.135	80.675	20.38	20.40	20.390	2.012	1.00	1644.957	3583.50	2178.476		23883	296.041							
		D.FAU/210/28/3	28/11/2017	26/12/2017	10.83	10.85	10.840	92.289	20.43	20.41	20.420	1.884	1.00	1884.535	3958.00	2100.253		26056	282.331							
		D.FAU/210/28/4	28/11/2017	26/12/2017	10.20	10.22	10.210	81.873	20.38	20.39	20.385	1.997	1.00	1668.984	3617.00	2167.187		23269	284.208							
		D.FAU/210/28/5	28/11/2017	26/12/2017	10.12	10.10	10.110	80.277	20.30	20.31	20.305	2.008	1.00	1630.028	3536.50	2169.594		23112	287.902							
		D.FAU/210/28/6	28/11/2017	26/12/2017	10.21	10.22	10.215	81.953	20.40	20.41	20.405	1.998	1.00	1672.258	3563.00	2130.652		23465	286.321							
		D.FAU/210/28/7	28/11/2017	26/12/2017	10.17	10.19	10.180	81.393	20.40	20.42	20.410	2.005	1.00	1661.225	3620.00	2179.115		23444	288.036							
		D.FAU/210/28/8																								

F'C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio (cm)	Area (cm2)	Longitud 1	Longitud 2	Longitud Promedio (cm)	L/D	Factor de Correcion	Volumen (cm3)	Peso de Probeta (g)	Peso Unitario (kg/m3)	Peso Unitario Promedio(kg/m3)	Fuerza maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2)	Xi-Xprom	Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefic. de Variación "v"	Peso Unitario Corregido (kg/m3)	Resistencia a la compresión promedio corregida (kg/cm2)	
175	7 días	D.ORE/175/7/1	14/12/2017	21/12/2017	10.21	10.15	10.180	81.393	20.45	20.44	20.445	2.008	1.00	1664.074				14049	172.608	177.655	25.478	5.489	6.367	3.58%	-	177.649	
		D.ORE/175/7/2	14/12/2017	21/12/2017	10.15	10.17	10.160	81.073	20.40	20.40	20.400	2.008	1.00	1653.893				14592	179.986								5.430
		D.ORE/175/7/3	14/12/2017	21/12/2017	10.20	10.21	10.205	81.793	20.50	20.49	20.495	2.008	1.00	1676.347				14931	182.546								23.923
		D.ORE/175/7/4	14/12/2017	21/12/2017	10.11	10.13	10.120	80.436	20.35	20.33	20.340	2.010	1.00	1636.070				13484	167.636								100.380
		D.ORE/175/7/5	14/12/2017	21/12/2017	10.21	10.22	10.215	81.953	20.40	20.41	20.405	1.998	1.00	1672.258				14275	174.184								12.046
		D.ORE/175/7/6	14/12/2017	21/12/2017	10.17	10.19	10.180	81.393	20.30	20.32	20.310	1.995	1.00	1653.086				14901	183.075								29.379
		D.ORE/175/7/7	14/12/2017	21/12/2017	10.18	10.22	10.200	81.713	20.36	20.37	20.365	1.997	1.00	1664.082				14996	183.521								34.405
		D.ORE/175/7/8	14/12/2017	21/12/2017	10.79	10.79	10.790	91.439	20.51	20.52	20.515	1.901	1.00	1875.877				16318	178.457								0.643
		D.ORE/175/7/9	14/12/2017	21/12/2017	10.80	10.79	10.795	91.524	20.53	20.55	20.540	1.903	1.00	1879.904				15806	172.698								24.576
		D.ORE/175/7/10	14/12/2017	21/12/2017	10.77	10.78	10.775	91.185	20.58	20.57	20.575	1.910	1.00	1876.136				15783	173.087								20.866
		D.ORE/175/7/11	14/12/2017	21/12/2017	10.18	10.20	10.190	81.553	19.95	19.98	19.965	1.959	1.00	1628.199				14095	172.833								23.253
		D.ORE/175/7/12	14/12/2017	21/12/2017	10.75	10.73	10.740	90.594	20.47	20.47	20.470	1.906	1.00	1854.455				17009	187.750								101.909
		D.ORE/175/7/13	14/12/2017	21/12/2017	10.72	10.72	10.720	90.257	20.43	20.42	20.425	1.905	1.00	1843.493				17009	187.750								18.712
		D.ORE/175/7/14	14/12/2017	21/12/2017	10.79	10.80	10.795	91.524	20.53	20.520	1.901	1.00	1878.073				15909	177.714	0.817								
		D.ORE/175/7/15	14/12/2017	21/12/2017	10.70	10.71	10.705	90.173	20.41	20.405	1.906	1.00	1836.538				15909	177.714	0.003								
175	28 días	D.ORE/175/28/1	14/12/2017	11/01/2018	10.70	10.73	10.715	90.173	20.53	20.55	20.540	1.917	1.00	1852.144	4046.50	2184.766		23183	255.901	252.920	10.456	7.021	8.144	3.22%	2146.867	254.570	
		D.ORE/175/28/2	14/12/2017	11/01/2018	10.72	10.76	10.740	90.594	20.32	20.28	20.300	1.890	1.00	1839.054	3956.00	2151.106		23183	255.901								8.885
		D.ORE/175/28/3	14/12/2017	11/01/2018	10.17	10.15	10.160	81.073	20.07	20.09	20.080	1.976	1.00	1627.950	36												

