

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“USO DE RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE BLOQUES DE
SILLAR DE LA CANTERA DE AÑASHUAYCO EN EL DISEÑO DE
CONCRETO DE RESISTENCIAS CONVENCIONALES Y SU
ANALISIS DE DURABILIDAD ANTE LA ACCION QUIMICA, EN LA
CIUDAD DE AREQUIPA”**

Tesis presentada por el bachiller:

Quito Coila, Juan Diego.

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Ugarte Calderón, Enrique Alfonso.

Arequipa – Perú

2019

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

DICTAMEN DE BORRADOR

TESIS (X)
TRABAJO SUFICIENCIA PROFESIONAL ()

VISTO

El BORRADOR DE TESIS/TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Titulado:

"Uso de Residuos de la Producción de Bloques de Sillar de la Cantera de Anashuayco en el Diseño de Concreto de Resistencias Convencionales y su Análisis de Durabilidad ante la Acción Química, en la Ciudad de Arequipa"

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

JUAN DIEGO QUIRO COILA

Nuestro DICTAMEN es:

APROBADO

OBSERVACIONES:


COP 1945


COP 2778


COP 1938

DEDICATORIA

A mis padres Víctor e Hilda, que son mi fuente de inspiración, motivo de mi esfuerzo día a día y guías de mis pasos en cada etapa de mi vida.

A Sheyla Azurin, mi compañera, novia y colega, por hacer de este proyecto también suyo y brindarme todo su apoyo a lo largo de su realización.

A mi familia por estar siempre pendiente de mis logros y motivarme a seguir adelante.

A todos mis amigos y amigas que estuvieron pendientes de este proyecto hasta su presentación.



AGRADECIMIENTO

Agradecer a mis padres por su apoyo incondicional durante toda mi vida, que me permitieron soñar con este objetivo y darme las herramientas necesarias para poder lograrlo, fruto del esfuerzo diario de su trabajo y del amor infinito a un hijo.

Agradecer a Sheyla Azurin, que la vida me hizo conocer a una persona que me brindó su apoyo, consejo y cariño, en todos los momentos buenos y malos a lo largo de la realización de este proyecto, que sin su ayuda el esfuerzo hubiera sido el doble.

Agradecer a mi familia que me alientan a cumplir con todas las metas que me proponga y plantearme nuevos objetivos.

Agradecer a la Universidad Católica De Santa María que en sus aulas di mis primeros pasos de la formación de mi vida profesional y al laboratorio de suelos y concreto, por permitirme realizar los ensayos necesarios de este proyecto.

A todos los docentes por compartir todo su conocimiento y brindarme las herramientas necesarias para formarme como ingeniero civil, de manera profesional y moral.

A todos mis amigos y compañeros con quienes compartí aulas, por su afecto y apoyo a lo largo de toda nuestra formación profesional.

RESUMEN

En la presente investigación se planteó el uso de residuos de roca ignimbrita proveniente de la cantera de Añashuayco en la ciudad de Arequipa. Desde hace mucho tiempo en esta cantera se explota esta roca volcánica por labradores tallando bloques de “sillar”, los cuales son un material representativo en esta ciudad.

Durante todo este tiempo se ha estado acumulando estos residuos de roca sin darle ningún valor agregado, ni poder desecharlos de la cantera. Es por ese motivo que se plantea el uso de esta roca volcánica como agregado grueso para el diseño de concreto, además que se nace la posibilidad de reducir la explotación de los recursos naturales en canteras dedicadas a la extracción de este agregado y reemplazarlo por este.

Por su propiedad física la roca ignimbrita es un material ligero, además de un alto contenido de absorción, pero con la presencia de diferentes tamaños de partículas que nos permiten realizar el diseño de concreto por el método de ACI 211.1 y el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, diseñando el concreto para que pueda soportar ataques de sulfato de sodio y magnesio.

El concreto diseñado por ambos métodos se realizó los respectivos ensayos para conocer sus propiedades en estado fresco, como su peso unitario, cantidad de aire, asentamiento y su temperatura. Conociendo con claridad cómo afecta el uso de roca ignimbrita en estas propiedades.

De la misma manera se realizó los ensayos en estado endurecido del concreto para conocer sus propiedades de resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días, porosidad, capilaridad, peso específico, permeabilidad y resistencia a la exposición de sulfatos.

Permitiéndonos conocer que por sus propiedades del agregado si es posible la resistencia a los sulfatos sin tener necesariamente una alta resistencia a la compresión, además de conocer la resistencia máxima del agregado, las aplicaciones en las que se puede utilizar este concreto diseñado y la reducción de precio respecto a un concreto tradicional.

Finalmente se plantean posibilidades de seguir investigando esta roca, con la posibilidad de conseguir concreto con mejores características y se pueda emplear de manera estructural.

PALABRAS CLAVE: Ignimbrita, agregado ligero, durabilidad, sulfatos, sillar, Añashuayco, Arequipa, ACI 211.1, combinación de agregados.



ABSTRACT

In the present investigation the use of ignimbrite rock residues from the Añashuayco quarry in the city of Arequipa was considered. For a long time, this volcanic rock has been exploited in this quarry by farmers carving blocks of “sillar”, which are a representative material in this city.

During all this time this rock waste has been accumulating without giving it any added value, nor being able to dispose of it from the quarry. It is for this reason that the use of this volcanic rock is considered as a coarse aggregate for the design of concrete, in addition to the possibility of reducing the exploitation of natural resources in quarries dedicated to the extraction of this aggregate and replaces it with it.

Because of its physical property, the ignimbrite rock is a light material, in addition to a high absorption content, but with the presence of different particle sizes that allow us to perform the concrete design by the method of ACI 211.1 and the fineness module method of the combination of aggregates, designing the concrete so that it can withstand attacks of sodium and magnesium sulfate.

The concrete designed by both methods was carried out the respective tests to know its properties in the fresh state, such as its unit weight, amount of air, settlement and its temperature. Knowing clearly how it affects the use of ignimbrite rock in these properties.

In the same way the tests were carried out in the hardened state of the concrete to know its properties of compressive strength at 7, 14 and 28 days, porosity, capillarity, specific weight, permeability and resistance to sulfate exposure.

Allowing us to know that due to its properties of the aggregate if sulfate resistance is possible without necessarily having a high compressive strength, in addition to knowing the maximum resistance of the aggregate, the applications in which this designed concrete can be used and the reduction of Price compared to traditional concrete.

Finally, there are possibilities to continue investigating this rock, with the possibility of achieving concrete with better characteristics and can be used in a structural way.

KEY WORDS: Ignimbrite, light aggregate, durability, sulfates, sillar, Añashuayco, Arequipa, ACI 211.1, combination of aggregates.



INTRODUCCION

La ciudad de Arequipa rodeada por sus imponentes volcanes estos a lo largo del tiempo produjeron erupciones de cuya lava expulsada endurecida por cientos de años permitió la formación de roca ignimbrita, rica en feldespatos y materias vítreas.

En la ciudad de Arequipa desde antes de su fundación española, esta roca viene siendo utilizada para tallar bloques de “sillar”, de las cuales muchas de las edificaciones más representativas de la ciudad están hechas que hasta el día de hoy se mantienen en buenas condiciones. Actualmente se tiene la demanda de bloques de “sillar” que se utilizan en la construcción de viviendas.

En el proceso de abatimiento, extracción y tallados de bloques de sillar, se produce una gran cantidad de residuos de esta roca volcánica, los cuales se encuentran almacenados sin que los labradores tengan alguna opción para ser utilizada.

Estudios previos sobre las propiedades físicas y químicas de esta roca volcánica nos permiten pensar en la posibilidad de diseñar concreto utilizando estos residuos de roca ignimbrita como agregado grueso. Desarrollando varios diseños que nos permitan obtener datos para un mejor análisis y su determinar la posibilidad esta roca puede ser utilizado como agregado grueso y si presenta características físicas adecuadas, realizando un adecuado control de calidad para obtener los mejores resultados posibles. Además de realizar su análisis de durabilidad ante la acción de sulfatos presentes en los suelos y que generan deterioro en el concreto.

Según las propiedades físicas que se obtengan de los concretos estos permitirán poder destinar en qué tipo de obras civiles podrían utilizarse teniendo un buen desempeño, además de realizar el análisis económico del concreto diseñado y si representa una ventaja económica frente a un concreto tradicional.

INDICE

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCION	ix
INDICE	x
INDICE DE TABLAS	xv
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xx
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	xxii
CAPITULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1.OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2.OBJETIVO ESPECÍFICO.....	2
1.4. HIPÓTESIS.....	3
1.5. VARIABLES E INDICADORES.....	4
1.6. ALCANCES.....	5
1.7. LIMITACIONES.....	6
1.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	6
CAPITULO II	7
2. MARCO TEORICO Y NORMATIVO.....	7
2.1. EL CONCRETO.....	7
2.2. IMPORTANCIA DEL CONCRETO.....	8
2.3. COMPOSICION DEL CONCRETO.....	9
2.3.1.PASTA.....	9
2.3.2.AGREGADOS.....	12
2.4. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE CONCRETO.....	13
2.4.1.CEMENTO.....	13
2.4.2.AGREGADOS.....	17
2.4.3.AGUA.....	20
2.4.4.AIRE.....	21
2.4.5.ADITIVO.....	21
2.5. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL CONCRETO.....	22
2.5.1.PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	22
2.5.2.PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	24

2.6. PRODUCCIÓN DEL CONCRETO.....	27
2.6.1. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	27
2.6.2. IMPORTANCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE MATERIALES.....	29
2.6.3. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO NORMAL.....	29
2.6.4. MEZCLADO.....	30
2.6.5. CURADO.....	31
2.6.6. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.....	31
2.7. IMPERMEABILIDAD DEL CONCRETO.....	34
2.7.1. IMPORTANCIA DE LA POROSIDAD DEL CONCRETO.....	34
2.7.2. MECANISMOS DE PENETRACIÓN DEL AGUA.....	35
2.8. DURABILIDAD DEL CONCRETO ANTE LA ACCIÓN QUÍMICA.....	37
2.8.1. ATAQUE DE SULFATOS EN EL CONCRETO.....	37
2.8.2. ENSAYO DE SULFATO-DURABILIDAD.....	38
2.9. PATOLOGÍAS EN EL CONCRETO.....	38
CAPITULO III.....	40
3. METODOLOGIAS DE DISEÑO DE MEZCLA.....	40
3.1. INTRODUCCION.....	40
3.2. METODOLOGIAS DE DISEÑO.....	40
3.2.1. DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN EL MÉTODO DE ACI 211.1.....	40
3.2.2. DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN EL MÉTODO DE COMBINACION DE AGREGADOS.....	53
CAPITULO IV.....	61
4. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y DISEÑO DE MEZCLA.....	61
4.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO.....	61
4.1.1. CLASIFICACION DEL AGREGADO GRUESO.....	62
4.1.2. GRANULOMETRÍA.....	63
4.1.3. MÓDULO DE FINURA (MF).....	67
4.1.4. CANTIDAD DE FINOS (%CF).....	68
4.1.5. PESO ESPECÍFICO.....	69
4.1.6. PESO SOLIDO.....	72
4.1.7. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.....	72
4.1.8. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO.....	73
4.1.9. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	75
4.1.10. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.....	77
4.2. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO.....	79
4.2.1. GRANULOMETRÍA.....	79
4.2.2. MÓDULO DE FINURA (MF).....	83

4.2.3. PESO ESPECÍFICO.	84
4.2.4. PORCENTAJE DE ABSORCION.	87
4.2.5. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO.	88
4.2.6. PORCENTAJE DE HUMEDAD.	89
4.2.7. CANTIDAD DE FINOS.	90
4.3. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO.	91
4.4. PROPIEDADES MECANICAS DE ROCA IGNIMBRITA.	92
4.5. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.	93
4.5.1. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ²	95
4.5.2. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ² + ADITIVO..	96
4.5.3. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ²	97
4.5.4. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ² + ADITIVO..	98
4.5.5. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ²	99
4.5.6. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ² + ADITIVO – REDUCCION 10%	100
4.5.7. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ²	101
4.5.8. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ² + ADITIVO – REDUCCION 10%	102
4.5.9. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ²	103
4.5.10. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ² +ADITIVO.	104
4.5.11. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ²	105
4.5.12. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ² +ADITIVO.	106
4.5.13. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ²	107
4.5.14. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ² + ADITIVO – REDUCCION 10%	108
4.5.15. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ²	109
4.5.16. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ² + ADITIVO – REDUCCION 10%	110
CAPITULO V	111
5. RESULTADOS ENSAYOS DE CONCRETO.	111
5.1. RESULTADOS EN ESTADO FRESCO.	111
5.1.1. PESO UNITARIO.	111
5.1.2. CONTENIDO DE AIRE.	113
5.1.3. ASENTAMIENTO.	114
5.1.4. TEMPERATURA.	114
5.2. RESULTADOS EN ESTADO ENDURECIDO.	115
5.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION.	116

5.2.2. CAPILARIDAD.....	117
5.2.3. POROSIDAD.....	118
5.2.4. PROFUNDIDAD DE PENETRACION.....	119
5.2.5. RESISTENCIA A LOS SULFATOS.....	119
5.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA.....	120
5.3.1. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ²	120
5.3.2. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ² + ADITIVO.....	123
5.3.3. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ²	126
5.3.4. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ² + ADITIVO.....	129
5.3.5. MÉTODO ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ²	132
5.3.6. MÉTODO ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ² + ADITIVO – REDUCCION 10%.....	135
5.3.7. MÉTODO DE ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ²	138
5.3.8. MÉTODO DE ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ² + ADITIVO – REDUCCION 10%.....	141
5.3.9. MÉTODO DE CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ²	144
5.3.10. MÉTODO DE CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210kg/cm ² + ADITIVO. .	147
5.3.11. MÉTODO CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ²	150
5.3.12. MÉTODO CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280kg/cm ² + ADITIVO.....	153
5.3.13. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ²	156
5.3.14. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210kg/cm ² + ADITIVO – REDUCCIÓN 10%.....	159
5.3.15. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ²	162
5.3.16. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280kg/cm ² +ADITIVO – REDUCCION 10%.....	165
CAPITULO IV.....	168
6. SISTESIS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	168
6.1. RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO.....	168
6.1.1. PESO UNITARIO DEL CONCRETO.....	168
6.1.2. TEMPERATURA.....	171
6.1.3. CONTENIDO DE AIRE.....	172
6.1.4. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.....	175
6.2. RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO....	176
6.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	176
6.2.2. PESO ESPECÍFICO DE MASA.....	181
6.2.3. POROSIDAD DEL CONCRETO.....	183
6.2.4. PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN.....	184

6.2.5. CAPILARIDAD DEL CONCRETO.	186
6.2.6. RESISTENCIA A LOS SULFATOS.	191
6.3. RESUMEN DE RESULTADOS.	193
CAPITULO VII	194
7. PROPUESTA ECONOMICA.	194
7.1. RESUMEN DE LA CANTIDAD DE MATERIALES DE LOS DISEÑOS SELECCIONADOS POR m ³	194
7.1.1. PRECIO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA.	195
CONCLUSIONES.	198
RECOMENDACIONES.	204
REFERENCIAS.	206
ANEXOS.....	208
ENSAYO DE CAPILARIDAD.	224
PANEL FOTOGRÁFICO.	228



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de variables e indicadores de la investigación.	4
Tabla 2: Ficha técnica del cemento Portland Tipo IP.	16
Tabla 3 Ficha técnica del cemento Portland Tipo HS.	17
Tabla 4 Porcentaje pasante permitido en cada malla.	19
Tabla 5 Valores máximos permisibles de sustancias disueltas.	21
Tabla 6 Factor de modificación para la desviación estándar.	32
Tabla 7 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.	33
Tabla 8 Evaluación de la desviación estándar.	34
Tabla 9 Limites para f_c	41
Tabla 10: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.	41
Tabla 11 : Grading Requirement for Lightweight Aggregate for Structural Concrete.	43
Tabla 12: Asentamiento por tipo de construcción.	44
Tabla 13: Volumen Unitario de Agua.	45
Tabla 14: Porcentaje de aire atrapado.	46
Tabla 15: Contenido de aire incorporado y total.	46
Tabla 16: Relación agua-cemento por resistencia.	47
Tabla 17: Concreto expuesto a soluciones de sulfatos.	48
Tabla 18: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.	49
Tabla 19: Modulo de fineza de la combinación de agregados.	58
Tabla 20 Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.	64
Tabla 21 Muestra 1 - Granulometría agregado grueso.	65
Tabla 22 Muestra 2 - Granulometría agregado grueso.	66
Tabla 23 Muestra 3 - Granulometría agregado grueso.	67
Tabla 24 Porcentaje de cantidad de finos del agregado grueso.	69
Tabla 25 Peso mínimo de la muestra de ensayo.	70
Tabla 26 Ensayo de peso específico del agregado grueso.	71
Tabla 27 Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso.	72
Tabla 28 Porcentaje de absorción del agregado grueso.	73
Tabla 29 Capacidad de la medida del molde.	74
Tabla 30 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.	75
Tabla 31 Peso mínimo de la muestras para el ensayo.	76
Tabla 32 Contenido de humedad del agregado grueso.	77
Tabla 33 Gradación de las muestras de ensayo.	78
Tabla 34 Número de esferas de acero.	78

Tabla 35 Porcentaje de degradación del agregado grueso.....	79
Tabla 36 Análisis granulométrico del agregado fino.....	79
Tabla 37 Muestra 1 - Granulometría agregado fino.....	80
Tabla 38 Muestra 2 - Granulometría agregado fino.....	81
Tabla 39 Muestra 3 - Granulometría agregado fino.....	82
Tabla 40 Ensayo de peso específico del agregado fino.....	86
Tabla 41 Resultados del ensayo de peso específico del agregado fino.....	86
Tabla 42 Porcentaje de absorción del agregado fino.....	87
Tabla 43 Dimensiones del recipiente para PUS y PUC del agregado fino.....	88
Tabla 44 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	89
Tabla 45 Contenido de humedad del agregado fino.....	90
Tabla 46 Porcentaje de cantidad de finos del agregado fino.....	91
Tabla 47 Resultados de los ensayos de propiedades físicas de los agregados.....	91
Tabla 48 Propiedades mecánicas de la roca ignimbrita.....	93
Tabla 49 Diseños de mezclas propuestos.....	94
Tabla 50 Diseño de mezcla ACI - IP - 210.....	95
Tabla 51 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 210.....	95
Tabla 52 Diseño de mezcla ACI - IP - 210 + AD.....	96
Tabla 53 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 210 + AD.....	96
Tabla 54 Diseño de mezcla ACI - IP - 280.....	97
Tabla 55 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 280.....	97
Tabla 56 Diseño de mezcla ACI - IP - 280 + AD.....	98
Tabla 57 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 280 + AD.....	98
Tabla 58 Diseño de mezcla ACI - HS - 210.....	99
Tabla 59 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 210.....	99
Tabla 60 Diseño de mezcla ACI - HS - 210 + AD - 10%.....	100
Tabla 61 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.....	100
Tabla 62 Diseño de mezcla ACI - HS - 280.....	101
Tabla 63 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 280.....	101
Tabla 64 Diseño de mezcla ACI - HS - 280 + AD - 10%.....	102
Tabla 65 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.....	102
Tabla 66 Diseño de mezcla CA - IP - 210.....	103
Tabla 67 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 210.....	103
Tabla 68 Diseño de mezcla CA - IP - 210 + AD.....	104
Tabla 69 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 210 + AD.....	104

Tabla 70 Diseño de mezcla CA - IP - 280.....	105
Tabla 71 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 280.....	105
Tabla 72 Diseño de mezcla CA - IP - 280 + AD.....	106
Tabla 73 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 280 + AD.....	106
Tabla 74 Diseño de mezcla CA - HS - 210.....	107
Tabla 75 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 210.....	107
Tabla 76 Diseño de mezcla CA - HS - 210 + AD - 10%.....	108
Tabla 77 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.....	108
Tabla 78 Diseño de mezcla CA - HS - 280.....	109
Tabla 79 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 280.....	109
Tabla 80 Diseño de mezcla CA - HS - 280 + AD - 10%.....	110
Tabla 81 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.....	110
Tabla 82 Dispersión de total del ensayo a compresión.....	117
Tabla 83 Resultados en estado fresco diseño ACI - IP - 210.....	120
Tabla 84 Resultados en estado endurecido diseño ACI - IP - 210.....	121
Tabla 85 Resultados en estado fresco diseño ACI - IP - 210 + AD.....	123
Tabla 86 Resultados en estado endurecido diseño ACI - IP - 210 + AD.....	124
Tabla 87 Resultados en estado fresco diseño ACI - IP - 280.....	126
Tabla 88 Resultados en estado endurecido diseño ACI - IP - 280.....	127
Tabla 89 Resultados en estado fresco diseño ACI - IP - 280 + AD.....	129
Tabla 90 Resultados en estado endurecido diseño ACI - IP - 280 + AD.....	130
Tabla 91 Resultados en estado fresco diseño ACI - HS - 210.....	132
Tabla 92 Resultados en estado endurecido diseño ACI - HS - 210.....	133
Tabla 93 Resultados en estado fresco diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.....	135
Tabla 94 Resultados en estado endurecido diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.....	136
Tabla 95 Resultados estado fresco diseño ACI - HS - 280.....	138
Tabla 96 Resultados en estado endurecido diseño ACI - HS - 280.....	139
Tabla 97 Resultados en estado fresco diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.....	141
Tabla 98 Resultado en estado endurecido diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.....	142
Tabla 99 Resultados en estado fresco diseño CA - IP - 210.....	144
Tabla 100 Resultados en estado endurecido diseño CA - IP - 210.....	145
Tabla 101 Resultado en estado fresco diseño ACI - IP - 210 + AD.....	147
Tabla 102 Resultado en estado endurecido diseño CA - IP - 210 + AD.....	148
Tabla 103 Resultados en estado fresco diseño CA - IP - 280.....	150
Tabla 104 Resultados en estado endurecido diseño CA - IP - 280.....	151

Tabla 105 Resultados en estado fresco diseño CA - IP - 280 + AD.	153
Tabla 106 Resultado en estado endurecido diseño CA - IP - 280 + AD.....	154
Tabla 107 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 210.	156
Tabla 108 Resultado en estado endurecido diseño CA - HS - 210.	157
Tabla 109 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.....	159
Tabla 110 Resultados en estado endurecido diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.....	160
Tabla 111 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 280.	162
Tabla 112 Resultados en estado endurecido diseño CA - HS - 280.	163
Tabla 113 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.....	165
Tabla 114 Resultados en estado endurecido diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.....	166
Tabla 115 Resultados de peso unitario, método ACI 211.1.	168
Tabla 116 Resultados de peso unitario, método de combinación de agregados.....	170
Tabla 117 Comparación de contenido de aire, método ACI 211.1.....	172
Tabla 118 Comparación contenido de aire, método de combinación de agregados.	173
Tabla 119 Comparación de resistencia a la compresión, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.	176
Tabla 120 Comparación de resistencia a la compresión, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.....	178
Tabla 121 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.	179
Tabla 122 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.....	180
Tabla 123 Comparación de profundidad de penetración, método ACI 211.1.	184
Tabla 124 Comparación de profundidad de penetración, método de combinación de agregados. ...	185
Tabla 125 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.	186
Tabla 126 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.	187
Tabla 127 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.	189
Tabla 128 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.....	190
Tabla 129 Comparación de diferencia de volumen por ataque de sulfatos, método ACI 211.1.....	192
Tabla 130 Comparación de diferencia de volumen por ataque de sulfatos, método de combinación de agregados.	192
Tabla 131 Diseños seleccionados de mejores resultados.....	193
Tabla 132 Precio de metro cúbico del diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.....	195
Tabla 133 Precio de metro cúbico del diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.	195
Tabla 134 Precio de metro cúbico del diseño de concreto tradicional ($a/c = 0.40$).....	196

Tabla 135 Precio de metro cúbico del diseño ACI – HS + AD - 10% con relación a/c de 0.5.....	196
Tabla 136 Precio de metro cúbico del diseño de concreto tradicional (a/c = 0.50)	197
Tabla 137 Precio de metro cúbico del diseño ACI - HS + AD - 10% (F'c = 150kg/cm2)	197
Tabla 138 Tabla de roturas diseño ACI - IP - 210.....	208
Tabla 139 Tabla de roturas diseño ACI - IP - 210 + AD.....	209
Tabla 140 Tabla de rotura diseño ACI - IP - 280.	210
Tabla 141 Tabla de roturas diseño ACI - IP - 280 + AD.....	211
Tabla 142 Tabla de roturas diseño ACI - HS - 210.	212
Tabla 143 Tabla de rotura diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.	213
Tabla 144 Tabla de rotura diseño ACI - HS - 280.....	214
Tabla 145 Tabla de rotura diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.	215
Tabla 146 Tabla de rotura diseño CA - IP - 210.....	216
Tabla 147 Tabla de rotura diseño CA - IP - 210 + AD.....	217
Tabla 148 Tabla de rotura diseño CA - IP - 280.....	218
Tabla 149 Tabla de rotura diseño CA - IP - 280 + AD.....	219
Tabla 150 Tabla de rotura diseño CA - HS - 210.	220
Tabla 151 Tabla de roturas CA - HS - 210 + AD - 10%.	221
Tabla 152 Tabla de roturas diseño CA - HS - 280.....	222
Tabla 153 Tabla de rotura CA - HS - 280 + AD - 10%.	223

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Fotografía satelital de la Cantera La Poderosa.....	20
Ilustración 2 Lugar de recolección del agregado grueso de piedra ignimbrita.....	28
Ilustración 4 Muestra 1 - Curva granulométrica agregado grueso.....	65
Ilustración 5 Muestra 2 - Curva granulométrica agregado grueso.....	66
Ilustración 6 Muestra 3 - Curva granulométrica agregado grueso.....	67
Ilustración 7 Muestra 1 - Curva granulométrica agregado fino.....	81
Ilustración 8 Muestra 2 - Curva granulométrica agregado fino.....	82
Ilustración 9 Muestra 3 - Curva granulométrica agregado fino.....	83
Ilustración 10 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 210.....	122
Ilustración 11 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 210.....	122
Ilustración 12 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 210 + AD.....	125
Ilustración 13 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 210 + AD.....	125
Ilustración 14 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 280.....	128
Ilustración 15 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 280.....	128
Ilustración 16 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 280 + AD.....	131
Ilustración 17 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 280 + AD.....	131
Ilustración 18 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 210.....	134
Ilustración 19 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 210.....	134
Ilustración 20 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.....	137
Ilustración 21 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.....	137
Ilustración 22 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 280.....	140
Ilustración 23 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 280.....	140
Ilustración 24 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.....	143
Ilustración 25 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.....	143
Ilustración 26 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 210.....	146
Ilustración 27 Curva de absorción capilar diseño CA - IP - 210.....	146
Ilustración 28 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 210 + AD.....	149
Ilustración 29 Curva de absorción capilar diseño CA - IP - 210 + AD.....	149
Ilustración 30 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 280.....	152
Ilustración 31 Curva de absorción capilar diseño CA - IP - 280.....	152
Ilustración 32 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 280 + AD.....	155
Ilustración 33 Curva de absorción capilar diseño CA - IP - 280 + AD.....	155
Ilustración 34 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 210.....	158
Ilustración 35 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 210.....	158

Ilustración 36 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.....	161
Ilustración 37 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.....	161
Ilustración 38 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 280.....	164
Ilustración 39 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 280.	164
Ilustración 40 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.....	167
Ilustración 41 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.....	167
Ilustración 42 Comparación de pesos unitarios, método ACI 211.1.....	169
Ilustración 43 Comparación de pesos unitarios, método de combinación de agregados.	170
Ilustración 44 Comparación de temperaturas, método ACI 211.1.	171
Ilustración 45 Comparación de temperaturas, método de combinación de agregados.....	172
Ilustración 46 Comparación de contenido de aire, método ACI 211.1.	173
Ilustración 47 Comparación contenido de aire, método de combinación de agregados.....	174
Ilustración 48 Comparación de asentamientos, método ACI 211.1.	175
Ilustración 49 Comparación de asentamiento, método de combinación de agregados.	175
Ilustración 50 Comparación de resistencia a la compresión del, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.	177
Ilustración 51 Comparación de resistencia a la compresión, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.....	178
Ilustración 52 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.	180
Ilustración 53 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.	181
Ilustración 54 Comparación de peso específico, método ACI 211.1.	182
Ilustración 55 Comparación de peso específico, método de combinación de agregados.....	182
Ilustración 56 Comparación de porcentaje de poros, método ACI 211.1.	183
Ilustración 57 Comparación de porcentaje de poros, método de combinación de agregados.	183
Ilustración 58 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.	187
Ilustración 59 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.....	188
Ilustración 60 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.	189
Ilustración 61 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.	191

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Recolección del agregado grueso de roca ignimbrita.	228
Fotografía 2 Ensayo de granulometría agregado grueso.	228
Fotografía 3 Ensayo de la máquina de los ángeles.	229
Fotografía 4 Ensayo de peso específico del agregado fino.	229
Fotografía 5 Asentamiento (slump) del concreto.	230
Fotografía 6 Fraguado del concreto en moldes.	230
Fotografía 7 Diferencia de concreto endurecido con aditivo plastificante.	231
Fotografía 8 Acabado superficial de concreto con y sin incorporación de aditivo plastificante.	231
Fotografía 9 Secado del concreto con roca ignimbrita.	232
Fotografía 10 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto.	232
Fotografía 11 Probeta ensayada de concreto con roca ignimbrita.	233
Fotografía 12 Muestras de concreto sumergida en solución de sulfatos.	233
Fotografía 13 Muestras secando después de 28 días de sumerjidas en solución de sulfato.	234
Fotografía 14 Restos de motero desprendidos por el ataque de sulfatos.	234
Fotografía 15 Saturación de concreto para el cálculo de la cantidad de poros.	235
Fotografía 16 Cálculo del peso sumergido del concreto.	235
Fotografía 17 Ensayo de capilaridad del concreto.	236
Fotografía 18 Ensayo de permeabilidad del concreto a presión constante de 1 MPa.	236
Fotografía 19 Ensayo de corte brasilero.	237
Fotografía 20 Profundidad de penetración del concreto.	237

CAPITULO I

1. GENERALIDADES.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad determinamos que en la cantera de Añashuayco, ubicado en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, así como en otras canteras importantes de roca ignimbrita, donde se realiza la producción de bloques de “sillar” de este material, podemos observar la gran cantidad de residuos que se generan por el desarrollo de esta actividad se encuentran almacenados desde hace mucho tiempo, sin que los labradores de esta piedra volcánica puedan darle algún uso.

Es a partir de esta situación que el investigador se realiza las siguientes interrogantes, ¿Esta piedra volcánica cumplirá los requisitos para ser utilizado como agregado grueso?, ¿Se podría utilizar este material en el diseño de concreto?, ¿cumplirían con las características necesarias para que pueda ser empleado en diferentes obras?

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Topográficamente, la quebrada de Añashuayco es en parte ahogada por las gravas aluviales recientes que se encuentran ocupando su lecho y sus laderas. A propósito, el espesor del “sillar arequipeño” en esta quebrada es difícil de apreciar porque su base no es conocida; esta unidad calculada para el conjunto se estima un mínimo de 10 m (G. Salas Alvarez, 1995).

Los afloramientos del “Sillar de Arequipa” tienen características bien definidas y sus depósitos constituyen dos flujos piroclásticos distintos de enfriamiento de composición riolítica (Lefèvre, 1979).

El sillar en conjunto su composición promedio se asemeja a la riolita, habiéndose identificado también elementos como el estroncio, litio y rubidio. Los constituyentes esenciales determinados macroscópicamente son distribuidos irregularmente en una pasta vitro clástica (Alfono, 2015).

En diferentes estudios se pueden conocer sus propiedades físicas y químicas de la piedra sillar en estado natural. Es de textura porosa y absorbe a los líquidos y soluciones salinas sin perder su cohesión, es un material muy poroso que presenta un valor promedio de 30.88% de absorción, existiendo de color blanco, rosado y crema. Presentando resistencia a la tracción, resistencia a la fricción y resistencia a la compresión (Alfano, 2015).

En la cantera de Añashuayco al existir una gran cantidad de residuos de la producción de sillar que se encuentran almacenados desde hace mucho tiempo, este material al ser una roca ígnea, abre la posibilidad de poder estudiar sus propiedades físicas que nos permitan diseñar concreto para diferentes resistencias y verificar los resultados.

Dependiendo de los resultados del diseño de concreto, se puede generar la posibilidad de aplicarla en obras civiles, así mismo se puede generar interés por empresas dedicadas a la construcción en utilizar la roca ignimbrita y tal vez generar mayores ingresos a los labradores de sillar.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Obtener concreto de resistencias convencionales utilizando los residuos de la roca ignimbrita como agregado grueso, utilizando los métodos del ACI 211.1 y del módulo de fineza de la combinación de agregados, realizar el análisis de durabilidad ante la exposición de sulfatos de sodio y magnesio.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.

- Realizar los ensayos de propiedades físicas a los residuos de la roca ignimbrita de la producción de bloques de sillar.
- Realizar los diseños de mezcla, utilizando los tipos de cemento IP y tipo HS de la marca Yura.
- Realizar los ensayos de concreto en estado fresco y en estado endurecido.
- Realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos planteados.