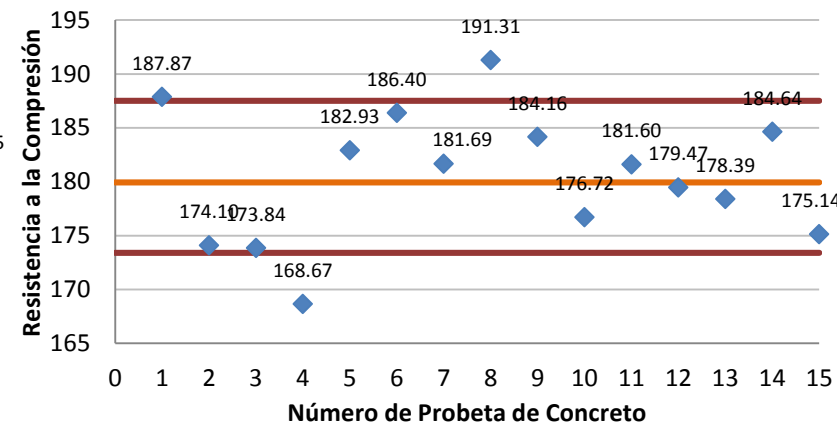
MÉTODO PORRERO Y GRASES

F'C (kg/cm2)	EDAD	CÓDIGO	FECHA DE ENSAYO	FECHA DE ROTURA	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio (cm)	Area (cm2)	Longitud 1	Longitud 2	Longitud Promedio (cm)	L/D	Factor de Correcion	Volumen (cm3)	Peso de Probeta (g)	Peso Unitario (kg/m3)	Peso Unitario Promedio(kg/m3)	Fuerza maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm2)	Xi- Xprom	Desviación Estándar "Ds"	Desviación Estándar Corregido "Dsc"	Coefic. de Variación "v"	Peso Unitario Corregido (kg/m3)	Resistencia a la compresión promedio corregida (kg/cm2)		
175	7 días	D.PG/175/7/1	29/11/2017	06/12/2017	10.18	10.15	10.165	81.153	20.35	20.37	20.360	2.003	1.00	1652.275				13836	170.493	172.780	5.233	5.242	6.081	3.52%	-	172.619		
		D.PG/175/7/2	29/11/2017	06/12/2017	10.36	10.41	10.385	84.704	20.39	20.38	20.385	1.963	1.00	1726.687				14853	175.352									
		D.PG/175/7/3	29/11/2017	06/12/2017	10.19	10.12	10.155	80.993	20.43	20.43	20.430	2.012	1.00	1654.696				14031	173.236									
		D.PG/175/7/4	29/11/2017	06/12/2017	10.01	10.05	10.030	79.012	20.40	20.42	20.410	2.035	1.00	1612.630				13600	172.126									
		D.PG/175/7/5	29/11/2017	06/12/2017	10.20	10.18	10.190	81.553	20.35	20.37	20.360	1.998	1.00	1660.413				15196	186.334									
		D.PG/175/7/6	29/11/2017	06/12/2017	10.16	10.21	10.185	81.473	20.21	20.22	20.215	1.985	1.00	1646.970				13858	170.094									
		D.PG/175/7/7	29/11/2017	06/12/2017	10.23	10.29	10.260	82.677	20.40	20.41	20.405	1.989	1.00	1687.024				14221	172.007									
		D.PG/175/7/8	29/11/2017	06/12/2017	10.03	10.00	10.015	78.776	19.95	19.98	19.965	1.994	1.00	1572.755				13714	174.089									
		D.PG/175/7/9	29/11/2017	06/12/2017	10.41	10.45	10.430	85.439	20.60	20.59	20.595	1.975	1.00	1759.626				13783	161.319									
		D.PG/175/7/10	29/11/2017	06/12/2017	10.24	10.27	10.255	82.596	20.55	20.57	20.560	2.005	1.00	1698.182				14139	171.182									
		D.PG/175/7/11	29/11/2017	06/12/2017	10.24	10.29	10.265	82.758	20.44	20.46	20.450	1.992	1.00	1692.393				14636	176.854									
		D.PG/175/7/12	29/11/2017	06/12/2017	10.19	10.28	10.235	82.275	20.46	20.47	20.465	2.000	1.00	1683.749				13965	169.737									
		D.PG/175/7/13	29/11/2017	06/12/2017	10.01	10.05	10.030	79.012	20.01	20.00	20.005	1.995	1.00	1580.630				13600	172.126									
		D.PG/175/7/14	29/11/2017	06/12/2017	10.10	10.10	10.100	81.153	20.20	20.225	2.002	1.00	1620.396				14804	173.543										
D.PG/175/7/15	29/11/2017	06/12/2017	10.12	10.15	10.135	82.275	20.40	20.385	2.011	1.00	1644.554				14177	175.718												
175	28 días	D.PG/175/28/1	29/11/2017	27/12/2017	10.17	10.16	10.165	81.153	20.21	20.18	20.195	1.987	1.00	1638.885	3530.00	2153.903					6.309							
		D.PG/175/28/2	29/11/2017	27/12/2017	10.12	10.09	10.105	80.198	20.10	20.08	20.090	1.988	1.00	1611.174	3503.00	2174.191					2.209							
		D.PG/175/28/3	29/11/2017	27/12/2017	10.18	10.19	10.185	81.473	20.37	20.35	20.360	1.999	1.00	1658.784	3585.50	2161.524					3.721							
		D.PG/175/28/4	29/11/2017	27/12/2017	10.04	10.10	10.070	79.643	20.18	20.16	20.170	2.003	1.00	1606.404	3515.50	2188.429					17.489							
		D.PG/175/28/5	29/11/2017	27/12/2017	10.05	10.08	10.065	79.564	20.08	20.07	20.075	1.995	1.00	1597.250	3486.50	2182.814					4.168							
		D.PG/175/28/6	29/11/2017	27/12/2017	10.04	10.11	10.075	79.722	20.09	20.10	20.095	1.995	1.00	1602.020	3432.00	2142.295					92.879							
		D.PG/175/28/7	29/11/2017	27/12/2017	10.12	10.11	10.115	80.357	20.20	20.16	20.180	1.995	1.00	1621.597	3546.00	2186.734					188.850							
		D.PG/175/28/8	29/11/2017	27/12/2017	10.14	10.13	10.135	80.675	20.21	20.25	20.230	1.996	1.00	1632.049	3503.00	2146.381					36.688							
		D.PG/175/28/9	29/11/2017	27/12/2017	10.14	10.16	10.150	80.914	20.20	20.24	20.220	1.992	1.00	1636.075	3557.00	2174.106					1.047							
		D.PG/175/28/10	29/11/2017	27/12/2017	10.09	10.08	10.085	79.881	20.12	20.14	20.130	1.996	1.00	1607.998	3456.00	2149.257					14.021							
		D.PG/175/28/11	29/11/2017	27/12/2017	10.05	10.06	10.055	79.406	20.11	20.09	20.100	1.999	1.00	1596.063	3539.50	2217.644					183.330							
		D.PG/175/28/12	29/11/2017	27/12/2017	10.12	10.14	10.130	80.595	20.25	20.28	20.265	2.000	1.00	1633.260	3536.50	2165.301					0.357							
		D.PG/175/28/13	29/11/2017	27/12/2017	10.07	10.11	10.090	79.960	20.22	20.22	20.220	2.004	1.00	1616.789	3455.50	2137.261					126.836							
		D.PG/175/28/14	29/11/2017	27/12/2017	10.12	10.11	10.115	80.357	20.25	20.27	20.260	2.003	1.00	1628.025	3517.50	2160.593					1.138							
D.PG/175/28/15	29/11/2017	27/12/2017	10.17	10.16	10.165	81.153	20.31	20.32	20.315	1.999	1.00	1648.623	3578.00	2170.295					0.625									
210	7 días	D.PG/210/7/1	30/11/2017	07/12/2017	10.65	10.69	10.670	89.417	20.41	20.45	20.430	1.915	1.00	1826.784					21060	235.526	228.739	46.063	6.723	7.798	3.41%	-	228.106	
		D.PG/210/7/2	30/11/2017	07/12/2017	10.32	10.36	10.340	83.971	20.16	20.18	20.170	1.951	1.00	1693.701					18748	223.267								
		D.PG/210/7/3	30/11/2017	07/12/2017	10.05	10.02	10.035	79.091	19.97	19.95	19.960	1.989	1.00	1578.648					18526	234.238								
		D.PG/210/7/4	30/11/2017	07/12/2017	10.15	10.12	10.135	80.675	20.10	20.08	20.090	1.982	1.00	1620.755					18265	226.403								
		D.PG/210/7/5	30/11/2017	07/12/2017	10.60	10.65	10.625	88.664	20.47	20.48	20.475	1.927	1.00	1815.397					21044	237.345								
		D.PG/210/7/6	30/11/2017	07/12/2017	10.62	10.65	10.635	88.831	20.49	20.47	20.480	1.926	1.00	1819.260					20950	235.841								
		D.PG/210/7/7	30/11/2017	07/12/2017	10.67	10.71	10.690	89.752	20.51	20.49	20.500	1.918	1.00	1839.921					19888	221.588								
		D.PG/210/7/8	30/11/2017	07/12/2017	10.70	10.67	10.685	89.668	20.49	20.52	20.505	1.919	1.00	1838.648					20524	228.888								
		D.PG/210/7/9	30/11/2017	07/12/2017	10.70	10.68	10.690	89.752	20.52	20.54	20.530	1.920	1.00	1842.613					20978	233.732								
		D.PG/210/7/10	30/11/2017	07/12/2017	10.72	10.75	10.735	90.509	20.57	20.58	20.575	1.917	1.00	1862.232					20086	221.922								
		D.PG/210/7/11	30/11/2017	07/12/2017	10.50	10.46	10.480	86.261	20.45	20.50	20.475	1.954	1.00	1766.186					19148	221.979								
		D.PG/210/7/12	30/11/2017	07/12/2017	10.20	10.25	10.225	82.114	20.34	20.37	20.355	1.991	1.00	1671.428					17878	217.722								
		D.PG/210/7/13	30/11/2017	07/12/2017	10.52	10.56	10.540	87.251	19.94	19.91	19.925	1.890	1.00	1738.479					19834	227.321								
		D.PG/210/7/14	30/11/2017	07/12/2017	10.15	10.16	10.155	80.993	20.10	20.12	20.110	1.980	1.00	1628.778					19337	238.748								
D.PG/210/7/15	30/11/2017	07/12/2017	10.17	10.15	10.160	81.073	20.08	20.10	20.090	1.977	1.00	1628.761					18369	226.573										
210	28 días	D.PG/210/28/1	30/11/2017	28/12/2017	10.69	10.72	10.705	90.004	20.49	20.48	20.485	1.914	1.00	1843.738	3995.50	2167.065					28352	315.007	309.883	9.274	10.758	3.47%	2153.351	310.817
		D.PG/210/28/2	30/11/2017	28/12/2017	10.11	10.10	10.105	80.198	20.43	20.44	20.435	2.022	1.00	1638.842	3543.00	2161.892					24981	311.492						
		D.PG/210/28/3	30/11/2017	28/12/2017	10.67	10.69	10.680	89.584	20.43	20.43	20.430	1.913	1.00	1830.209	3926.00	2145.110					27600	308.089						
		D.PG/210/28/4	30/11/2017	28/12/2017	10.17	10.18	10.175	81.313	20.40	20.41	20.405	2.005	1.00	1659.187	3694.00	2226.392					26417	324.881						
		D.PG/210/28/5	30/11/2017	28/12/2017	10.69	10.70	10.695	89.836	20.51	20.52	20.515	1.918	1.00	1842.990	3994.00													

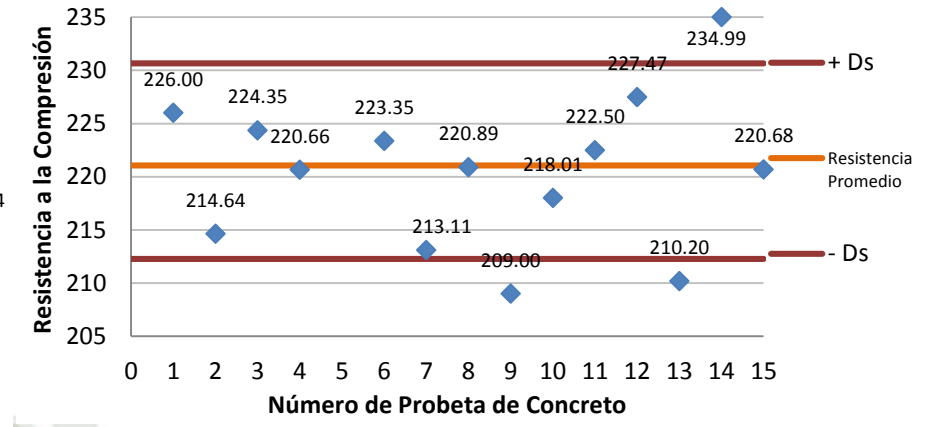
MÉTODO ACI - 175 kg/cm² (7días)



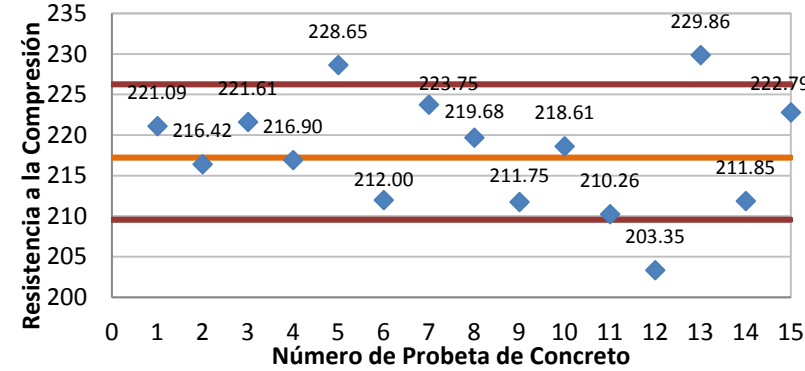
MÉTODO ACI - 210 kg/cm² (7días)



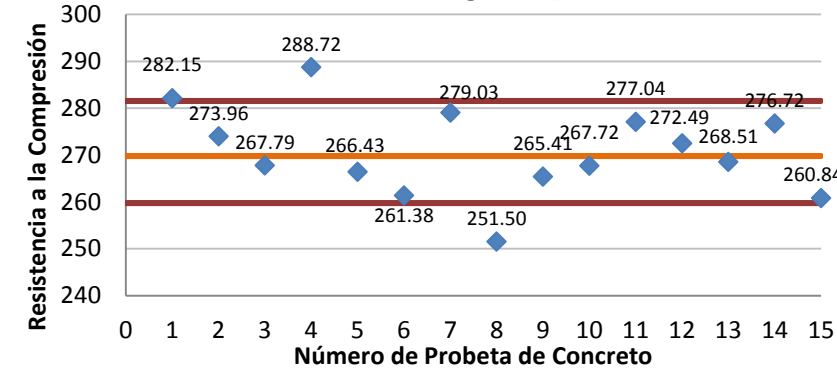
MÉTODO ACI - 280 kg/cm² (7días)



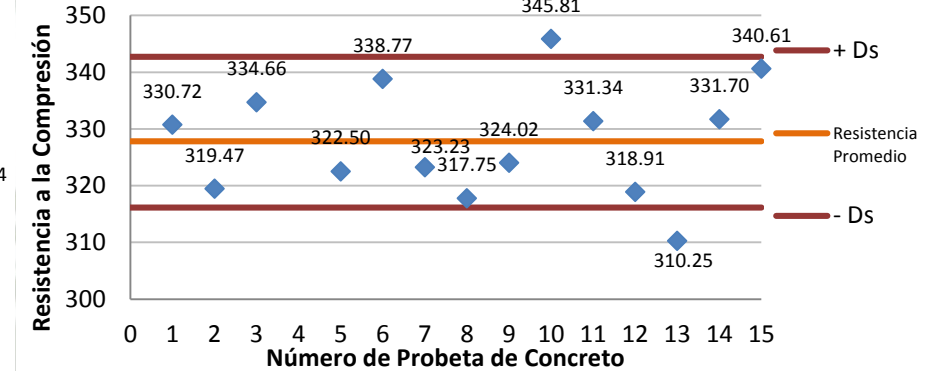
MÉTODO ACI - 175 kg/cm² (28días)



MÉTODO ACI - 210 kg/cm² (28días)

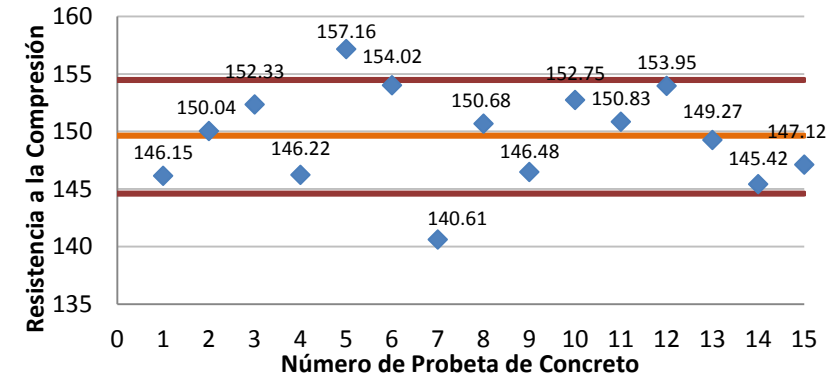


MÉTODO ACI - 280 kg/cm² (28días)

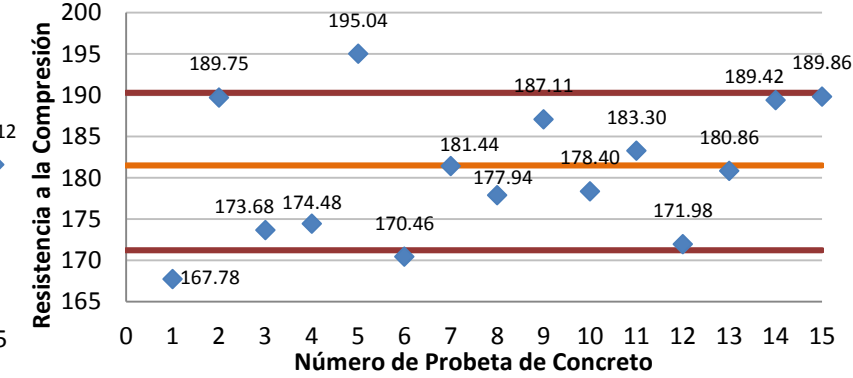


MÉTODO DE WALKER

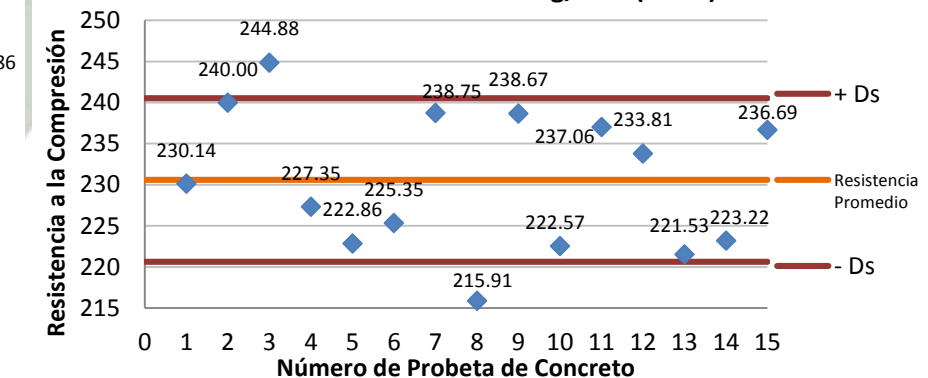
MÉTODO WALKER - 175 kg/cm² (7días)