- Cumplir con el adecuado control de calidad que necesita el concreto diseñado con roca ignimbrita.
- Realizar el análisis de durabilidad ante la exposición de sulfatos de sodio y magnesio.
- Estimar el precio por m³ de concreto de los diseños de mezcla que se obtengan los mejores resultados.

1.4. HIPÓTESIS.

Según las propiedades físicas y del tamaño de las partículas que la roca ignimbrita presenta, puede ser posible el diseño de concreto de resistencias convencionales utilizando los métodos del ACI 211.1 y del módulo de fineza de la combinación de agregados, además de mejorar la resistencia a la compresión mecánica que la roca ignimbrita presenta naturalmente y comprobar la durabilidad del concreto diseñado ante la exposición de sulfatos de sodio y magnesio.

1.5. VARIABLES E INDICADORES.

Tabla 1 Cuadro de variables e indicadores del agregado grueso.

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	UNIDAD/CATEGORÍA
Agregado grueso	Origen	Tipo	Sedimentaria
			Ígnea
			Metamórfica
	Módulo de finura	Finas Medias Gruesas	Categórica Ordinal
	Modo de fragmentación	Tipo	Naturales
			Manufacturados
			Mixtos
	Forma	Tipo	Redondeado
			Angular
	Propiedad superficial	Tipo	Lisa
			Rugosa
	Impurezas	Tipo	Orgánicas
			Sales solubles
			Arcilla
			Limos
			Partículas suaves
	Peso específico	kg/m ³	Liviano
			Normal
			Pesado
	Contenido de humedad	%	Numérica
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	Numérica	
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	Numérica	
Porcentaje de absorción	Alto Medio Bajo	Categórica	
Resistencia a la abrasión	%	Numérica	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2 Cuadro de variables e indicadores del agregado fino.

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	UNIDAD/CATEGORÍA
Agregado fino	Origen	Tipo	Sedimentaria
			Ígnea
			Metamórfica
	Modo de fragmentación	Tipo	Naturales
			Manufacturados
			Mixtos
	Módulo de finura	Finas Medias Gruesas	Categórica Ordinal
	Peso unitario suelto	kg/m ³	Numérica
	Peso unitario compactado	kg/m ³	Numérica
	Peso específico	kg/m ³	Numérica
	Porcentaje de absorción	Alto Medio Bajo	Categórica Ordinal
	Porcentaje de humedad	%	Numérica
Impurezas	Tipo	Limos	
		Arcillas	
		Orgánico	
		Sales	

Fuente: Elaboración propia.

1.6. ALCANCES.

Este proyecto de investigación, pretende analizar hasta que medida influye la ignimbrita como agregado grueso en la obtención del concreto así como la durabilidad del concreto diseñado con roca ignimbrita como agregado grueso ante la exposición de sulfato de magnesio y sulfato de sodio, realizando el análisis comparativo de resultados del concreto diseñado con cemento tipo IP y cemento tipo HS anti salitre, además de la incorporación

del aditivo Sika Plastiment HE-98 y la reducción del 10% de la cantidad de agua en el diseño de mezcla. Utilizando el método de diseño ACI 211.1 y el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.

1.7. LIMITACIONES.

- No se conoce todas las propiedades físicas necesarias de la roca ignimbrita para el diseño de concreto por los métodos del ACI 211.1 y del módulo de fineza de la combinación de agregados.
- El uso de roca ignimbrita es común en la ciudad de Arequipa, es por eso que muchas edificaciones están hechas de bloques de “sillar”, pero aún no se tiene mucho conocimiento del comportamiento de roca ignimbrita en el diseño de concreto.
- Los residuos de roca ignimbrita al ser producidos de manera manual, puede ser que se presenten partículas de grandes granulometrías, las cuales se tendrían que retirar de las muestras para el diseño de concreto.
- Debido al proceso por el cual se produce los bloques de sillar de roca ignimbrita, se puede encontrar gran cantidad de polvo de roca, la cual debido a su tamaño es perjudicial en el diseño de concreto, la cual se deberá evitar recoger de la cantera.

1.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

En esta investigación el instrumento de recolección de datos de mayor importancia será la experimentación de sí misma. Este corresponde a la mayor fuente de información, debido a que estos provienen de las experiencias realizadas en laboratorio en un entorno controlado.

Adicionalmente se contará con la observación y toma de datos de cada uno de las muestras, realizando los ensayos según describa el procedimiento de las normas técnicas, sea para el agregado grueso, agregado fino, concreto en estado fresco y en estado endurecido. Debido a que estos se realizaran con diferentes características entre ellos y es necesario registrar la información ordenadamente para realizar gráficas y tablas y poder realizar su comparación y respectivo análisis entre sí.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO Y NORMATIVO.

2.1. EL 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.

La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de este.

El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida” (Enrique, 2000).

De acuerdo a lo explicado anteriormente el concreto es una piedra que resulta de la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades fijadas en el diseño de mezcla, especialmente la resistencia a la compresión.

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. En el diseño de la mezcla se puede agregar aditivos, las cuales incluidas en la dosificación recomendada puede modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, como pueden ser acelerar el tiempo de fraguado, reducir el peso por unidad de volumen, aumentar la trabajabilidad, inclusive aumentar la resistencia a la compresión, de tal forma que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor.

El concreto entre sus características principales es su peso por unidad de volumen, esta característica depende directamente del peso de sus agregados, obteniendo la siguiente clasificación:

- Concreto ligero, este está constituido por agregados grueso y fino de densidades menores, este tipo de concreto se utiliza en losas y viviendas tipo monolíticas. El peso unitario que varía de 1350 kg/m^3 a 1850 kg/m^3 .
- Concreto normal, este se utiliza mayormente para estructuras en general, prefabricados y estructuras voluminosas. El peso unitario oscila entre 2200 y 2400 kg/m^3 .
- Concreto pesado, este se utiliza en estructuras voluminosas o especiales. Si a la mezcla se le agrega aditivos especiales, el peso unitario puede llegar hasta 6000 kg/m^3 .

2.2. IMPORTANCIA DEL CONCRETO.

“Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro medio. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales” (Enrique, 2000).

El concreto se destaca como un material en desarrollo de alto desempeño, que nos permite enfrentar los retos de la construcción de infraestructuras a nivel mundial. Tecnologías innovadoras que ayuden a optimizar los procesos constructivos y prolongar la vida útil de las estructuras; sin duda el concreto es la mejor alternativa al respecto.

La importancia del concreto radica en su versatilidad, que su desarrollo ha permitido su uso y aplicaciones insospechadas. Actualmente, es el material de construcción más ampliamente utilizado en el mundo con una producción cercana a los 13000 millones de $\text{m}^3/\text{año}$.

Las ventajas que hacen del concreto un material imprescindible son los siguientes:

- Es capaz de resistir a una gran variedad de condiciones de exposición, gracias a su alta durabilidad y resistencia.

- Es un material de alta disponibilidad, lo que ayuda a optimizar los costos y reducir la huella de carbono.
- Sus propiedades estéticas permiten innovaciones arquitectónicas y flexibilidad en su diseño.
- En la construcción de estructuras como cimentaciones, túneles, represas, etc. El uso del concreto es insustituible.

2.3. COMPOSICION DEL CONCRETO.

El concreto endurecido se compone de los siguientes elementos.

2.3.1. PASTA.

“Sin desconocer el papel fundamental que tiene el agregado en las características finales del concreto, el comportamiento de éste como material de construcción está directamente influenciado por las características de la pasta y propiedades finales de ella.

Para un cemento dado, las características y porosidad de la pasta dependen fundamentalmente de la relación agua-material cementante y del grado de hidratación de este, siendo mejores las propiedades del concreto y menor su porosidad cuando más baja es la relación agua-material cementante de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento” (Enrique, 2000).

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto:

- Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
- Separar las partículas de agregado.
- Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
- Proporcionar lubricación a la masa cuando está aún no ha endurecido.

Recién preparada, la pasta es una red de partículas de cemento embebida en agua. Cuando fragua, es decir, al terminar su periodo latente de unas horas durante la cual la pasta permanece plástica, el conjunto adquiere rigidez y origina nuevos componentes sólidos, los cuales son el gel y cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento. Además, se forman poros y restos

de cemento no hidratado; estos elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

2.3.1.1. GEL.

El gel es la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.

- **Formación.** Cuando el cemento se combina con el agua se produce una muy rápida solución sobresaturada de hidróxido de calcio, con concentración de silicato cálcico hidratado. De acuerdo a Le Chatelier este hidrato se precipita rápidamente correspondiendo el endurecimiento posterior a la pérdida de agua, presentándose el silicato de calcio hidratado en forma de cristales interconectados extremadamente pequeños.
- **Composición.** Es una aglomeración de partículas sólidamente entrelazadas, en su mayoría escamosas o fibrosas, comprende masa de cemento hidratado, hidróxido de calcio cristalino y poros gel.
- **Comportamiento.** Este desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto, especialmente en sus resistencias mecánicas y su módulo de elasticidad.

2.3.1.2. POROSIDAD.

La pasta de cemento es, a la vez, porosa y permeable, aun la más densa de las pastas de cemento puede presentar una cantidad de espacios vacíos de hasta 26%, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida, aunque, bajo determinadas circunstancias, alguno de ellos podría estar parcial o totalmente llenos de agua. La porosidad depende de la medida en que los productos de la hidratación del aglomerante colmaten los vacíos capilares y, también, de la cantidad inicial de agua, traducida al coeficiente agua/cemento.

Los poros presentes en la pasta se clasifican en cuatro categorías definidas por el origen, tamaño promedio, o ubicación de ellos, los cuales son:

- Poros por aire atrapado. La presencia de este tipo de poros es inevitable pero inconveniente dado que contribuyen a la disminución de la resistencia y durabilidad del concreto, pudiendo adicionalmente incrementar la permeabilidad. Por orden del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación.
- Poros por aire incorporado. Las burbujas son generalmente de perfil esférico, con diámetros variables que corresponden a un valor promedio de 0.08 a 0.10 mm. Su volumen puede ocupar hasta más del 5% de la mezcla. Esta incorporación intencional de aire, permite incrementar la trabajabilidad, plasticidad y fluidez de las mezclas, así como el aumento significativo de la durabilidad.
- Poros capilares. Se define a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel. No pueden ser apreciados a simple vista, pero pueden formar un sistema, en muchos casos interconectados. Conforme aumenta el número, disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta y aumenta la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción.
- Poros gel. Durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de este, totalmente aislados unos de otro. Estos son de un diámetro muy pequeño, del orden de 0.0010 mm, equivalente al de las moléculas de agua. Debido a su muy pequeño diámetro el agua no congela en ellos. Estos poros no están interconectados.

2.3.1.3. NATURALEZA QUIMICA DE LA PASTA.

“El proceso químico mediante el cual los silicatos y aluminatos cálcicos, así como el sulfato de calcio, que componen el cemento reaccionan con el agua, y parcialmente unos con otros, para formar la pasta se denomina genéricamente proceso de hidratación. Este proceso es muy complejo y puede durar meses o años” (Enrique, 2000).

Los productos sólidos presentes en el gel son todos de naturaleza básica, pudiendo ser todos ellos atacados y descompuestos por los ácidos, aunque la velocidad de ataque puede ser significativamente baja. De igual manera puede ser atacado por el bióxido de carbono el cual, en presencia de agua, forma ácido carbónico cuyo ataque puede ser severo o leve según las circunstancias.

2.3.2. AGREGADOS.

Las dimensiones del agregado cuyas dimensiones están fijadas en la Norma NTP 400.011, estos pueden ser un conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial. Los agregados son la fase discontinua del concreto, estos materiales están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y 78% de la unidad cubica de concreto.

2.3.2.1. FUNCIÓN DEL AGREGADO.

Cumple las siguientes funciones en el concreto:

- Reduce los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, humedecimiento y secado; o calentamiento de la pasta.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas, de desgaste, o intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Es un relleno adecuado para la pasta, reduce el contenido de esta por unidad de volumen, reduciendo el costo de la unidad cubica de concreto.

2.3.2.2. INTERRELACIÓN AGREGADO-CONCRETO.

Las propiedades del concreto resultante del empleo de un agregado determinado dependerán de los siguientes criterios:

- La porosidad y absorción del agregado, las cuales influyen sobre la relación de agua/cemento efectivo y las propiedades en estado fresco.
- El volumen de agregado, el cual influye especialmente en los cambios de volumen debidos a los procesos de humedecimiento y secado.

- La granulometría de los agregados, así como el módulo de fineza y tamaño máximo del agregado grueso. Estas influyen sobre las propiedades del concreto en estado fresco, sobre su densidad y la economía de la mezcla.
- Las características superficiales de las partículas, las cuales influyen sobre la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto; así como en la adherencia de la pasta y el agregado.
- La composición mineral del agregado, influye fundamentalmente sobre la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto.

2.3.2.3. NATURALEZA QUIMICA DEL AGREGADO.

Los agregados son considerados usualmente químicamente inocuos, lo cual no es completamente cierto. Se han encontrado las siguientes consideraciones:

- Agregados naturales o artificiales, pueden entrar en reacción química con los constituyentes del cemento, especialmente los álcalis, dando origen a múltiples problemas por la reacción de expansión álcali-agregado.
- Los agregados ricos en sílice son en sí mismos resistentes a los ataques ácidos; los agregados calcáreos, especialmente la calcita y la dolomita, puede ser atacados por los ácidos.
- Se ha encontrado que los agregados carbonatados pueden, en algunas ocasiones, tener aplicación útil como agregados de sacrificio en concretos expuestos a ataques por ácidos débiles a medios, a fin de reducir el ataque a la pasta en sí misma y así prolongar la vida del concreto.

2.4. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE CONCRETO.

Los componentes utilizados para el diseño de concreto con las características que necesitamos para esta investigación, son descritos a continuación:

2.4.1. CEMENTO.

“El cemento portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una

masa endurecida. Esencialmente es un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas” (Abanto Castillo, 2009).

El cemento es el componente más activo del concreto y, generalmente, tiene el mayor costo unitario. Por ello, y considerando que las propiedades del concreto dependen tanto de la cantidad como de la calidad de sus componentes, la selección y uso adecuado del cemento son fundamentales para obtener en forma económica las propiedades deseadas para una mezcla dada.

En el mercado existen varios tipos de cemento, cada uno cumple con dotar una característica al concreto a diseñar, los cuales están descritos a continuación:

- TIPO I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y cuando no se especifica el uso de otro tipo de cemento.
- TIPO II: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfato o donde se requiera moderada calor de hidratación.
- TIPO III: Es el cemento de alta resistencia inicial. El concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cemento tipo I o tipo II.
- TIPO IV: Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.
- TIPO V: Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

Así mismo existen cementos especiales o adicionados que tiene un desempeño aún más específico y especial, algunos de los tipos son descritos a continuación:

- TIPO IP: Cemento para uso en general, pero tiene adicionado puzolana entre un 15% a 40%.
- TIPO HE: Cemento similar al tipo III, este permite una alta resistencia inicial.
- TIPO MS: Este cemento permite una moderada resistencia a los sulfatos.

- TIPO HS: Este tipo de cemento permite una alta resistencia a los sulfatos, nos permite utilizarlo en zonas con restos de sulfatos como fábricas o terreno agrícola.
- TIPO MH: Este cemento aporta un moderado calor de hidratación, resistente a la humedad e ideal para trabajar en climas cálidos.
- TIPO LH: Cemento de bajo calor de hidratación y diseñado especialmente para trabajos de albañilería o acabados.

El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de las normas NTP 334.009 y norma ASTM C150.

Para la presente investigación se utilizó cemento Portland Puzolánico IP, el cual está establecido para uso general y se encuentra producido mediante molienda conjunta de Clinker y puzolana.

El motivo por el cual se utilizó este tipo de cemento es debido a que este es el tipo más utilizado en nuestro medio local, además que este tipo de cemento se puede utilizar para cualquier tipo de estructura. Así mismo los resultados de la investigación por el uso del cemento de tipo IP puedan ser más amplio utilizados.

Con el propósito de obtener mejores resultados de los concretos que diseñemos y realizar la comparación ante el ataque de sulfatos, se utilizó el cemento Portland tipo HS, el cual nos ofrece mejorar la durabilidad del concreto y así mismo mejora la resistencia a la compresión del concreto.

Para la presente investigación la marca de cemento que fue utilizado es de la empresa Yura S.A. Debido a que esta empresa produce ambos tipos de cementos descritos, así mismo al ser una empresa local es la de mayor presencia en la ciudad de Arequipa y la más utilizada.

2.4.1.1. CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP.

Los componentes utilizados para la fabricación del cemento portland Puzolánico Tipo IP otorgan propiedades especiales convirtiéndolo en un cemento de Alta durabilidad, lo cual permite que el concreto tenga una mayor

resistencia y pueda ser utilizado en obras generales especialmente en obras que requieran durabilidad.