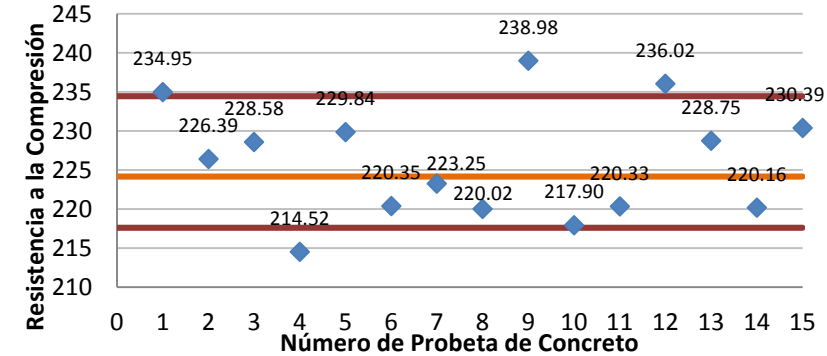
MÉTODO WALKER - 210 kg/cm² (7días)



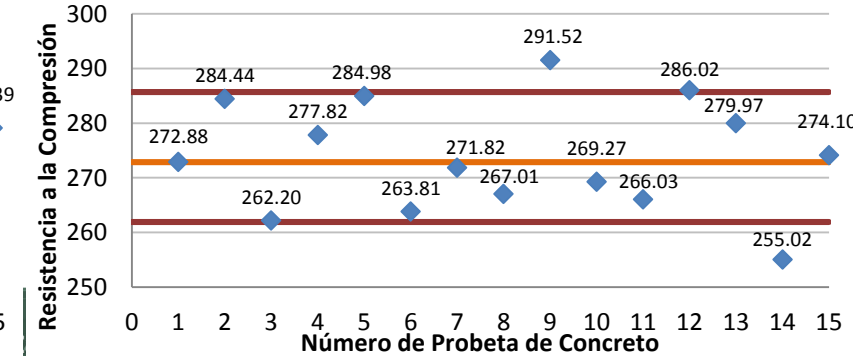
MÉTODO WALKER - 280 kg/cm² (7días)



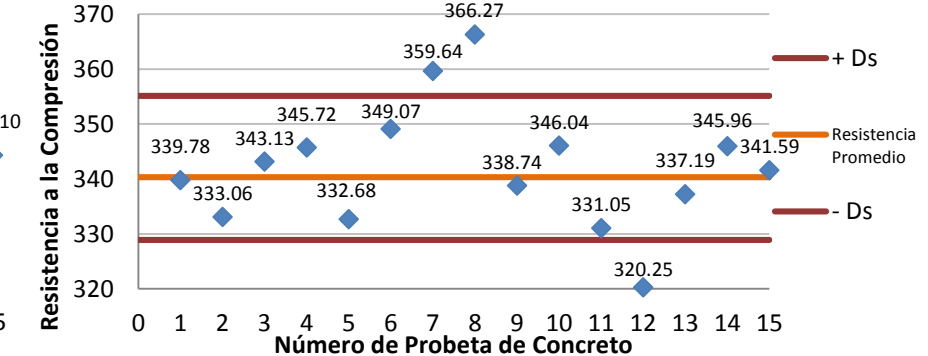
MÉTODO WALKER - 175 kg/cm² (28días)

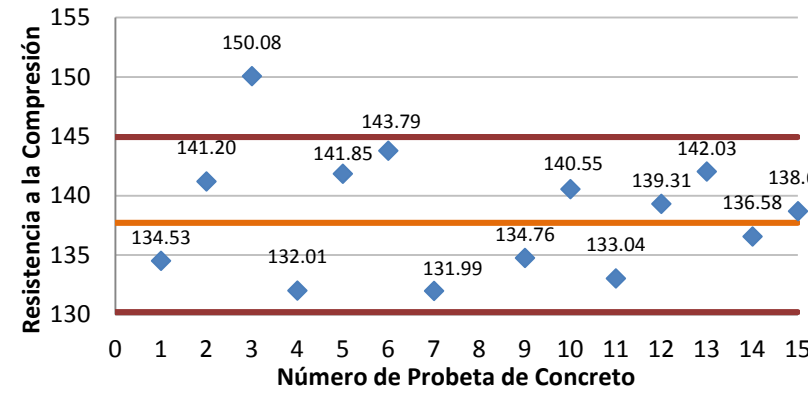
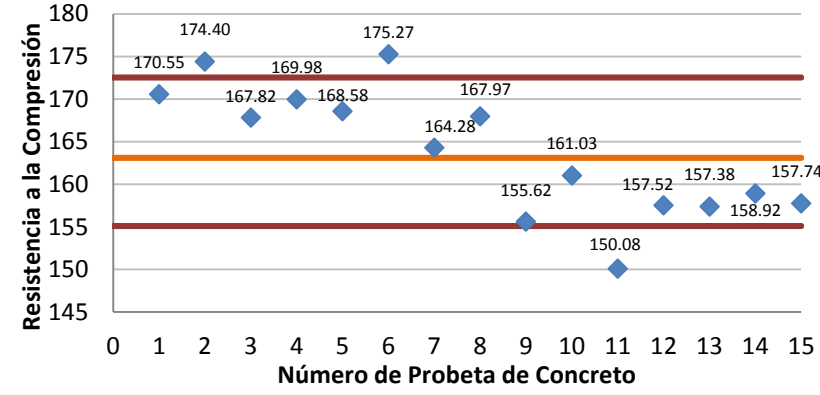
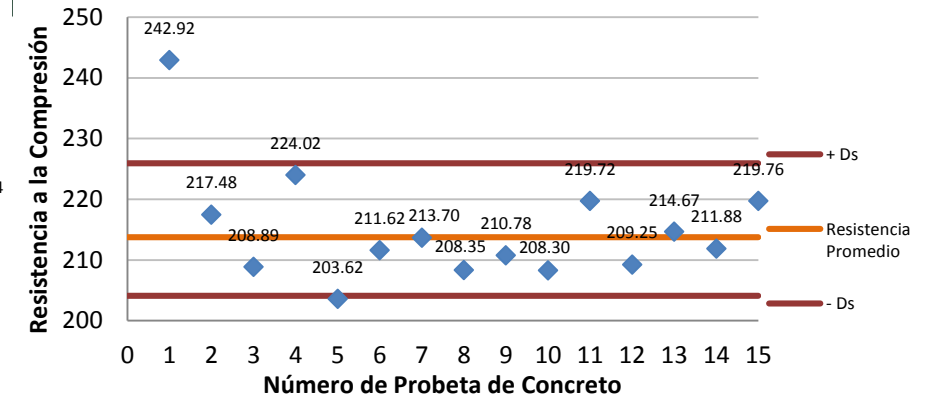
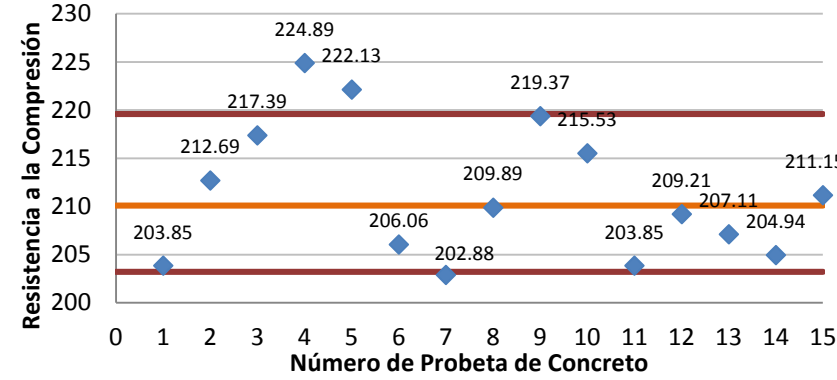
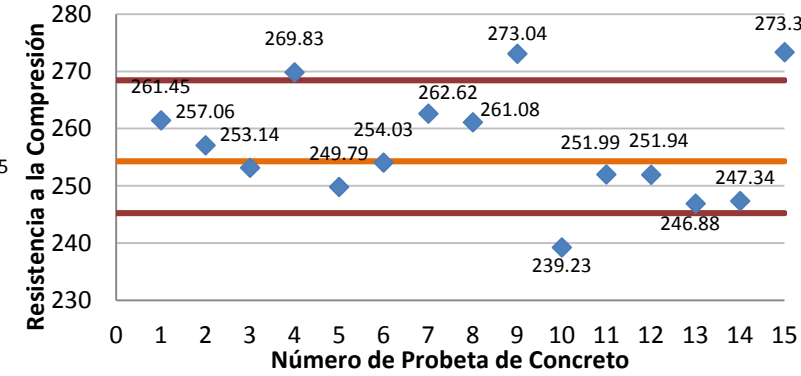
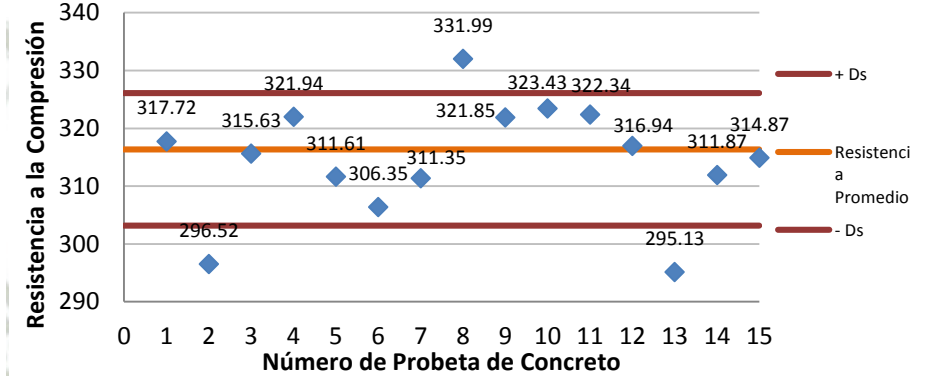


MÉTODO WALKER - 210 kg/cm² (28días)

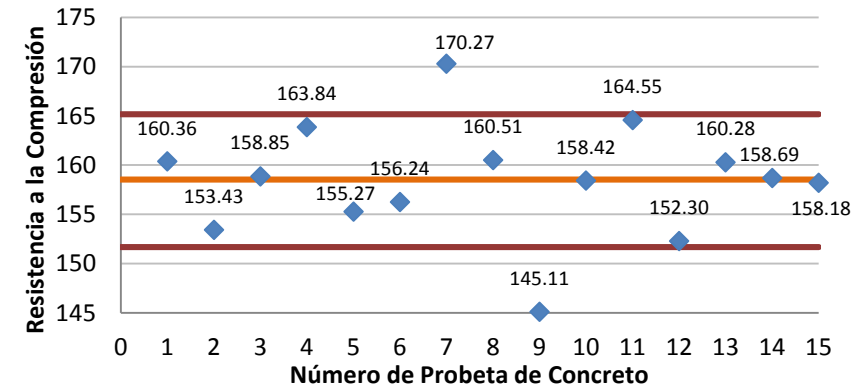
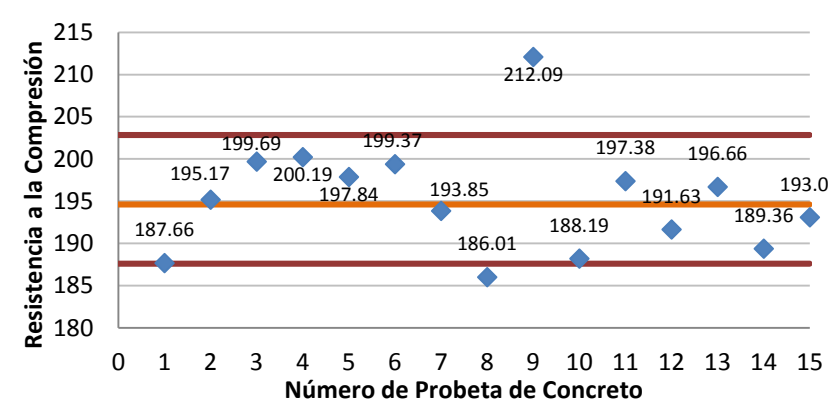
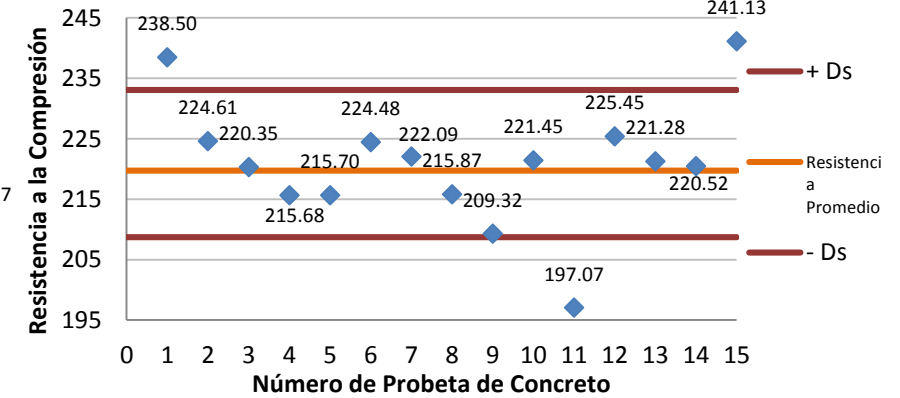
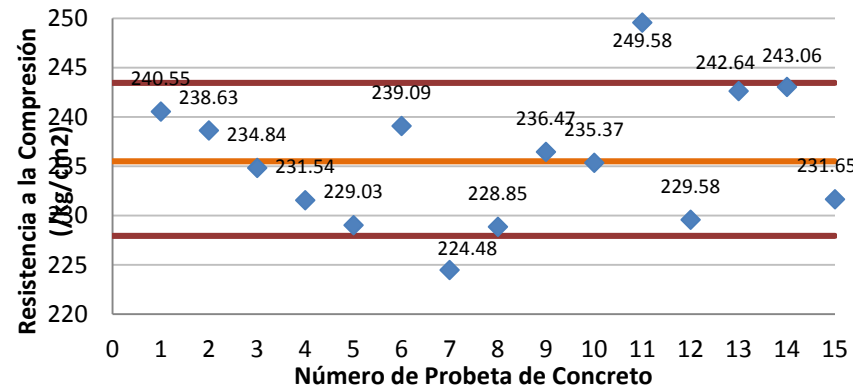
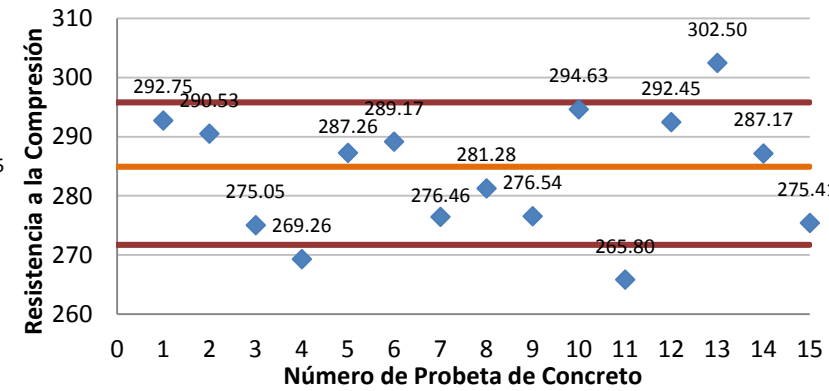
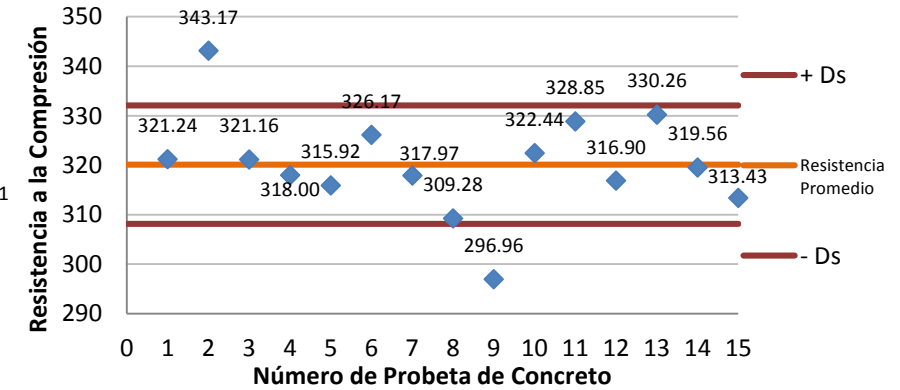