El cemento Yura Tipo IP presenta las siguientes características:

Tabla 3: Ficha técnica del cemento Portland Tipo IP.

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.	
Pérdida por ignición (%)	2.14		5.00 Máx.	
Requisitos Físicos	Cemento Portland Puzolánico Yura Tipo IP		NTP 334.090 ASTM C-595	
Peso específico (g/cm ³)	2.85		-	
Expansión en autoclave (%)	0		0.80 Máx.	
Fraguado Vicat inicial (min)	170		45 mín.	
Fraguado Vicat final (min)	270		420 máx.	
Resistencia a la compresión	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
1 día	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 resultados	Cemento IP		-	
% Expansión a los 14 días	0.018		-	

Fuente: (Cementos Yura, 2014, pág. 1).

2.4.1.2. CEMENTO PORTLAND TIPO HS.

El cemento Yura HS Anti salitre, clasificados como cemento tipo HS según la norma NTP 334.082 (ASTM C1157). Es un producto formado en base a Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Este cemento por su formulación especial, dota al concreto entre las propiedades más relevantes, alta resistencia al ataque de sulfatos, alta resistencia a la compresión y aumento de impermeabilidad.

Tabla 4 Ficha técnica del cemento Portland Tipo HS.

Requisitos Físicos	Requisitos Norma Técnica NTP 334.082 ASTM C-1157		Desempeño Cemento Yura Anti salitre Tipo HS	
Superficie específica (cm ² /g)	-		4400	
Expansión en autoclave (%)	0.80 Máximo.		0.00	
Fraguado Vicat inicial (min)	45 mínimos.		190	
Fraguado Vicat final (min)	420 máximos.		230	
Contenido aire mortero (%)	-		4.55	
Resistencia a la compresión	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
1 día kg/cm ² , MPa	-	-	120 - 130	11.8-12.7
3 día kg/cm ² , MPa	112	11	205 - 245	20.1-24.0
7 día kg/cm ² , MPa	184	18	288 - 328	28.2-32.2
28 día kg/cm ² , MPa	255	25	385 - 425	37.8-41.7
Resistencia a los sulfatos				
14 días %	-		0.01	
6 meses %	0.05 máximo		0.02	
1 año %	0.10 máximo		0.03	

Fuente: (Cementos Yura, 2014, pág. 1).

2.4.2. AGREGADOS.

2.4.2.1. AGREGADO GRUESO.

Como se detalló anteriormente en la presente investigación se utilizará como agregado grueso los residuos de la producción de bloques de sillar de la cantera de Añashuayco, este tipo de roca se detalla a continuación.

La piedra presente en la cantera de Añashuayco corresponde a un tipo de origen volcánico conocido como ignimbrita. Es una roca ígnea y depósito volcánico que consiste en toba dura compuesta de fragmentos de roca y fenocristales en una matriz de fragmentos vítreos. Las ignimbritas suelen ser de composición intermedia a félsica. Las ignimbritas se caracterizan por tener lo que en geología se conoce como fiames, los cuales son líneas que cruzan la roca, y pueden estar compuestos de diferentes minerales (Le Maitre, 2002).

Esta roca volcánica se ha convertido desde el tiempo de la colonia como el material más utilizado para construir los principales monumentos de la ciudad

de Arequipa, existen varias teorías entre las cuales discrepan sobre la formación de este material.

- Según el Dr. William F. Jenks, considera que el sillar es una roca originada a raíz de una gran erupción volcánica, hace más de 800,000 años. Una masa de lava, cargada de gas, fue empujada por fuerzas enormes hacia el exterior a través de las quiebras o fisuras situadas en las faldas del Chachani. Esta masa móvil mezcla de gases y material sólido a elevada temperatura se expandió a gran velocidad a través del valle que hoy ocupa Arequipa y Yura, por su gran peso perdió velocidad y llegó al reposo; dejando en toda esta zona un manto de material parecido al de la ceniza y las partículas rocosas se asentaron y comenzaron a consolidarse.
- Según el Dr. Clarence N. Fenner, señala que el magma parece haber rebalsado por los orificios de la corteza terrestre, en forma de una masa de partículas disgregadas por la acción de los gases puestos en libertad, masa que se ha corrido después, como un derrame incandescente. Según Fenner una de las características notables es la manera heterogénea como se mezclan los componentes. Así mismo distingue sillares pre-glaciares, siendo estos la mayoría, y sillares recientes, al parecer siendo solo uno formado durante o después de esta época (Lara Galindo, 1988, pág.7).

La roca ignimbrita presente en la cantera de Añashuayco, domina un material muy silíceo, una riolita. Se puede clasificar como una roca efusiva (roca fundida) que se ha derramado sobre la superficie terrestre y se ha enfriado rápidamente.

En un estudio de la composición mineralógica del sillar realizado en el laboratorio de Geología y Geomorfología Aplicada de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, ha llegado a las siguientes conclusiones a nivel microscópico:

- Plagioclasas (Na Si O_3).
- Biotita ($\text{Si O}_3 (\text{OH})\text{Fe}$).
- Vidrio volcánico (Si O_2).

- Esquirla.
- Material Desvitrificado (Si O_2)
- Trozos líticos (Na Si O_3)

La cantera de Añashuayco se encuentra en el N.O de la provincia de Arequipa, tiene el aspecto de una gran muralla, en una longitud de 18 km aproximadamente y de fácil corte. Aquí podemos encontrar sillar blanco.

Las canteras de sillar en Arequipa, son explotadas a cielo abierto en forma muy rudimentaria para lo cual se procede a eliminar el estrato superficial de arena y tierra que cubre el sillar. El espeso del estrato puede llegar a 250 m en un área de 500 m² en Añashuayco, a la vista se encuentra grandes murallones de más o menos 25 m, a lo largo de la cual se encuentran una extraordinaria cantidad de pequeños fragmentos. Esta cantera es considerada como una de las que tiene el mejor sillar blanco y rosado (Lara Galindo, 1988, pág. 10).

2.4.2.2. AGREGADO FINO.

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el Tamiz 9.5 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

Tabla 5 Porcentaje pasante permitido en cada malla.

MALLA	% PASANTE
3/8"	100
N° 4	95 – 100
N° 8	80 – 100
N° 16	50 – 85
N° 30	23 – 60
N° 50	10 – 30
N° 100	2 – 10

Fuente: (Norma ASTM C 33).

El agregado podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas, sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas y resistentes, libres de polvo, terrones, partículas

escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto (Enrique Rivva, 2000, pág. 180).

El modulo de fineza del agregado fino se mantendra dentro del limite de mas o menos 0.2, siendo recomendable que el valor este entre 2.35 y 3.15.

Los agregados que no cumplan con alguno de los requisitos pueden ser utilizados si se comprueba mediante resultados de laboratorio que se puede producir concreto con las propiedades requeridas.

Para la presente investigación se buscó utilizar agregado fino de buena calidad, que mediante antecedentes de ensayos se haya comprobado buenos resultados en el diseño de concreto; es por eso que se decidió utilizar agregado proveniente de la cantera “La Poderosa”, ubicada en el distrito de Uchumayo, en la carretera con dirección a cerro verde.

Ilustración 1 Fotografía satelital de la Cantera La Poderosa.



Fuente: Google Maps.

2.4.3. AGUA.

El agua es un elemento principal en la preparación del concreto, como también juega un papel importante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido del concreto.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

El agua que contiene menos de 2000 partes por millón de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y tiempo de fraguado.

A continuación, se presenta una tabla con los valores máximos permisibles de algunas sustancias disueltas en el agua.

Tabla 6 Valores máximos permisibles de sustancias disueltas.

Sustancias Disueltas	Valor Máximo Admisible
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: (Norma ASTM C109).

2.4.4. AIRE.

Es el resultado de una mezcla de gases los cuales se encuentran en la atmosfera terrestre. El volumen de aire atrapado es introducido durante las operaciones de dosificación y mezcla del concreto y es variable en cantidad, tamaño y forma de las burbujas; si el aire atrapado ocupa un volumen relativamente grande y permanecen dentro de la masa del concreto, se obtiene una disminución importante en la resistencia potencial de la mezcla, de allí la necesidad de una buena compactación del concreto para extraer la mayor cantidad posible de aire atrapado.

2.4.5. ADITIVO.

Aditivo es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, es distinta a los demás ingredientes de la pasta, del mortero o del

concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas. La misión del aditivo no consiste en mejorar el cemento, sino permite la transformación o modificación de ciertos caracteres o propiedades de un producto acabado (Gerardo Rivera, 1999, Pág. 231).

Para la presente investigación utilizaremos el aditivo plastificante e impermeabilizante de nombre Plastiment HE-98 de la marca Sika, presente en el mercado local.

Se eligió este aditivo, debido a que mejora la trabajabilidad en el concreto fresco, permite reducir el agua de amasado en el concreto produciendo incrementos en las resistencias mecánicas, el aumento de la impermeabilidad, no contiene cloruros y se puede emplear en todos los concretos de obras civiles, edificaciones, prefabricados y en general.

Su dosificación recomendada varía entre 0.5% y 1.0%, se utiliza la última parte del agua de amasado del concreto. Además, que nos permite reducir la dosificación de agua de la mezcla, hasta en un 20% (Sika, 2018).

2.5. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL CONCRETO.

Para cada caso particular de empleo se requieren en el concreto determinadas propiedades. Es por ello que el conocimiento de todas y cada una de las propiedades del concreto, así como la interrelación entre ellas, es importante recordar que ellas están íntimamente asociadas con las características y proporciones relativas de los materiales integrantes.

2.5.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

A principio el concreto parece una “masa”. Es blando y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas. Y así se conserva durante la colocación y compactación, teniendo las siguientes propiedades más importantes.

2.5.1.1. TRABAJABILIDAD.

Esta propiedad del concreto al estado no endurecido la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad.

2.5.1.2. CONSISTENCIA.

Esta propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuanto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que al concreto fruirá durante su colocación. Esta propiedad es relacionada pero no sinónima de trabajabilidad.

2.5.1.3. COHESIVIDAD.

Es la propiedad del concreto fresco gracias a la cual es posible controlar el peligro de segregación durante la etapa de colocación de la mezcla, al mismo tiempo contribuye a prevenir la espereza y facilitar el manejo durante el proceso de compactación del concreto.

2.5.1.4. SEGREGACION.

La segregación es definida como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero. Esta propiedad es entendible si se considera que el concreto es una mezcla de diferentes tamaños y gravedades específicas.

2.5.1.5. CONTENIDO DE AIRE.

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, del orden del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa del concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. El tamaño de aire atrapado puede ser imperceptible.

Una cantidad significativa de material pasante de la malla N° 200, puede reducir el contenido de aire en el concreto y obligar a que se emplee más aditivo incorporado de aire para obtener los mismos resultados.

2.5.1.6. EXUDACION.

La exudación es definida como la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los sólidos. El

proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla, se obtiene máxima consolidación de sólidos, o se produce la ligazón de las partículas.

2.5.1.7. TIEMPO DE FRAGUADO.

El tiempo de fraguado del concreto no es usualmente afectado por el agregado. Sin embargo, la presencia en la superficie de este de sales solubles o materia orgánica pueden afectar esta propiedad en la medida que ellas pueden actuar como acelerantes o retardantes de fragua.

2.5.1.8. CALOR DE HIDRATACION.

El calor de hidratación es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende, principalmente, de la composición química del cemento. La relación agua – cemento, finura del cemento y temperatura de curado también son factores que intervienen.

2.5.1.9. PESO UNITARIO.

Esta propiedad del concreto es el peso varillado de una muestra representativa. Se expresa en kilos por metro cubico.

La gravedad específica y la cantidad de cada agregado deberán afectar el peso unitario resultante de la mezcla fresca. Con agregados de alta porosidad el peso unitario del concreto puede variar dependiendo de si la absorción ha sido satisfecha por pre humedecimiento del agregado.

2.5.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

El concreto endurecido es aquel que tras el proceso que el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química en el cual el concreto pasa del estado plástico al estado rígido.

La mezcla experimenta dos etapas dentro de su proceso general que son: fraguado inicial y el fraguado final. El primero corresponde cuando la mezcla pierde su plasticidad volviéndose difícilmente trabajable. Conforme la mezcla continúa endureciéndose, esta llegará a su segunda etapa alcanzando una dureza tan apreciable que la mezcla entra ya en su fraguado final.

A continuación, se describen las propiedades más importantes del concreto en estado endurecido:

2.5.2.1. RESISTENCIA MECÁNICA.

La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someten a pruebas de compresión.

Se emplea la resistencia a la compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran al incrementarse esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura).

La resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) se recomienda que sea realizada a los 28 días de curado, debido a que en este tiempo alcanza aproximadamente el 90% de su resistencia máxima.

2.5.2.2. PROPIEDAD ELÁSTICA.

El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo-deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de una curva. Generalmente se conoce como módulo de elasticidad a la relación del esfuerzo deformación medida en el punto donde la línea se aparta de la recta y comienza a ser curva.

El módulo de elasticidad del concreto aumenta al incrementar la resistencia en compresión y, para un mismo concreto, disminuye al aumentar la tensión de trabajo (flexión).

2.5.2.3. CAMBIO DE VOLUMEN.

El concreto experimenta variaciones de volumen, dilatación o contracciones, durante su vida útil por causas físico-químicas. Algunos de los tipos son descritos a continuación.

- **Retracción hidráulica:** Durante el fraguado se produce una reacción exotérmica que favorece la evaporación y pérdida de agua de constitución. Al perderse agua se pierde volumen por lo que el concreto se contrae.
- **Retracción plástica:** Este tipo se produce debido a una rápida pérdida de agua de la superficie del concreto antes de que este haya fraguado. Esta retracción es antiestética, pero raramente afecta la resistencia o durabilidad.
- **Retracción térmica:** Este se produce debido a una disminución importante de la temperatura en las piezas de concreto, cuyo encofrado impide el movimiento de contracción, lo que origina tensiones de tracción que el concreto no puede absorber.
- **Retracción por carbonatación:** Proceso en el cual ingresa CO_2 al interior de la masa de concreto. Al ser un gas no necesita de poros o fisuras de gran tamaño. Este se produce generalmente en ambientes abundantes de este gas.

2.5.2.4. DURABILIDAD.

Un concreto durable es aquel que puede resistir en forma satisfactoria las condiciones de servicio a que estará sujeto. Es indispensable que el concreto resista, sin deteriorarse con el tiempo. La durabilidad puede deberse a causas externas pueden ser físicas, químicas o mecánicas; originadas por condiciones atmosféricas, temperaturas extremas, abrasión, acción electrolítica, ataques por líquidos y gases de origen natural o industrial. Las causas internas son: la reacción álcali-agregado, cambios de volumen debidos a diferencias entre las propiedades térmicas del agregado y de la pasta de cemento y sobre todo la permeabilidad de concreto (Gerardo Rivera, 1999, Pág. 155).

2.5.2.5. PROPIEDAD ACÚSTICA.

En el concreto la propiedad de absorber el sonido es definitivamente ausente, supera con dificultad el 3% de todas las frecuencias. Es por eso que se producen ambientes excesivamente reverberantes. Sin embargo, respecto al aislamiento acústico, el concreto presenta algunas ventajas sobre otros materiales. Su gran masa, con densidades que superan los 2000 kg/m^3 , puede alcanzar un excelente grado de aislamiento acústico de baja frecuencia.

2.6. PRODUCCIÓN DEL CONCRETO.

La producción de concreto debe implicar un balance entre la economía razonable y requerimiento de ciertas características, las cuales están regidas por el uso futuro del concreto y las condiciones esperadas a ser encontradas en el momento de la colocación de la mezcla.

2.6.1. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Para el diseño de mezclas nos basaremos en elegir los materiales según la disponibilidad de estos en el mercado local, de tal manera como se estuvo exponiendo anteriormente los materiales seleccionados son los siguientes.

Para la elección del cemento a utilizar, se usará el producido por la empresa local “Cementos Yura S.A”, para los tipos portland puzolánico IP y del tipo HS anti salitre. Debido a que esta marca es la de mayor aceptación en la ciudad de Arequipa.

Como se describió anteriormente para el agregado fino, se utilizará uno que se haya demostrado experimentalmente su buena calidad en el diseño de concreto, por ese motivo se utilizará el agregado proveniente de la cantera “La Poderosa”, será necesario realizar el transporte del material y su almacenamiento para los ensayos.

El material que se debe de realizar su elección más cuidadosamente es el del agregado grueso, el cual es parte fundamental de esta investigación, debido a que se utilizara roca ignimbrita proveniente de los residuos de la producción de bloques de sillar de la cantera de Añashuayco. Se sabe que este material tiene similares propiedades físicas y encontrar una gran diversidad de tamaños de partículas en las rumas acumuladas de

los residuos de este material a lo largo de la cantera, además que esto puede afectar significativamente los resultados en el diseño de concreto. La recolección del material ignimbrita se realizó en la siguiente zona señalada en la imagen, con las coordenadas geográficas, -16.359303, -71.608172. Se realizó la recolección del material de manera cuidadosa y de ese modo se trató de recolectar la mejor calidad de agregado grueso de piedra ignimbrita para realizar el diseño de concreto.