MÉTODO WALKER - 280 kg/cm² (28días)

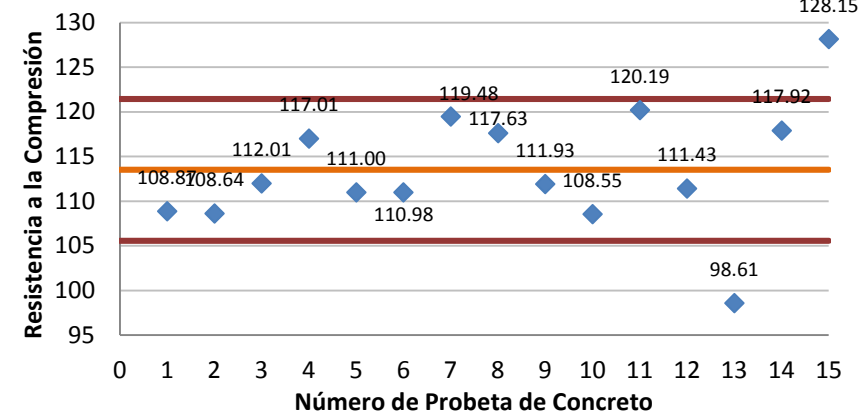


MÉTODO MÓDULO DE FINEZA - 175 kg/cm² (7días)

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA - 210 kg/cm² (7días)

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA - 280 kg/cm² (7días)

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA - 175 kg/cm² (28días)

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA - 210 kg/cm² (28días)

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA - 280 kg/cm² (28días)


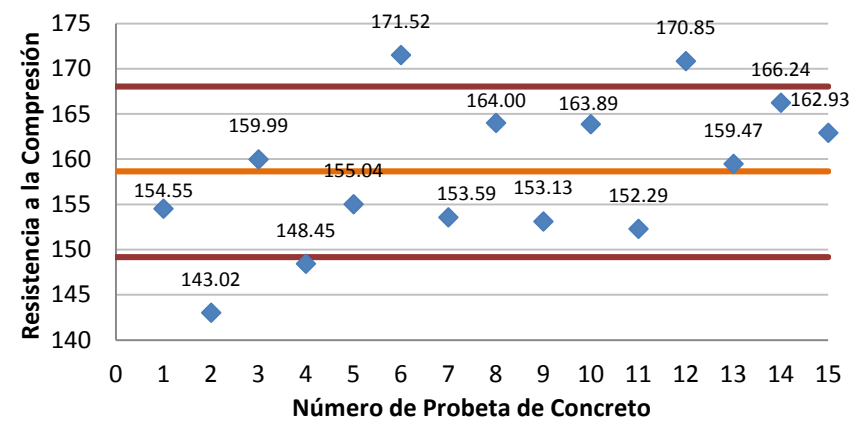
MÉTODO DE FULLER

MÉTODO FÜLLER - 175 kg/cm² (7días)

MÉTODO FÜLLER - 210 kg/cm² (7días)

MÉTODO FÜLLER - 280 kg/cm² (7días)

MÉTODO FÜLLER - 175 kg/cm² (28días)

MÉTODO FÜLLER - 210 kg/cm² (28días)

MÉTODO FÜLLER - 280 kg/cm² (28días)


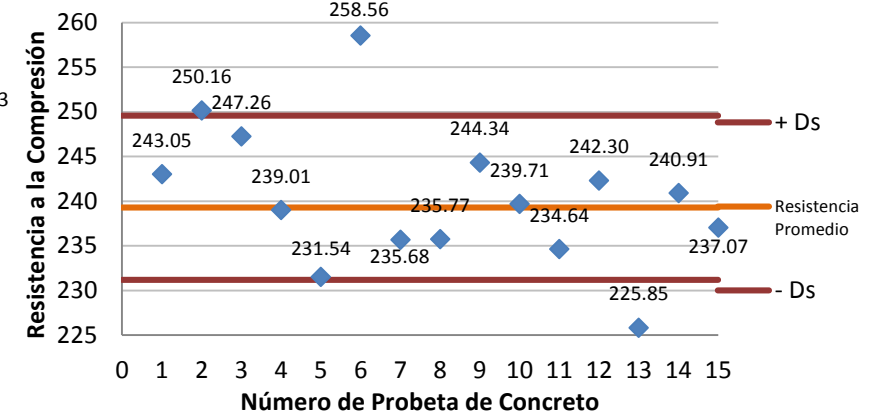
MÉTODO BOLOMEY - 175 kg/cm² (7días)



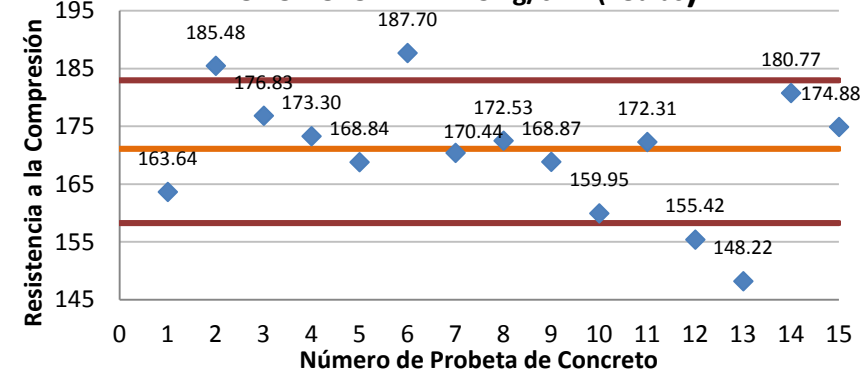
MÉTODO BOLOMEY - 210 kg/cm² (7días)



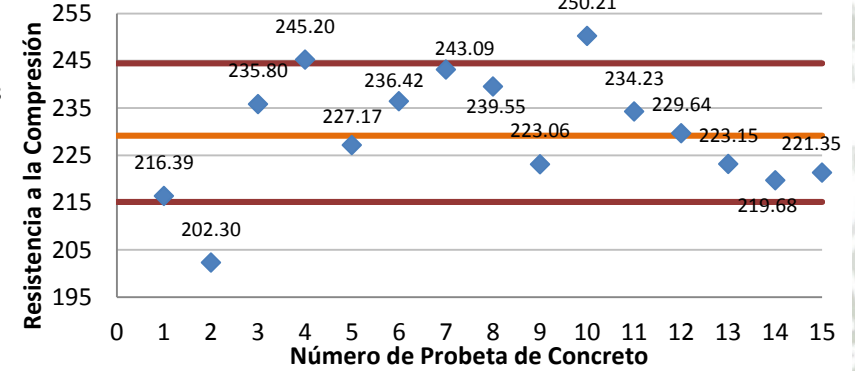
MÉTODO BOLOMEY - 280 kg/cm² (7días)