Ilustración 2 Lugar de recolección del agregado grueso de piedra ignimbrita.



Fuente: Imagen satelital de Google Maps de la cantera de Añashuayco.

El uso de agua que se utilizará para esta investigación, será proveniente del sistema de agua potable de la ciudad. Asegurando que este tenga las características adecuadas para realizar el diseño de mezcla.

Para el empleo de aditivo, el uso deberá ser cuidadosamente estudiado a fin de alcanzar las propiedades deseadas en el concreto sin modificar otras. Se utilizará el aditivo Plastiment HE-98 de la marca Sika, la cual se empleará siguiendo las recomendaciones de su ficha técnica.

2.6.2. IMPORTANCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE MATERIALES.

“En la selección de las proporciones o dosificación de la mezcla de concreto deberá tenerse cuidado que haya la cantidad de pasta necesaria no sólo para recubrir el agregado y facilitar su movilidad, sino también para ocupar los vacíos existentes entre partículas” (Enrique Riva, 2000, pág. 23).

Según el Ing, Giraldo Bolívar, las proporciones del concreto deben seleccionarse en tal forma, que el producto resultante cumpla con los requisitos de colocación adecuada para cada tipo de obra, con la resistencia, durabilidad, economía y peso unitario exigidos como requisitos mínimos a cumplir por el concreto diseñado.

2.6.3. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO NORMAL.

Anteriormente el diseño de concreto se realizaba mediante proporciones pre establecidas empíricamente (mezclas de 1:3 por volumen suelto para pavimentos, 1:5 para losas, 1:4 para vigas y columnas, etc.). Esto era permitido para aquella época debido a que no se controlaba adecuadamente la calidad del concreto. Sin embargo, para el día de hoy es obligatorio realizar un procedimiento correcto de diseño de mezcla para cumplir las rigurosas especificaciones que se le exigen al material en la construcción.

El concreto es un material heterogéneo, compuesto por una parte cementante (cemento + agua) y otra, que podemos considerar de relleno (los agregados), pero que mejoran notablemente las características del material. Por ende, es necesario realizar un buen diseño de mezcla para obtener las características de concreto deseadas.

2.6.3.1. DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN EL MÉTODO DEL ACI 211.1.

Este método de diseño describe la práctica estándar para la selección de proporciones para cementos hidráulicos con o sin otros materiales cementantes e ingredientes químicos. Este concreto consiste en agregados normales y/o de alta densidad (a diferencia de los agregados ligeros) con una trabajabilidad adecuada para el uso habitual en el lugar de construcción (a diferencia de las mezclas especiales para productos pre fabricados de concreto).

El método proporciona una primera aproximación de las dosificaciones para el diseño de mezcla, la cual serán verificadas por lotes de prueba en laboratorio o campo, según sea necesario, para así producir concreto con las características deseadas (ACI 211.1, 2002, pág. 2).

2.6.3.2. DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.

Este método de diseño de concreto se utiliza para mejorar un agregado con uno de mejor calidad de modo que el agregado combinado resulte aceptable, o para corregir las deficiencias en la gradación que pueda tener.

Este método consiste en efectuar el diseño de mezcla de concreto teniendo como principal consideración el módulo de fineza de los agregados, es un indicador de su superficie específica y que a medida que esta aumenta, se incrementa la demanda de pasta, así como se mantiene constante la pasta y se incrementa la fineza del agregado disminuye la resistencia por adherencia.

2.6.4. MEZCLADO.

“El tiempo mínimo de mezclado depende en gran parte de la eficiencia de la mezcladora, pero un tiempo de un minuto y medio se considera satisfactorio” (Castillo, 2009, pág. 223).

Todo concreto debe mezclarse hasta que se logre una distribución uniforme de los materiales. El concreto deberá ser mezclado en una mezcladora capaz de lograr una combinación total de los materiales, formando una masa uniforme dentro del tiempo especificado y descargando el concreto sin segregación.

El mezclado debe efectuarse por lo menos durante 90 segundos después de que todos los materiales estén dentro del tambor. Como se puede observar en el gráfico siguiente, tiempos de mezclado menores traen como consecuencia pérdida de resistencia del concreto y una mezcla heterogénea (SENCICO, 2014, pág. 26).

Es muy importante como se realice el carguío de los materiales a la mezcladora, este dependerá también del tipo de mezcladora que se utilizara, en esta investigación se

utilizara un trompo sin tolva, entonces se debera de realizar el siguiente procedimiento:

- Humedecer el trompo agregando el 50% del agua del diseño de mezcla.
- Colocar el 100% de agregado grueso (ignimbrita).
- Colocar el 100% de agregado fino.
- Agregar el 30% más de agua.
- Colocar el 100% del cemento (arena gruesa).
- Agregar el 20% restante del agua.
- En las mezclan que se utilicen aditivo, en el porcentaje final de agua, tomara un poco de esta y se disolvera el aditivo a incorporar, ademas de seguir la recomendación de la ficha tecnica del producto.

2.6.5. CURADO.

“El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento” (Abanto Castillo, 2009, Pág. 235).

Este procedimiento se refiere a que una vez se desencofre el elemento, se mantendrá húmedo el concreto endurecido. Para investigación se el tiempo máximo de curado será de 28 días, cuando se realizaran ensayos de compresión a los elementos de concreto, de la misma manera se realizará este ensayo a los 7 y 14 días de curado.

Un concreto sin curar o deficiente pueden disminuir su resistencia hasta un 40% menos con respecto a un concreto que ha sido curado correctamente, puede aparecer fisuras y comprometer seriamente la calidad de la estructura.

2.6.6. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.

Calidad es un proceso para alcanzar unas características que satisface el requerimiento deseado, esta calidad puede ser cualitativa o cuantitativa. Se planteó como paradigma en blindar al cliente un nivel de satisfacción más allá de lo que se pide; más recientemente, se considera calidad como la búsqueda permanente de la excelencia.

En el caso del concreto se puede alcanzar los requisitos de calidad, siempre que se cumpla rigurosamente con la calidad requerida en una de las etapas; es decir: (a) Componente individuales, (b) Procedimiento de diseño, (c) Técnicas de producción, (d) Transporte, colocación y proceso de curado y (e) Muestreo y pruebas de laboratorio.

La calidad está estrechamente relacionada con los costos, mediante el criterio costo beneficio. Esto puede ser evaluado de la siguiente manera: (1) A igualdad de precios, el de mejor calidad será el que presente mejores características con respecto a las especificaciones solicitadas; (2) A iguales características, el producto de mejor calidad será el de mejor precio (Patiño & Méndez , 2012, Pág. 60).

2.6.6.1. INDICADORES ESTADÍSTICOS.

Para un análisis estadístico es recomendable utilizar al menos 30 testigos de concreto, sin embargo, existe la posibilidad de utilizar menos de 30 datos de testigos, siempre que se considere un factor de corrección en la desviación estándar, dada a continuación por la tabla 5.3.1.2 del código ACI-318.

Tabla 7 Factor de modificación para la desviación estándar.

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra.
Menos de 15	Emplee la tabla 5.3.2.2.
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

Fuente: Comité ACI 318-05.

2.6.6.2. VARIABLES DE CONTROL PARA LA RESISTENCIA REQUERIDA.

Para los efectos del análisis estadístico, debe definirse las siguientes variables de control que se utilizan.

f'_{cr} = Resistencia promedio requerida, para asegurarse de que sólo aquella porción permisible de pruebas caerá por debajo de la resistencia específica.

f'_c = Resistencia a la compresión especificada.

S = Desviación estándar.

Para cada resistencia especificada (f'_c), se debe establecer la resistencia promedio requerida (f_{cr}), para asegurarse de que sólo aquella porción permisible de pruebas caerá por debajo de esta resistencia.

Para la presente investigación no se cuentan con datos estadísticos, ni antecedentes del diseño de concreto normal con ignimbrita, entonces según la recomendación del comité ACI-318, utilizaremos la tabla 5.3.2.2 de la norma. Descrita a continuación (ACI 318, 2005, pág. 70).

Tabla 8 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$

Fuente: Comité ACI 318-05.

De acuerdo al ACI-318R, el nivel de resistencia de una clase individual de concreto será considerado satisfactorio y pueden ser parte del análisis estadístico, si cumple con los siguientes requerimientos:

- El promedio aritmético de cualquier de tres pruebas consecutivas es igual o superior a la resistencia especificada f'_c .
- Ningún resultado individual de la prueba de resistencia (promedio de los cilindros) será menor que f'_c por más de 35 kg/cm², si f'_c es menor o igual a 350 kg/cm² o por más de 0.10 f'_c , si es mayor de 350 kg/cm².

Por otra parte, de acuerdo a los criterios del comité del ACI 214R, las variaciones en las resistencias a la compresión, pueden ser según la siguiente tabla.

Tabla 9 Evaluación de la desviación estándar.

Desviación estándar, S para la población total			Coefficiente de variación, V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad
kg/cm ²	MPa	psi	%	
Hasta 280	Hasta 2.8	Hasta 400	<3.0	Excelente
280 a 350	2.8 a 3.4	400 a 500	3.0 a 4.0	Muy bueno
350 a 420	3.4 a 4.1	500 a 600	4.0 a 5.0	Bueno
420 a 490	4.1 a 4.8	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
>490	>4.8	>700	>6	Deficiente

Fuente: Comité ACI 214R.

2.7. IMPERMEABILIDAD DEL CONCRETO.

Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectadas, el agua puede penetrar a atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad (Abanto Castillo, 2009, pág. 58).

Es importante que el concreto sea relativamente impermeable, debido a que un concreto permeable puede ser en gran medida vulnerable para que este se deteriore por agentes externos o internos, este grado de deterioro dependerá fundamentalmente de la calidad del concreto, evitando la penetración de materiales en solución que pueda afectar adversamente la durabilidad del concreto.

2.7.1. IMPORTANCIA DE LA POROSIDAD DEL CONCRETO.

Como se explicó anteriormente al momento de diseñar concreto y de realizar la mezcla, es inevitable las formaciones de varios tipos de poros, los cuales a continuación se explica cómo son consideradas en el concreto endurecido y que función cumple cada uno de ellos.

- Poros gel. El agua presente en este tipo de poro no se evaporará en el secado que eliminarían casi toda el agua de los poros mayores, se puede considera como agua químicamente combinada.
- Poros por aire atrapado. Tienen tan baja propensión a retener el agua que se pueden considerar virtualmente vacíos.
- Poros por aire incorporado. Su diámetro está entre el de los poros capilares y el de los poros gel, no retienen agua ni están interconectados, se considera como vacíos.
- Poros capilares. El contenido de agua aumenta o disminuye por humedecimiento o secado del concreto, siendo el agua más fácilmente removible por secado conforme el capilar aumenta de diámetro.

Es por eso importante que gracias a una adecuada combinación de relación agua-cemento inicial muy baja y un curado prolongado, la porosidad capilar podría reducirse al mínimo. En la practica la porosidad de la pasta es siempre superior al 28%, en un buen concreto puede variar entre 30% y 40%, con lo que la permeabilidad de tales pastas generalmente será la del gel en sí mismo (Enrique Riva, 2000, pág. 16).

En el procedo de humedecimiento de un concreto seco, la alta capilaridad de los poros muy pequeños produce una gran fuerza de impulso para el movimiento de agua, el mismo que trata de ser impedido por la baja permeabilidad del sistema adyacente compuesto por poros muy pequeños, dando como resultado que los poros menores tiendan a llenarse muy lentamente.

2.7.2. MECANISMOS DE PENETRACIÓN DEL AGUA.

Los líquidos siendo un agente externo, tienen maneras particulares de poder ingresar al concreto, de tal manera que midiendo la resistencia del concreto a la penetración de gases o líquidos se puede determinar su durabilidad. Algunas de los mecanismos son descritas a continuación.

2.7.2.1. PERMEABILIDAD.

Este mecanismo está determinado con la facilidad relativa que el concreto puede saturarse de agua, cuando este se encuentra expuesto a un gradiente de

presión. No solo es función de su porosidad, sino que depende también del tamaño, la distribución y la continuidad de los poros.

Un concreto con baja relación agua-cemento, buena gradación de los agregados, manejable y bien compactado es casi impermeable, por lo tanto, muy durable.

2.7.2.2. ABSORCIÓN CAPILAR.

La capacidad y la velocidad de succión del hormigón, y particularmente del hormigón de recubrimiento, es un parámetro asociado con la durabilidad de las estructuras de hormigón.

Para profundizar en este mecanismo de penetración de agua no basta con considerar la presencia de poros de la masa, hay que analizar también su distribución geométrica y espacial y los mecanismos de transporte de fluidos dentro del hormigón. Dos materiales con igual porosidad, pero distinta conectividad entre los poros, se comportan en forma diferente con respecto al ingreso de agentes agresivos. El concreto con poros interconectados será más susceptible a este efecto (Cristian Sakurai, 2009, pág. 141).

2.7.2.3. DIFUSIÓN.

Este proceso corresponde al transporte de iones cloruros de un lugar a otro por medio de una diferencia de un gradiente de concentración. Éste fenómeno ocurre por lo general en concretos saturados, el concreto es considerado un material anisótropo debido a sus características, por lo cual los iones cloruros penetran el material en distintas direcciones.

Se utiliza el coeficiente de difusión de cloruros como un parámetro útil para clasificar el concreto según sus propiedades de durabilidad y para predecir la vida útil. No obstante, este tema requiere métodos muy complejos para transportar los iones cloruro a través del concreto (Neyra Neyra & Santos Espinoza, 2018, pág. 12).

2.8. DURABILIDAD DEL CONCRETO ANTE LA ACCIÓN QUÍMICA.

La antelación química del concreto puede ser de carácter intrínseco o extrínseco, según se deba a la reacción de sus componentes o se origine por agentes externos.

La forma de cómo se puede presentar el ataque químico, éste se puede darse:

- En profundidad. A través de la conexión de los poros del concreto poco compacto, por los micros fisuras de contracción o los vacíos que se encuentran en concreto mal dosificado. Este tipo de ataques alteran la estructura del concreto y muchas veces es imposible corregir cuando es detectado.
 - Disolución de compuestos solubles en el agua que se propaga en el interior del concreto, como son de las aguas acidas, provoca debilitamiento de la estructura.
 - Expansión que se debe a los compuestos débilmente solubles, que se forman en el interior del concreto y que dan origen al crecimiento de cristales, que originan una presión capaz de llevar a la ruptura de la estructura. Este es el caso de los sulfatos, que dan forma a cristales expansivos como la Etringita y la Thaumasita.
- Superficial. Actúa como una forma de erosión en los concretos bien compactados. Su acción destructiva es menor y es posible tomar medidas que detengan la degradación.

2.8.1. ATAQUE DE SULFATOS EN EL CONCRETO.

Este tipo de ataque es una de las formas más frecuentes de ataque químico al concreto. El ion sulfatos, puede estar presente en mayor o menor proporción en todas las aguas subterráneas. El contenido de ion sulfato es considerable en terrenos arcillosos. De la misma manera puede estar presente en las arenas y en rocas carbonatadas de origen sedimentario. Los sulfatos más abundantes en los suelos son: sulfatos de calcio, sulfato de magnesio, de sodio y calcio, todos ellos de diferente solubilidad (Gonzales de la Cotera, 1991, pág 8).

2.8.1.1. SULFATO DE MAGNESIO.

La acción del sulfato de magnesio es la que produce un mayor daño, en cuanto actúa sobre las fases de la pasta de cemento, como son los silicatos cálcicos, mediante una serie de acciones complejas que modifican el PH de las pastas de cemento.

2.8.1.2. SULFATO DE SODIO.

La acción del sulfato de sodio, reacciona primero con el hidróxido de calcio generado durante la hidratación del cemento, formando sulfato de calcio e hidróxido de sodio. A su vez el sulfato de calcio ataca al aluminato tricálcico formando Etringita.

2.8.2. ENSAYO DE SULFATO-DURABILIDAD.

Según el Bureau of Reclamation, este ensayo analiza la inalterabilidad del testigo de concreto de sus dimensiones, primero realizando el curado húmedo por 28 días y después someter la muestra al ataque de sulfato durante 28 días, sumergida en una disolución acuosa.

La disolución acuosa significará una exposición moderada, que será de 0.2% en peso de sulfato de sodio y magnesio soluble en agua, la cual está presente en el suelo como SO_4 .

Después de transcurrido los 28 días de curado, se tomará una medida inicial a la altura del testigo de concreto, seguido de los 28 días de haber estado sumergido en la disolución de sulfato y al termino estará 24 horas expuesto al ambiente del laboratorio para su secado, se tomará la altura final del testigo de concreto. La medida final se comparará con la medida inicial y se expresará en tanto por ciento de esta. El testigo cuya expansión es del 0.2% o más, se considerará que no soportará el ataque a sulfatos sea de magnesio o de sodio.

2.9. PATOLOGÍAS EN EL CONCRETO.

Una patología es el estudio sistemático de los procesos y características de los daños que puede sufrir el concreto, sus causas, consecuencias y soluciones. Las estructuras de concreto pueden sufrir defectos o daños que alteran su estructura interna y su comportamiento.

De esta manera el ataque de ion sulfato en el concreto se produce sobre el hidróxido de calcio y fundamentalmente sobre el aluminato de calcio (C_3A) y el Ferro aluminato Tetra cálcico (C_3FA).

Estas reacciones químicas ocasionadas en el concreto se manifiestan con una exudación de apariencia blanquecina (eflorescencia), de la misma manera producen expansiones, ablandamientos, resquebrajamiento del concreto. Reduciendo considerablemente la capacidad mecánica de los elementos estructurales y su vida útil (Neyra Neyra & Santos Espinoza, 2018, pág 15).



CAPITULO III

3. METODOLOGIAS DE DISEÑO DE MEZCLA.

3.1. INTRODUCCION.

Realizar el diseño de mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse.

Para encontrar las proporciones más apropiadas, será necesario preparar varias mezclas de concreto de prueba. Las características de las mezclas de prueba indicarán los ajustes que deben hacerse en la dosificación de acuerdo con reglas empíricas determinadas. (Gerardo Rivera, 1999, pág. 169).

3.2. METODOLOGIAS DE DISEÑO.

3.2.1. DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN EL MÉTODO DE ACI 211.1.

El comité 211 de ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño bastante simple el cual, basándose en tablas preestablecidas, permite establecer valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica del concreto.

3.2.1.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A PARTIR DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.

La selección de la resistencia promedio del concreto ($f'c$) es un requisito fundamental que se indica en el proyecto estructural, o en algunas ocasiones se tiene consideraciones especiales de durabilidad debido a distintas condiciones de exposición.

Según el ACI, en la siguiente tabla nos indica la resistencia a la compresión mínima del concreto para cada tipo de concreto y cuál es el tipo de aplicación.

Tabla 10 Limites para f'_c .

Aplicación	Concreto	f'_c Mínimo, MPa	f'_c Máximo, MPa
General	Peso normal y liviano	17	Ninguno
Pórticos especiales resistentes a momentos y muros estructurales especiales	Peso normal	21	Ninguno
	Liviano	21	35 ^[1]

[1] Este límite puede ser excedido cuando la evidencia experimental demuestre que los elementos estructurales hechos con concreto liviano proporcionan una resistencia y tenacidad iguales o mayores que las de elementos comparables hechos de peso normal de la misma resistencia.

Fuente: (Comité ACI 318, 2005, pág. 333).

Para la presente investigación como se explicó anteriormente, no se cuenta con datos estadísticos previos, ni antecedentes de diseño, por ende, se utilizará la tabla 5.3.2.2. Del comité ACI-318, descrita a continuación.

Tabla 11: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$

Fuente: (Comité ACI 318, 2005, pág 70).

3.2.1.2. SELECCIÓN DEL TMN.

La norma NTP 400.037 define como “Tamaño Máximo” como aquel que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. Así mismo la norma NTP 400.037, indica que el “Tamaño máximo nominal” del agregado grueso corresponderá al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

Las normas de diseño estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que pueda ser económica disponible, siempre que él sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. Se considera que, en ningún caso, el tamaño máximo nominal del agregado grueso deberá exceder las siguientes recomendaciones.

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados.
- Un tercio del peralte de las losas.
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; tendones o ductos de pres fuerza (Rivvas Lopez, 1992, pág. 69-70).

Del análisis granulométrico realizado al agregado grueso, se podrá conocer el Tamaño Máximo Nominal.

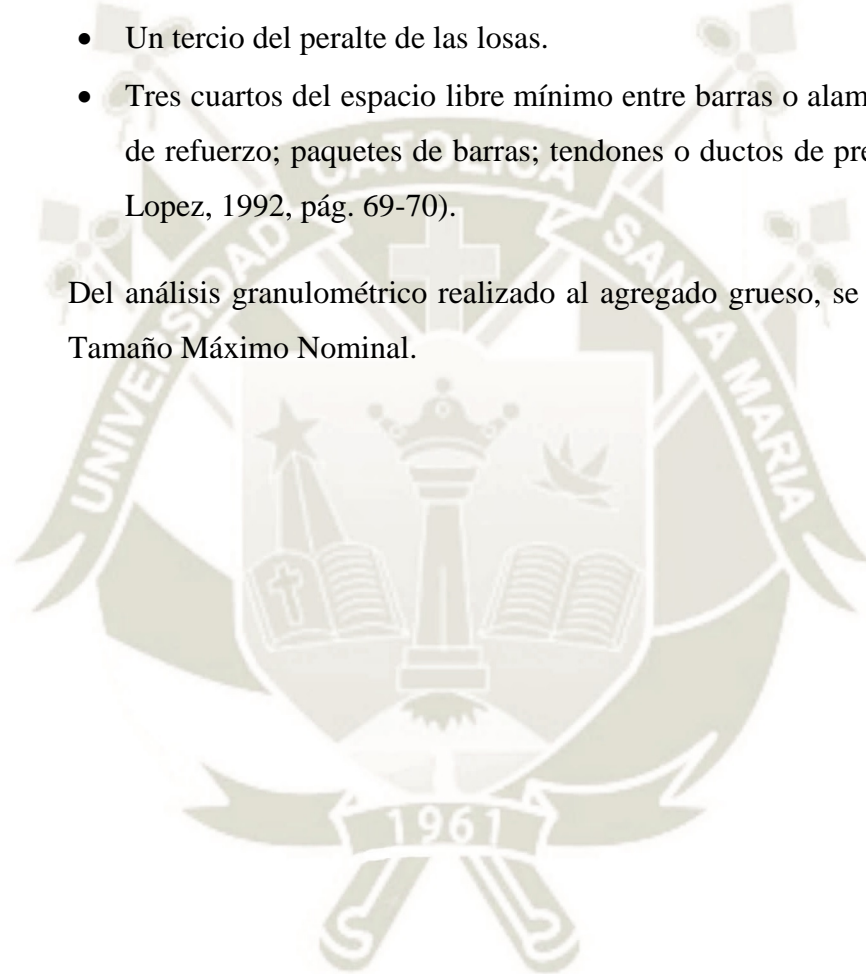


Tabla 12 : Grading Requirement for Lightweight Aggregate for Structural Concrete.

Designación de Tamaño Nominal	Porcentaje Pasante (Masa) en tamices de orificios Cuadrados									
	25.0 mm (1 in)	19.0 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	75 µm (No. 200)
Agregado fino:										
4.75 mm - 0	--	--	--	100	85-100	--	40-80	10-35	5-25	--
Agregado grueso:										
25.0 mm - 4.75 mm	95 – 100	--	25-60	0-10	--	--	--	--	--	0-10
19.0 mm - 4.75 mm	100	90-100	--	10-50	0-15	--	--	--	--	0-10
12.5 mm - 4.75 mm	--	100	90-100	40-80	0-20	0-10	--	--	--	0-10
9.5 mm - 4.75 mm	--	--	100	80-100	5-40	0-20	0-10	--	--	0-10
Combinación de agregado fino y grueso:										
12.5 mm - 0	--	100	95-100	--	50-80	--	--	5-20	2-15	0-10
9.5 mm - 0	--	--	100	90-100	65-90	35-65	--	10-25	5-15	0-10

Fuente: (ASTM Internacional, 2004).

3.2.1.3. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.

El asentamiento es el grado de consistencia del concreto en su estado fresco. Esta característica es medida en el ensayo del Cono de Abrams.

El asentamiento a utilizar en el diseño, deberá ser indicado por las especificaciones requeridas del proyecto. Si no se encontraran indicadas en las especificaciones, la selección de asentamiento se seguirá, según los siguientes criterios.

- El concreto tendrá una consistencia plástica, con un asentamiento entre 3” y 4” si la consolidación es por vibración y de 5” o menor si la consideración es por varillado.
- Se seleccionará según sea conveniente es la siguiente tabla, preparada por el comité 211 del ACI. Correspondiente a concreto consolidado por vibración (Rivvas Lopez, 1992, pág 72).

Tabla 13: Asentamiento por tipo de construcción.

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación armados	3”	1”
Cimentación simple, cajones, y subestructuras de muros.	3”	1”
Vigas y muros armados.	4”	1”
Columnas de edificación.	4”	1”
Losas y pavimentos.	3”	1”
Concreto ciclópeo.	2”	1”

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág 73).

3.2.1.4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA (Tabla).

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcladora, por unidad cúbica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está en

estado seco. Esta cantidad de agua será corregida al final del diseño por el porcentaje humedad y absorción de cada uno de los agregados.

La siguiente tabla recomendada por el comité ACI 211, nos permite seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados en estado seco, en concretos preparados con o sin aire incorporado, teniendo en cuenta en cuenta la consistencia deseada y el tamaño nominal del agregado grueso determinado (Rivvas Lopez, 1992, pág 75).

Tabla 14: Volumen Unitario de Agua.

Asentamiento	Agua en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	11
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concretos 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	197	184	174	166	154	--

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág 82).

3.2.1.5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE (Tabla).

En los concretos siempre hay un pequeño porcentaje de aire atrapado, el cual depende del aporte de los materiales, las condiciones de operación, la granulometría y tamaño máximo del agregado.

Así mismo puede incorporarse aire intencionalmente en la mezcla, entonces la suma de los volúmenes de aire atrapado más aire incorporado se denominará aire total en una mezcla dada.

La siguiente tabla dada por la norma ASTM C33, da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso adecuadamente graduado.

Tabla 15: Porcentaje de aire atrapado.

Tamaño Máximo Nominal	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%
6"	0.2%

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág 85).

De la misma manera la siguiente tabla se aprecia la cantidad de aire total cuando se presentan condiciones de exposición como suaves, moderadas y severas. Los tipos a los que podría estar expuesto el concreto sería principalmente climáticos, congelación y la exposición continuamente a la humedad y agua libre.

Tabla 16: Contenido de aire incorporado y total.

Tamaño Máximo Nominal	Contenido de aire total, en %		
	Exposición Sueva	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	6.0
1"	3.0	4.5	6.0
1 1/2"	2.5	4.5	5.5
2"	2.0	4.0	5.0
3"	1.5	3.5	4.5
6"	1.0	3.0	4.0

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág. 86).

3.2.1.6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO POR RESISTENCIA Y DURABILIDAD (Tabla).

La elección de la relación agua-cemento más adecuada, es una de las etapas fundamentales en la selección de las proporciones de una mezcla de concreto.

La relación agua-cemento requerida por una mezcla de concreto es en función de la resistencia, durabilidad y requisitos de acabado del mismo.

La siguiente tabla diseñada por el comité 211 del ACI, da las relaciones agua-cemento en peso máximas permisibles para diferentes valores de la resistencia promedio, ya sea que se trate de concretos sin o con aire incorporado. La resistencia promedio requerida, si no se encontrase los valores, se tendrá que interpolar y hallar la relación.

Tabla 17: Relación agua-cemento por resistencia.

f'_{cr} (28 días)	Relación agua-cemento de diseño 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	--

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág. 91).

En la presente investigación, como se explicó anteriormente, el concreto a diseñar será analizado su durabilidad ante la acción química por ataque de sulfato de magnesio y sulfato de sodio. El comité ACI 211, diseño unas recomendaciones para diseñar este concreto, según el nivel de exposición al que está el concreto. En la cual nos indica la relación de agua-cemento máximas con la que se debería diseñar para que el concreto resista la acción de los sulfatos.

Tabla 18: Concreto expuesto a soluciones de sulfatos.

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua, presente en el suelo como SO ₄ % en peso	Sulfato en agua, como SO ₄	Relación a/c máxima, en peso. En concretos con agregados de peso normal
Despreciable	0.00 - 0.10	-	-
Moderada	0.10 - 0.20	1I – 1P – 1PM	0.50
Severa	0.20 – 2.00	V	0.45
Muy severa	Sobre 2.00	V + puzolana	0.45

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág. 102).

3.2.1.7. DETERMINACIÓN DEL PESO DE CEMENTO EN LA MEZCLA.

Una vez conocido el volumen unitario de agua y la relación agua-cemento seleccionada, podemos hallar la cantidad de cemento por metro cubico de mezcla de concreto, se hallará de la siguiente manera.

$$W_c = \frac{W_a}{(a/c)}$$

Dónde:

- W_c = peso del cemento en kg/m³.
- W_a = volumen de agua en l/m³.
- a/c = relación de agua-cemento.

3.2.1.8. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO (Tabla).

Según el comité del ACI 211, tiene el criterio de que agregados gruesos de tamaño máximo nominal y granulometría esencialmente similares, deberán permitir obtener concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando un determinado volumen de agregado grueso, en condiciones de seco y compactado, es empleado por unidad de volumen del concreto.

Es por eso que, en la siguiente tabla elaborada, nos permite hallar un coeficiente (b/b_o), en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. Se podrá interpolar en el caso que no se halle el valor exacto en la tabla

Resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica de concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso expresado en kg/m^3 .

Tabla 19: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
	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

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág. 118).

Multiplicando el coeficiente (b/b_o), obtenido en la tabla, por el peso unitario seco varillado del agregado grueso, de acuerdo al método del ACI, se obtiene la cantidad de agregado grueso que debe emplearse en la mezcla.

$$W_{ag} = \left(\frac{b}{b_o}\right) \times (P_{scAG})$$

Dónde:

- W_{ag} = Peso del agregado grueso para la mezcla en kg/m^3 .
- b/b_o = Relación proveniente de la tabla.
- P_{scAG} = Peso seco compactado del agregado grueso en kg/m^3 .

3.2.1.9. DETERMINACIÓN DE LA SUMA DE LOS VOLÚMENES ABSOLUTOS DE CEMENTO, AGUA DE DISEÑO, AIRE Y AGREGADO GRUESO.

Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire en la mezcla, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos (V_t) de estos ingredientes en m^3 :

- Volumen de cemento: $\frac{W_c}{(P_{esc} * 1000)}$
- Volumen de agua: V_a
- Volumen de aire: $\frac{VA\%}{100}$
- Volumen del agregado grueso: $\frac{W_{gr}}{\gamma_{gr} * 1000}$

Dónde:

W_c = Peso del cemento para la mezcla por metro cubico.

V_a = Volumen de agua.

$VA\%$ = Volumen de aire de la mezcla.

W_{gr} = Peso del agregado grueso por metro cubico.

γ_{gr} = Peso específico del agregado grueso.

Al obtener la suma de volúmenes absolutos hallados, estos se tendrán que restar a un metro cubico (m^3), obteniendo el valor de volumen absoluto del agregado fino.

3.2.1.10. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

El volumen absoluto del agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

Volumen absoluto de agregado fino (V_f) = $1 \text{ m}^3 - V_t$

Peso del agregado fino seco = $V_f \times \gamma_f \times 1000$

3.2.1.11. CORRECCIONES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN.

Las cantidades de agregado que deben ser pesadas para preparar el concreto deberán considerar la humedad de aquel. El agua de mezclado incorporada a la mezcladora deberá ser algebraicamente reducida en un volumen igual a la humedad superficial o humedad libre aportada por los agregados, considerando el contenido de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

Los valores con el que se realizará la corrección de la dosificación deberán ser definidos.

- Absorción (%ABS). Es la capacidad del agregado por la cual es la cantidad de agua que se necesita para pasar del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Normalmente se expresa en porcentaje.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100 (W_{SSS} - W_s)}{W_s}$$

Dónde:

W_{SSS} = Peso del agregado al estado saturado superficialmente seco.

W_s = Peso del agregado al estado seco.

- Contenido de humedad (%CH). Es la cantidad total de agua que él tiene y se determina por la diferencia entre su peso y su peso seco.

$$\% \text{ CH} = \frac{100 (W_h - W_s)}{W_s}$$

Dónde:

W_h = Peso del agregado húmedo.

W_s = Peso del agregado al estado seco.

- Humedad superficial. Esta dada por la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción. En el caso que la diferencia sea positiva

el agregado aportará agua a la mezcla y dicha cantidad debe ser disminuida del agua de diseño; en caso que la diferencia sea negativa, el agregado absorberá agua de la mezcla para llegar al estado de saturado superficialmente seco, debiendo adicionarse dicha cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

Conociendo estas propiedades físicas del agregado podremos realizar la corrección de la cantidad de agua en la mezcla, el procedimiento se explica a continuación.