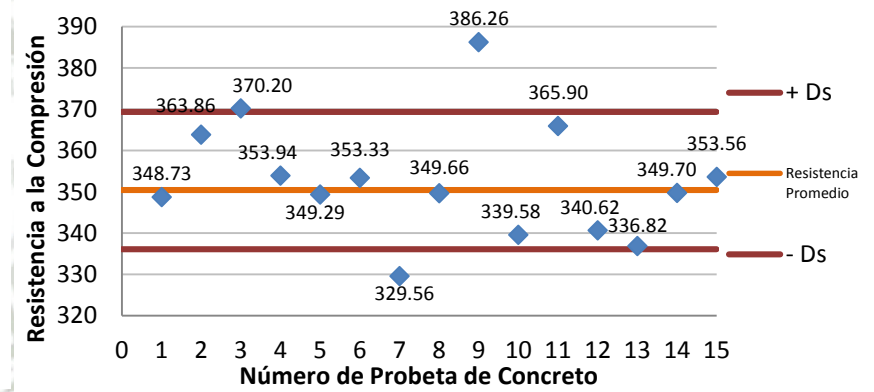
MÉTODO BOLOMEY - 175 kg/cm² (28días)



MÉTODO BOLOMEY - 210 kg/cm² (28días)

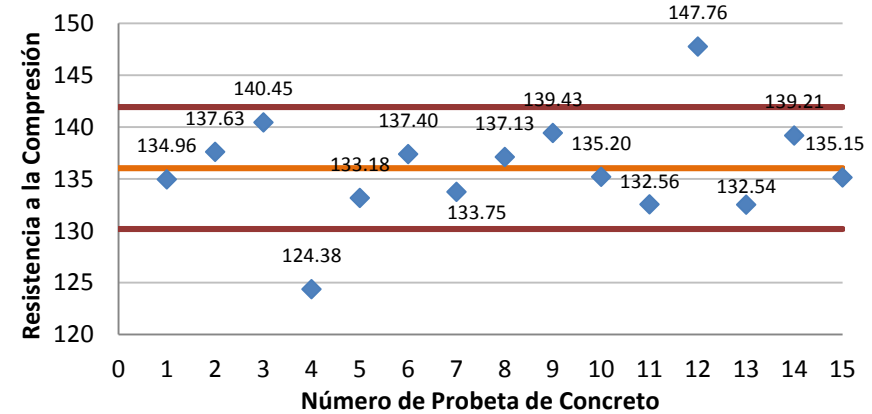


MÉTODO BOLOMEY - 280 kg/cm² (28días)

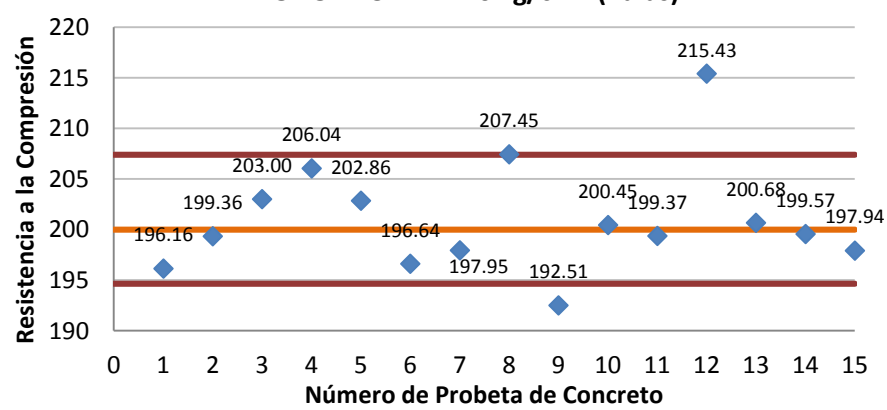


MÉTODO DE FAURY

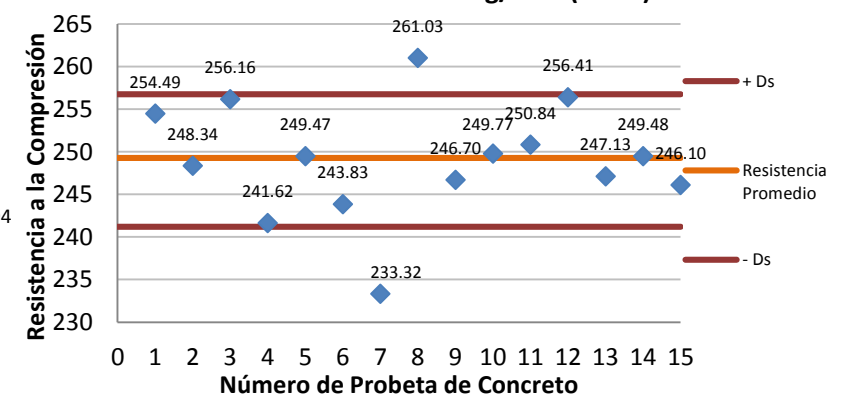
MÉTODO FAURY - 175 kg/cm² (7días)



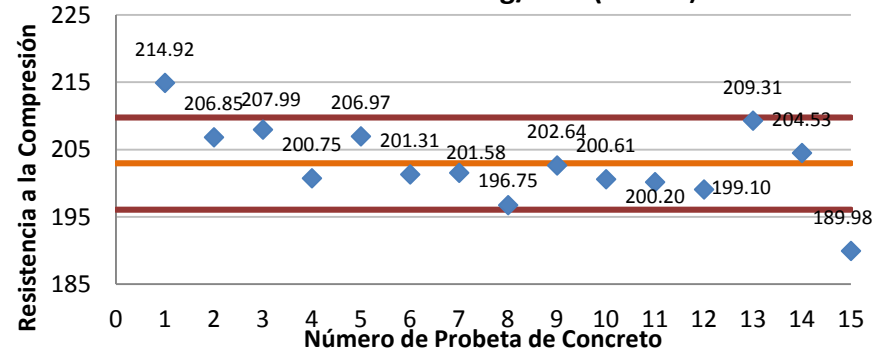
MÉTODO FAURY - 210 kg/cm² (7días)



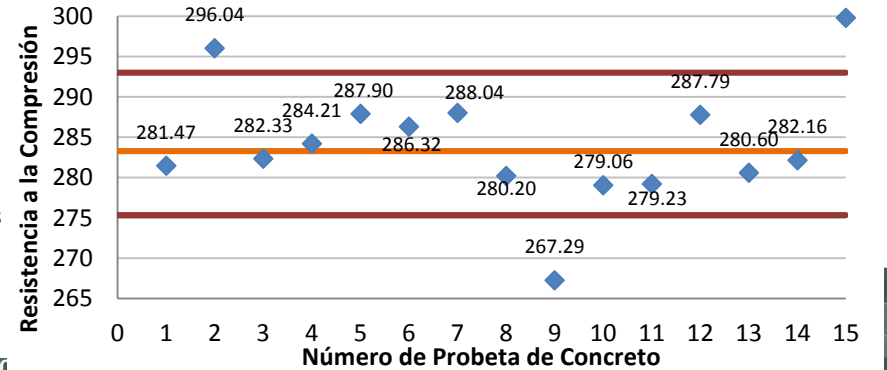
MÉTODO FAURY - 280 kg/cm² (7días)



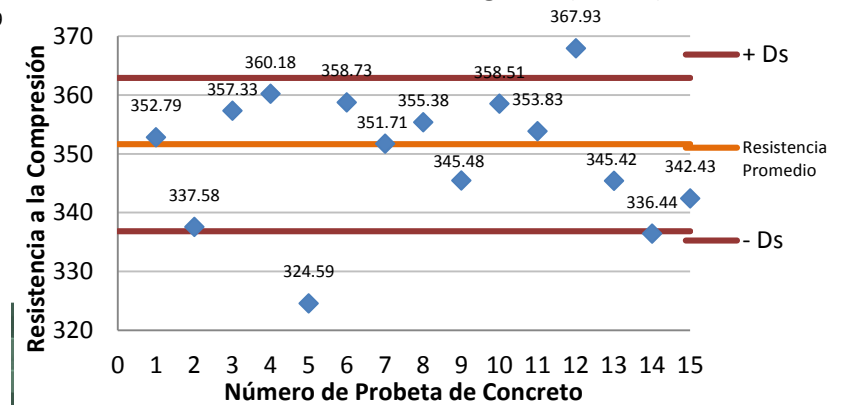
MÉTODO FAURY - 175 kg/cm² (28días)

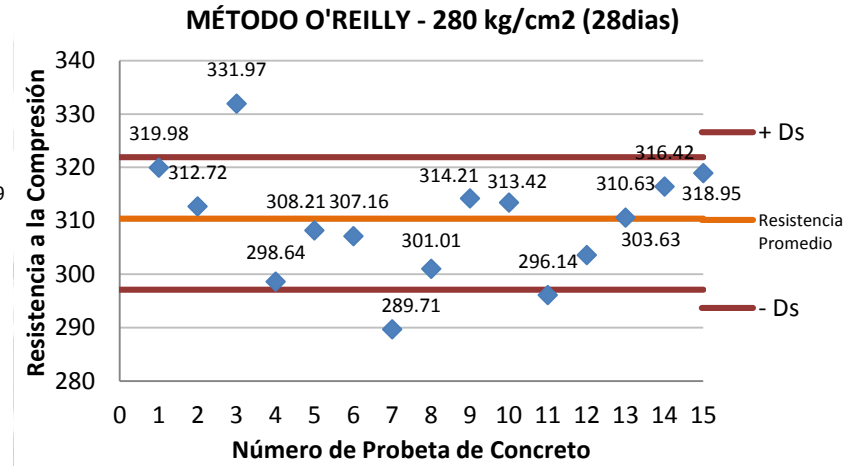
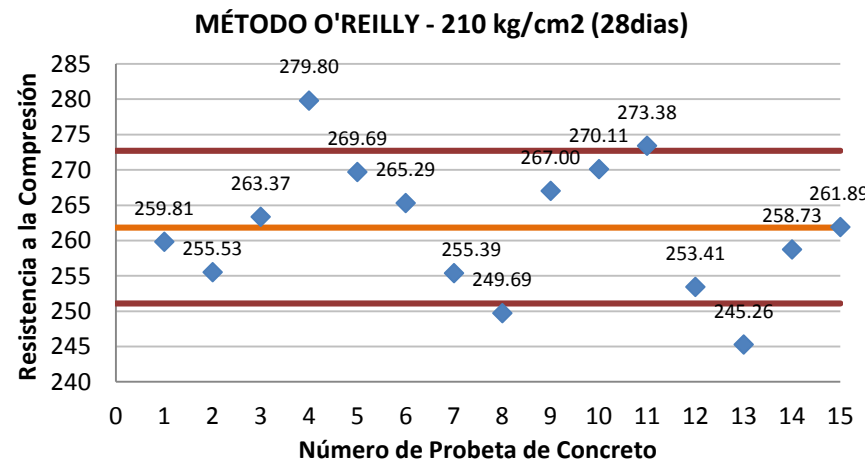
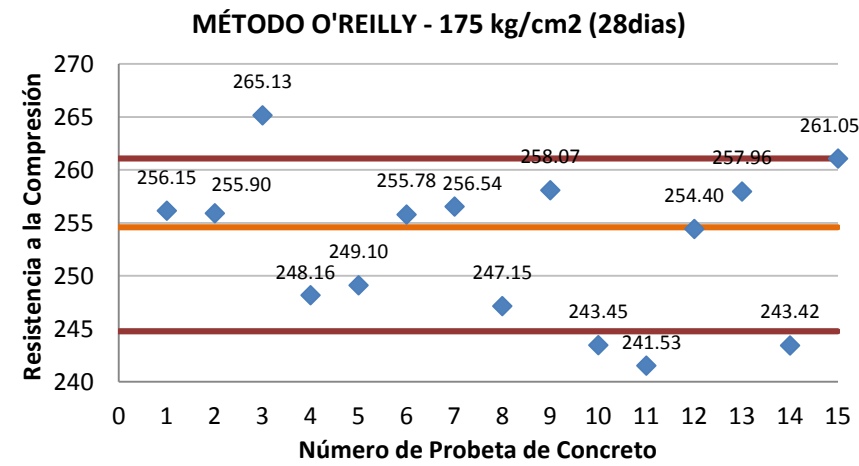
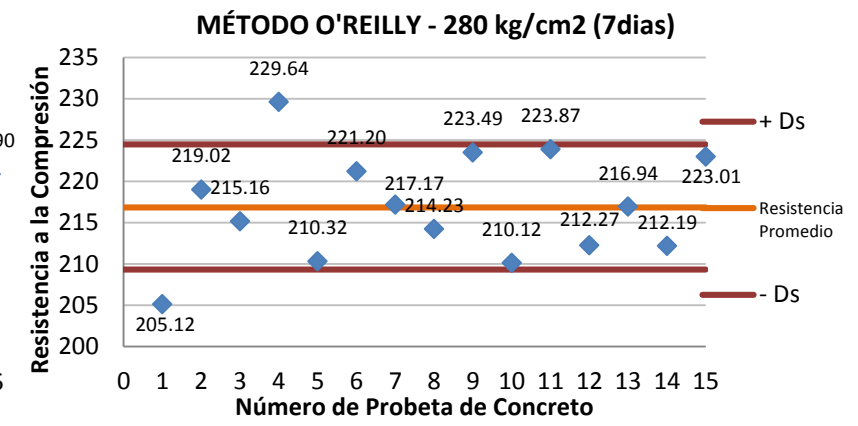
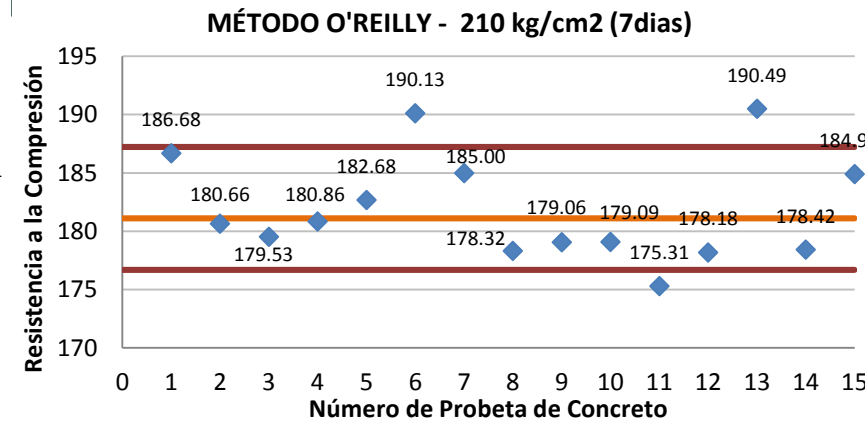
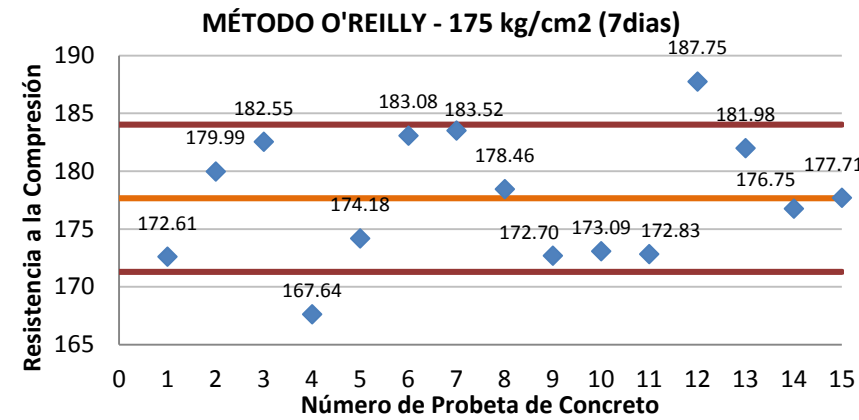


MÉTODO FAURY - 210 kg/cm² (28días)



MÉTODO FAURY - 280 kg/cm² (28días)





METODO DE PORRERO & GRASES