- Peso húmedo del agregado.

Se hallará de cada agregado y serán igual al respectivo peso seco de cada uno multiplicado por la unidad más el contenido de humedad expresado en forma decimal.

$$W_{gr \text{ húmedo}} = W_{gr \text{ seco}} * \left(1 + \frac{\%CH}{100} \right)$$

Dónde:

$W_{gr \text{ húmedo}}$ = Peso húmedo de los agregados.

$W_{gr \text{ seco}}$ = Peso seco de los agregados

$\%CH$ = Contenido de humedad del agregado.

- Humedad superficial del agregado ($\%HSA$).

Para hallar este valor se deberá de excluir el valor de la absorción, debido a que este no forma parte del agua de mezclado.

$$\%HSA = \%CH - \%ABS$$

Dónde:

$\%HSA$ = Porcentaje humedad superficial del agregado.

$\%CH$ = Porcentaje de contenido de humedad del agregado.

$\%ABS$ = Porcentaje de absorción del agregado.

- Aporte de humedad del agregado.

Después de hallar la humedad superficial de los agregados, se puede el aporte de cada uno de los agregados al agua de la mezcla. Para ello se multiplicará el

peso seco del agregado por la humedad superficial de cada uno del mismo y expresado en fracción decimal.

$$\text{Aporte de humedad} = W_{\text{gr seco}} * \%HSA$$

Dónde:

$W_{\text{gr seco}}$...Peso del agregado seco.

$\%HSA$...Porcentaje de humedad superficial del agregado.

Como el agregado aporta agua a la mezcla, dicha cantidad deberá ser disminuida del agua de diseño para determinar el agua efectiva, o si este valor sale negativo, tendrá que ser incorporada a la mezcla para no modificar la relación agua-cemento (Rivvas Lopez, 1992, págs. 123-125).

3.2.1.12.RELACIÓN EN FUNCIÓN AL CEMENTO.

Después de realizar la corrección por humedad y absorción de los agregados, tendremos el peso de los materiales por metro cubico de concreto, a ser empleados en las mezclas.

Para obtener la relación, se deberá de dividir el peso de cada uno de los materiales entre el peso del cemento, así teniendo estas relaciones se podrá obtener la dosificación para cantidades de concretos menores a 1 metro cubico.

3.2.2. DISEÑO DE MEZCLA SEGÚN EL MÉTODO DE COMBINACION DE AGREGADOS.

Stanton Walker, conjuntamente con el grupo de investigación del Laboratorio de Concreto de la Universidad de Maryland, formularon un procedimiento de selección de las proporciones de las unidades cúbicas de concreto en el cual los porcentajes de agregado fino y grueso se modifican en función de sus propios módulos de fineza, medida indirecta de sus granulometrías y superficies específicas, a partir de la determinación del módulo de fineza de la mejor combinación de agregados para las condiciones planteadas por las especificaciones de obra.

En el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, los contenidos de agregados fino y grueso varían para las diferentes resistencias, siendo esta variación

función, principalmente, de la relación agua-cemento y del contenido total de agua, expresados a través del contenido de cemento de la mezcla. (Rivvas Lopez, 1992, pág. 159)

3.2.2.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A PARTIR DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.

Para seleccionar la resistencia promedio por el método de la combinación de agregados se realiza con el mismo criterio descrito en la sección 3.2.1.1. de la presente investigación. Como se explicó anteriormente no se cuenta con valores estadísticos, entonces se tomará la recomendación de la tabla 5.3.2.2. Del comité ACI-318.

3.2.2.2. SELECCIÓN DEL TMN.

Para la selección de Tamaño Máximo Nominal por este método de diseño de concreto se realizará el análisis granulométrico del agregado, de manera similar al descrito anteriormente en la sección 3.2.1.2. de la presente investigación. Se selecciona como “tamaño máximo nominal” del agregado grueso que correspondería a la malla que produce el primer retenido.

3.2.2.3. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.

Para la selección de asentamiento se tiene que saber la consistencia que queremos que tenga el concreto no endurecido que define el grado de humedad de la mezcla. De acuerdo a su consistencia, las mezclas de concreto se clasifican en:

- Mezclas secas aquellas cuyo asentamiento está entre cero y dos pulgadas.
- Mezclas plásticas aquellas cuyo asentamiento está entre tres y cuatro pulgadas.
- Mezclas fluidas aquellas cuyo asentamiento está entre cinco o más pulgadas.

De esa manera como se explicó anteriormente se tendrá que indicar las especificaciones requeridas. Si no se indicasen se tendrá que seguir los criterios descritos anteriormente en la sección 3.2.1.3. y utilizar la tabla N°11, para

seleccionar según el tipo de construcción el asentamiento máximo y mínimo para el cual se diseñara el concreto (Rivvas Lopez, 1992, pág. 71).

3.2.2.4. SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA (Tabla).

Para hallar la cantidad de agua en el diseño de mezcla por el método de combinación de agregados, utilizaremos la tabla propuesta por el comité del ACI, tabla N°12, de la presente investigación. Como se describió anteriormente se tendrá que seleccionar el volumen, según su Tamaño Máximo Nominal, asentamiento y si la mezcla de concreto es con o sin aire incorporado.

3.2.2.5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE (Tablas).

Se hallará el volumen de aire atrapado en la mezcla de concreto, según la tabla N°13 de la presente investigación, utilizando el valor del Tamaño Máximo Nominal de agregado grueso.

3.2.2.6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO POR RESISTENCIA Y DURABILIDAD (Tabla).

Debido a que el concreto diseñado por este método del módulo de finura de la combinación de agregados, también se realizará el ensayo de ataque de sulfatos, entonces se tendrán que tomar las mismas consideraciones de la sección 3.2.1.6. De la presente investigación.

Se tendrá que seleccionar la relación agua-cemento por durabilidad, utilizando la tabla N°16 recomendada por el comité del ACI 211. Así mismo se tendrá que seleccionar la máxima relación agua-cemento que indica la tabla para una exposición a sulfatos moderado.

3.2.2.7. DETERMINACIÓN DEL PESO DE CEMENTO EN LA MEZCLA.

Como se explico anteriormente en la seccion 3.2.1.7. una vez conocido el valor del volumen unitario de agua y la relacion agua-cemento seleccionada, dividiendo estos factores podremos hallar la cantidad de cemento por metro cubico de mezcla de concreto.

$$W_c = \frac{W_a}{(a/c)}$$

Dónde:

- W_c = Peso del cemento en kg/m^3 .
- W_a = Volumen de agua en l/m^3 .
- a/c = Relación de agua-cemento.

3.2.2.8. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES ABSOLUTOS DE LOS ELEMENTOS INTEGRANTES DE LA PASTA.

A partir de esta seccion la manera de hallar las dosificaciones del diseño de concreto por el método del módulo de fineza de la combinacion de agregados es diferente a la planteada por el metodo del ACI 211.1, debido a que varia la manera de hallar los volúmenes absolutos de los elementos integrantes de la pasta.

Con los pasos anteriores se pudo conocer el peso cemento, agua y volumen de aire en la mezcla, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos (V_t) de cada uno de estos elementos en m^3 , luego estos tendran que ser sumados:

- Volumen de cemento: $\frac{W_c}{(P_{esc} * 1000)}$
- Volumen de agua: W_a
- Volumen de aire: $\frac{VA\%}{100}$

Dónde:

W_c = Peso del cemento para la mezcla por metro cubico.

W_a = Volumen de agua.

%VA = Volumen de aire de la mezcla.

Despues de hallar los valores del volumen de estos elementos, se puede hallar el volumen total.

$$V_t = V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire}}$$

3.2.2.9. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS.

El valor de la suma de volúmenes absolutos de estos elementos de la pasta (V_t), tendrán que ser restados a un metro cubico de la mezcla de concreto (m^3), de manera que nos quedará el volumen absolutos de los agregados (V_{abs}).

$$V_{\text{abs}} = \text{Volumen absoluto del agregado} = 1 - V_t$$

3.2.2.10. CÁLCULO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS.

Para hallar el modulo de fineza de la combinacion de agregados (m), primero se tendra que hallar el factor cemento de la mezcla, esto representa la cantidad de bolsas de cemento que se utilizaran por metro cubico de concreto, para hallar este valor se tendra que dividir el peso del cemento (W_c) determinado en la seccion, 3.2.2.7 de la presente investigacion y entre el peso de la bolsa de cemento que es de 42.5 kg.

$$\text{Factor cemento} = \frac{W_c}{42.5 \text{ kg}}$$

Una vez hallado el valor del factor cemento, junto con el valor del Tamaño Maximo Nominal, si el valor de la cantidad de bolsas de cemento es en freccion,

este se tendra que interpolar. Hallaremos el valor del modulo de la combinacion de agregados en la siguiente tabla.

Tabla 20: Modulo de fineza de la combinación de agregados.

TMN Del Agregado Grueso	Modulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los cementos en sacos/m ³ indicados.			
	6	7	8	9
3/4"	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 1/2"	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

Fuente: (Rivvas Lopez, 1992, pág. 121).

3.2.2.11. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS DEL AGREGADO.

Este metodo de diseño de mezcla, tiene la premisa de que el módulo de fineza del agregado, fino o grueso, es un índice de su superficie específica y que en la medida que esta aumenta se incrementa la demanda de pasta, así como que si se mantiene constante la pasta y se incrementa la fineza del agregado disminuye la resistencia por adherencia (Rivvas Lopez, 1992, pág. 160).

Una vez conocido el valor del módulo de la combinación de agregados, podremos utilizar la siguiente formula, que nos permite hallar el porcentaje de agregados fino y grueso presente en el diseño.

$$r_f = \frac{M_{f_{gr}} - m}{M_{f_{gr}} - M_{f_f}} \times 100$$

Para hallar el porcentaje del agregado grueso presente en la mezcla, se usara la siguiente relación.

$$r_{gr} = (1 - r_f) \times 100$$

Donde:

r_f = Porcentaje absoluto de agregado fino en la mezcla.

r_{gr} = Porcentaje absoluto de agregado grueso en la mezcla.

Mf_f = Modulo de fineza del agregado fino.

Mf_{gr} = Modulo de fineza del agregado grueso.

m = Modulo de fineza de la combinacion de agregados.

Despues de hallar los porcentajes de cada uno de los agregados presentes en la mezcla, se tendra que hallar el volumen de de cada uno de los agregados, utilizando las siguientes relaciones.

$$V_{gr} = V_{abs} \times r_{gr}$$

$$V_f = V_{abs} \times r_f$$

Donde:

V_{gr} = Volumen del agregado grueso.

V_f = Volumen del agregado fino.

V_{abs} = Volumen absolutos de los agregados (Sección 3.2.2.9.).

Entonces despues de hallar los volúmenes de los agregados presentes en la mezcla, se tendra que hallar los pesos secos de los agregados, para obtener estos valores, se tendra que realizar el siguiente procedimiento.

$$W_{gr} = V_{gr} \times \gamma_{gr} \times 1000$$

$$W_f = V_f \times \gamma_f \times 1000$$

Realizando satisfactoriamente todo el procedimiento explicado anteriormente del diseño de concreto por el método de combinación de agregados, nos permitirá obtener la cantidad de materiales por metro cúbico de concreto.

3.2.2.12. CORRECCIONES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN.

Una vez obtenido los valores de las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto, se tendrá que realizar la corrección por porcentaje de humedad y absorción de cada uno de los agregados.

Primeramente se tendrá que realizar los ensayos para conocer el valor del porcentaje de absorción y humedad de los agregados con los cuales estamos realizando el diseño de mezcla. Seguidamente se tendrá que hallar el peso húmedo de los agregados y su humedad superficial, con estos valores se podrá hallar el aporte de humedad de los agregados a la mezcla y corregir el agua efectiva.

Este procedimiento se encuentra explicado detalladamente en la sección 3.2.1.11. de la presente investigación y obtendremos los valores de las proporciones corregidas por metro cúbico.

3.2.2.13. RELACIÓN EN FUNCIÓN DEL CEMENTO.

Para obtener las proporciones de los materiales para realizar la mezcla de concreto, como se explicó anteriormente, se tendrá que dividir cada uno de los pesos de los materiales entre el peso del cemento.

También se puede obtener la tanda de los materiales por un saco de cemento, para obtener estos valores, multiplicaremos la proporción del cemento, agregado grueso y agregado fino por el peso de una bolsa de cemento (42.5 kg) y para hallar la relación del agua, tendremos que dividir la cantidad de agua efectiva entre la cantidad de bolsas de cemento por metro cúbico obtenida en la sección 3.2.2.10 de la presente investigación.

De esta manera se obtiene la cantidad de materiales por tanda de un saco de cemento.

CAPITULO IV

4. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y DISEÑO DE MEZCLA.

Es muy importante elegir el agregado grueso y fino de buena calidad para realizar cualquier investigación sobre diseño de mezclas de concreto, debido a que este material representa un porcentaje importante de alrededor del 65% al 80% en el volumen de la unidad cúbica de concreto, así mismo desempeña un papel importante en el comportamiento en las propiedades del concreto.

Las características físicas, mecánicas y químicas de los agregados tienen un efecto importante no sólo en el acabado y calidad final del concreto; sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios de volumen y peso unitario del concreto endurecido.

Gracias a los estudios y experimentación a lo largo de los años, se ha podido conocer a detalle los efectos de los agregados en el diseño de concreto, además se han desarrollado ensayos en laboratorio para poder conocer sus características de los agregados y cuáles deberían ser las características ideales para obtener concretos durables y de alta calidad.

En esta sección de la investigación se explica la experimentación profunda y detallada que se realizó para poder conocer las características de los agregados que se utilizaran en el diseño del concreto y cuáles pueden ser los efectos que estos produzcan; así mismo se hacen frecuentes referencias a las Normas Técnicas Peruanas (NTP), así como de las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM); en las cuales se describen el procedimientos de los ensayos y cuáles deberían ser los valores aceptables.

4.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO.

Según la norma ASTM C33, el agregado grueso se define como el material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N°4) y que cumpla con los límites establecidos.

Entre las principales características de los agregados gruesos estos pueden ser según su origen natural, artificial, concreto triturado o una combinación de estos. Así mismo el agregado presentara algún tipo de perfil que puede ser angular o redondeado, con características físicas deseables como limpias, duras, compactas, resistentes, de textura superficial rugosa y libre de material escamoso o partículas blandas.

El agregado grueso son residuos de roca ignimbrita proveniente de la producción de bloques de sillar que fueron recolectados en la cantera de Añashuayco, estos fueron sometidos a ensayos en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María, para poder conocer sus propiedades físicas, con estos valores se pudo realizar el diseño de concreto por cada uno de los métodos planteados. El procedimiento y resultados de los ensayos realizados se detallan a continuación.

4.1.1. CLASIFICACION DEL AGREGADO GRUESO.

Es importante conocer este tipo de propiedades, ya que estos describen la originalidad del agregado y se pueda conocer algunas características del agregado que no se ve a simple vista.

4.1.1.1. TIPO DE ROCA.

El agregado grueso seleccionado como se describió anteriormente es de origen volcánico conocido como ignimbrita, por ende, es una roca ígnea y por la manera en que se produjo la erupción que salió a la superficie es de clase extrusivas, aquellas que han salido a la superficie y se han enfriado lenta o violentamente en ella, generalmente las rocas ígneas pueden ser utilizados como agregado en el diseño de concreto, pero se tiene que realizar una adecuada experimentación y análisis de resultados.

4.1.1.2. INTEGRIDAD FISICA.

La roca ignimbrita puede aparentar solidez, pero presenta micro fisuras, por el proceso de trituración que se genera al momento de abatimiento que producen los labradores en las canteras, así mismo por el tallado de los bloques de sillar. Estas grietas pueden incrementar la porosidad y absorción, disminuyendo la resistencia y durabilidad del agregado.

4.1.1.3. TEXTURA SUPERFICIAL.

La importancia de esta propiedad está en que define la capacidad de adherencia de este con la pasta, este dependerá de la dureza, tamaño del grano y características porosas del material original, el agregado de ignimbrita presenta una textura rugosa, que no contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles.

4.1.1.4. PERFIL.

El perfil de las partículas depende principalmente de la presencia y espaciamiento de los planos de separación y clivaje. El agregado grueso de ignimbrita es de perfil angular, los agregados con este tipo de perfil deberán requerir una mayor cantidad de agua y contenido de agregado fino para proporcionar la trabajabilidad necesaria. Los métodos utilizados en la presente investigación, no toma en cuenta esta característica del agregado.

4.1.2. GRANULOMETRÍA.

Como esta descrito anteriormente en la presente investigación, esta característica del agregado nos permite conocer las dimensiones de las partículas, además que es muy importante para el diseño de concreto, permiten seleccionar la cantidad de agua presente en cada metro cubico de mezcla, así como la cantidad de aire atrapado, según los métodos de diseño del ACI 211.1 y de la combinación de agregado, utilizados en la presente investigación.

La norma NTP 400.012, “Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”. Indica una cantidad mínima de material según su tamaño máximo nominal para realizar el ensayo, este será repetido un número de 3 veces a la muestra de ignimbrita extraída de la cantera de sillar de Añashuayco, utilizando la siguiente tabla:

Tabla 21 Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.

Tamaño Máximo Nominal Aberturas 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)

Fuente: (INDECOPI, 2001, pág. 5).

Las rumas de residuos de roca ignimbrita en la cantera de Añashuayco, presentan una gran variedad de tamaños de partículas, al momento de la extracción se evitará obtener piedras muy grandes, debido a que estos no pueden ser utilizados para el diseño de concreto.

Debido a esto se decidió realizar el ensayo de granulometría con una cantidad de muestra de 5 kg, los resultados del ensayo demostraron que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 1".

Para el ensayo de granulometría de agregado grueso se debe escoger las mallas a utilizar según lo indica en la tabla de la norma ASTM, utilizando las mallas indicadas para la distribución de agregados por el rango, 1" a 3/8" (25.0 mm a 9.5 mm), utilizando las mallas: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4 y fondo.

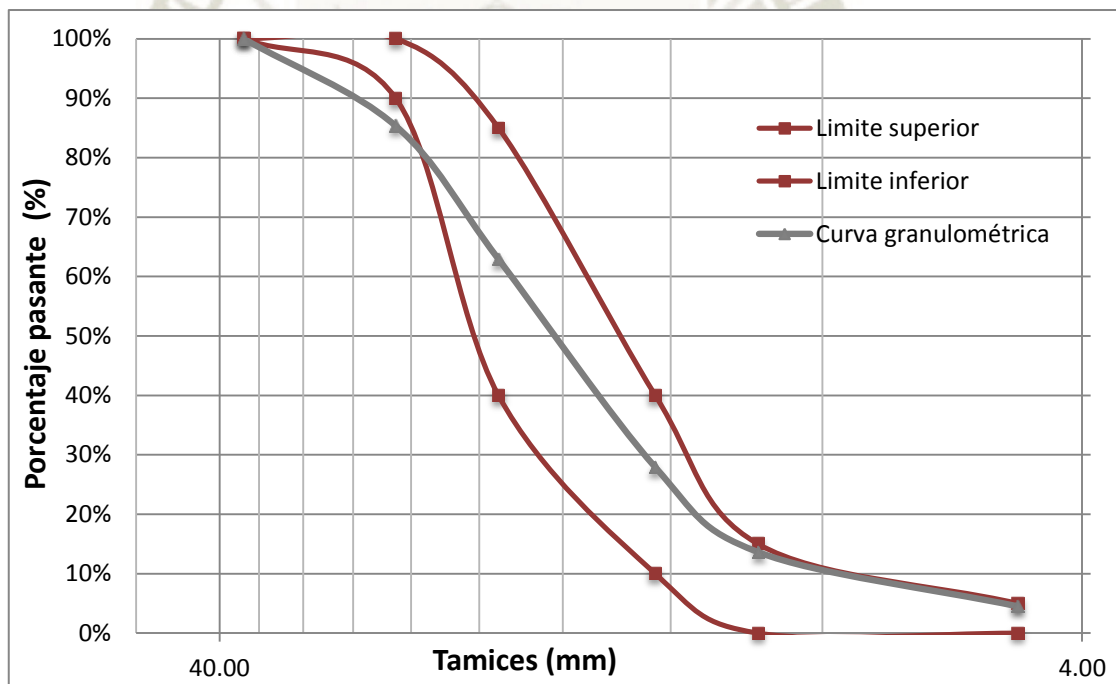
A continuación, se muestra los resultados de los ensayos de granulometría al agregado grueso de roca ignimbrita.

Tabla 22 Muestra 1 - Granulometría agregado grueso.

Malla	Malla (mm)	Peso (g)	Peso Corregido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1"	25.0	723	733.08	14.66 %	14.66 %	85.34 %
3/4"	19	1110.5	1120.58	22.41 %	37.07 %	62.93 %
1/2"	12.5	1741	1751.08	35.02 %	72.10 %	27.91 %
3/8"	9.5	703	713.08	14.26 %	86.36 %	13.64 %
N°4	4.75	446.5	456.58	9.13 %	95.49 %	4.51 %
Fondo	-	215.5	225.58	4.51 %	100.00 %	0 %
		4939.5	5000	100.00 %		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 3 Muestra 1 - Curva granulométrica agregado grueso.



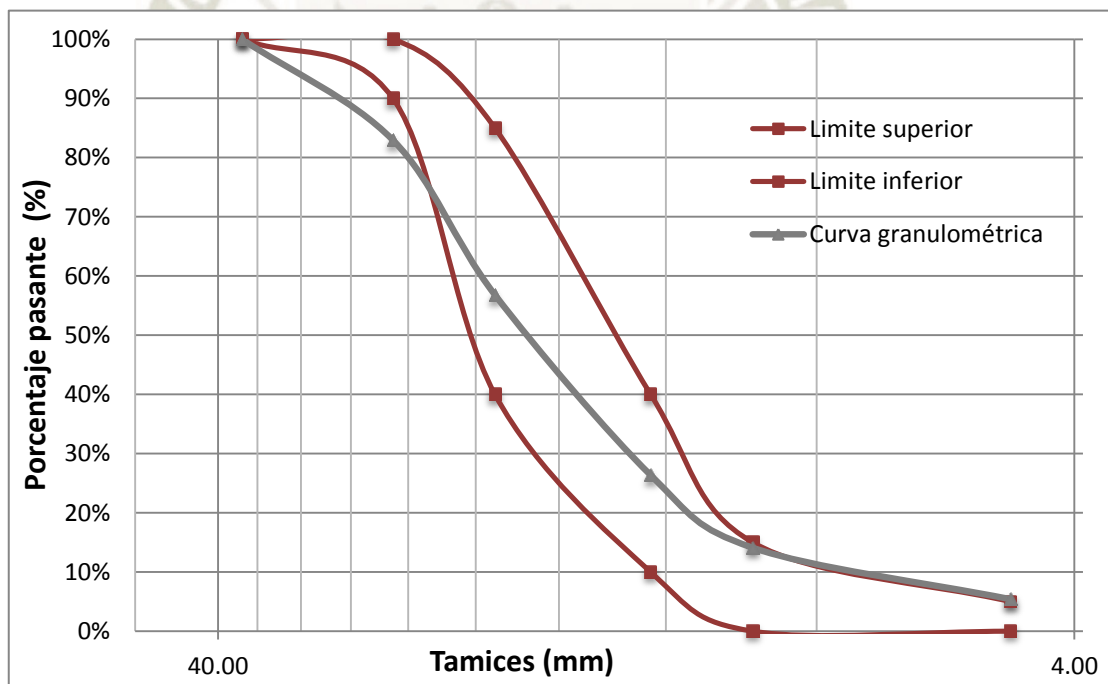
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Muestra 2 - Granulometría agregado grueso.

Malla	Malla (mm)	Peso (g)	Peso Corregido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1"	25.0	848.5	852.00	17.04 %	17.04 %	82.96 %
3/4"	19	1304	1307.50	26.15 %	43.19 %	56.81 %
1/2"	12.5	1519	1522.50	30.45 %	73.64 %	26.36%
3/8"	9.5	609.5	613.00	12.26 %	85.90 %	14.10 %
N°4	4.75	431.5	435.00	8.70 %	94.60 %	5.40 %
Fondo	-	266.5	270.00	5.40 %	100.00 %	0 %
		4979 g	5000 g	100.00 %		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 4 Muestra 2 - Curva granulométrica agregado grueso.



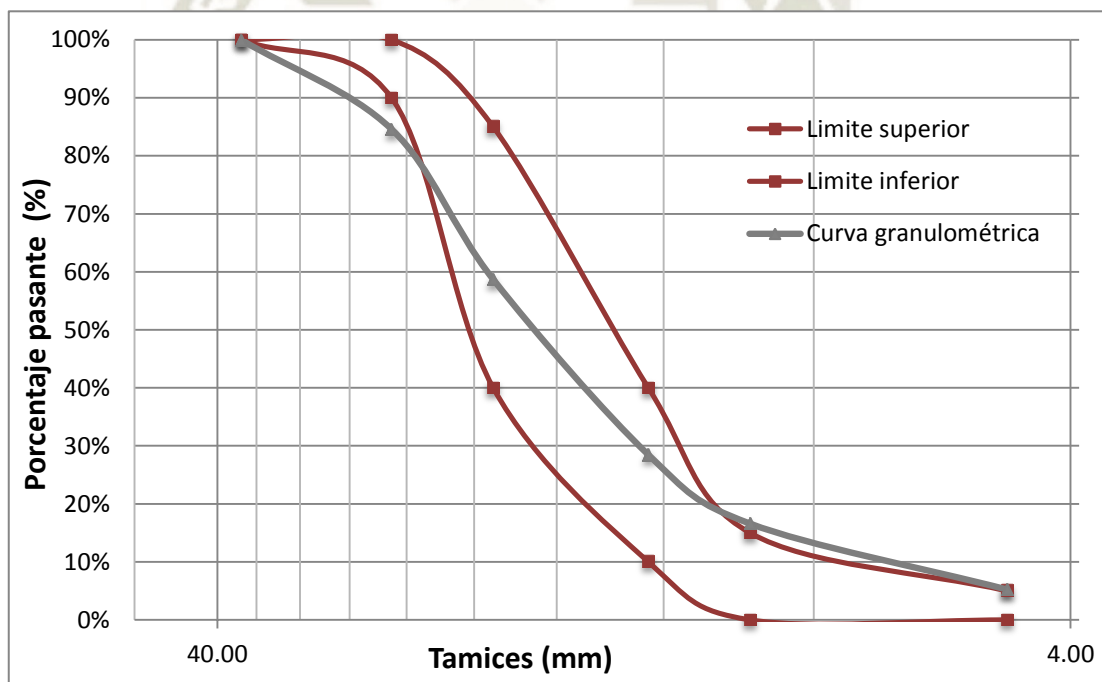
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Muestra 3 - Granulometría agregado grueso.

Malla	Malla (mm)	Peso (g)	Peso Corregido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1"	25.0	764	769.92	15.40 %	15.40 %	84.60 %
3/4"	19	1289	1294.92	25.90 %	41.30 %	58.70 %
1/2"	12.5	1506	1511.92	30.24 %	71.54 %	28.47 %
3/8"	9.5	588	593.92	11.88 %	83.41 %	16.59 %
N°4	4.75	561.5	567.42	11.35 %	94.76 %	5.24 %
Fondo	-	256	261.92	5.24 %	100.00 %	0 %
		4964.5 g	5000 g	100.00 %		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 5 Muestra 3 - Curva granulométrica agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. MÓDULO DE FINURA (MF).

Este valor no representa la distribución de las partículas, sino representa un tamaño ponderado de las partículas del agregado. Para hallar el módulo de fineza del agregado de ignimbrita, se realiza a partir de los valores obtenidos del porcentaje retenido

acumulado del ensayo de granulometría. Las cuales se tienen que sumar de las siguientes mallas a continuación.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado (1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8)}}{100}$$

Para el diseño de concreto el rango ideal del módulo de fineza del agregado grueso es 7.3 a 8.9. A continuación se muestra los valores obtenidos del agregado de ignimbrita, según los valores de cada ensayo obtenido en el apéndice anterior de análisis granulométrico del agregado grueso.

- **Muestra 1.**

$$MF = \frac{(0 + 37.07 + 86.36 + 95.49 + 0) + 5(100)}{100} = 7.19$$

- **Muestra 2.**

$$MF = \frac{(0 + 43.19 + 85.90 + 94.60 + 0) + 5(100)}{100} = 7.24$$

- **Muestra 3.**

$$MF = \frac{(0 + 41.30 + 83.41 + 94.76 + 0) + 5(100)}{100} = 7.19$$

4.1.4. CANTIDAD DE FINOS (%CF).

Estas partículas se consideran como un elemento contaminante de los agregados que actúan sobre el concreto reduciendo su resistencia, modificando su durabilidad y dañando la apariencia externa. Es normal que se presente un grado de contaminación, pero la norma determina el porcentaje máximo admisible. Según la norma ASTM C33, en caso del agregado grueso se puede aceptar un valor máximo del 1%, excepto en el caso de agregados triturados en los que si el fino es polvo de roca se acepta hasta un máximo del 1.5%.

Para hallar cantidad de finos, se deberá sumergir el agregado grueso de roca ignimbrita en agua para que las partículas pequeñas se suspendan. Luego se verterá el agua contenida a través del tamiz N°16, regresando a la muestra las partículas que queden retenidas en la malla, repetir este procedimiento hasta que la muestra no contenga más partículas finas. Finalmente se colocará la muestra al horno.

La pérdida de masa de la muestra original, será la cantidad de finos del agregado grueso de roca ignimbrita. Calculándose de la siguiente manera.

$$\%CF = \frac{W_o - W_l}{W_o} \times 100$$

Donde.

W_o = Peso de la muestra original.

W_l = Peso de la muestra lavada.

Según la norma ASTM C 33, indica que para un agregado de TMN de 1”, el tamaño de la muestra a ensayar será de 2500g. El agregado grueso de roca ignimbrita seleccionado presentó el siguiente porcentaje de partículas finas.

Tabla 25 Porcentaje de cantidad de finos del agregado grueso.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso inicial seco (g)	2500.0	2500	2500
Peso lavado seco (g)	2484.0	2481.0	2482.5
Cantidad de finos (%)	0.64 %	0.76 %	0.7 %

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. PESO ESPECÍFICO.

Para conocer esta propiedad física del agregado grueso, el ensayo está descrito en la norma NTP 400.021 “Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso”. Aplicando dicha norma también se puede hallar encontrar los valores de peso específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, así mismo el peso específico aparente.

De acuerdo a la mencionada norma, este ensayo no debería ser aplicable al agregado de roca ignimbrita, debido a que este al ser ligero no se asegura que los poros se llenen completamente de agua después de 24 horas inmersión, siendo esto un requisito necesario para poder aplicar el ensayo. Pero a su vez no existe ninguna norma técnica

peruana que indique la manera como se debería de aplicar este ensayo al agregado ligero de roca ignimbrita, de ese modo se prosiguió con realiza el procedimiento del ensayo.

La norma NTP 400.021 nos indica el peso mínimo de la muestra para realizar el ensayo según el tamaño máximo nominal del agregado de roca ignimbrita, lo cual es de 1", por lo tanto, corresponde una muestra de mínima de 4kg.

Tabla 26 Peso mínimo de la muestra de ensayo.

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 1/2")	5 (11)
50 (2")	8 (18)
63 (2 1/2")	12 (26)
75 (3")	18 (40)
90 (3 1/2")	25 (55)
100 (4")	40 (88)
112 (4 1/2")	50 (110)
125 (5")	75 (165)
150 (6")	125 (276)

Fuente: (INDECOPI, 2002, pág. 9).

De acuerdo al procedimiento del ensayo, nuestra muestra de roca ignimbrita primero se tiene que tamizar a través de la malla N°4 y lavar el agregado para descartar los materiales finos, después hacerlo secar y que este a temperatura ambiente.

Después que se obtenido la muestra ideal para realizar el ensayo, éste tiene que sumergido en agua por lo menos 24 horas, para que el agua pueda saturar completamente el agregado. Después de haber transcurrido ese tiempo, se tendrá que secar la superficie del agregado grueso con ayuda de una tela absorbente y el agregado estará saturado superficialmente seco, registrando el peso en este estado.

Seguidamente para obtener el peso específico, se tendrá que colocar la muestra en estado superficialmente seco en la canastilla y sumergirla, registrando este peso.

Finalmente se dejará la muestra a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en el horno y dejarlo seca, para obtener el peso en este estado.

Se halló los valores de estas propiedades del agregado grueso de la siguiente manera.

- Peso específico de masa. (Pe_m)

$$Pe_m = \frac{A}{(B - C)}$$

- Peso específico aparente. (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{A}{(A - C)}$$

- Peso específico de masa saturada con superficie seca. (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - C)}$$

Donde.

A = Peso de la muestra seca, gramos.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca, gramos.

C = Peso de la muestra sumergida, gramos.

Siguiendo el procedimiento y el cálculo descrito, se obtuvieron los siguientes resultados de la roca ignimbrita.

Tabla 27 Ensayo de peso específico del agregado grueso.

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso seco (g)	A	3023.0	3031.0	3002.0
Peso saturado superficialmente seca (g)	B	4000.0	4000.0	4000.0
Peso sumergido (g)	C	1704.0	1713.0	1720.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28 Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso específico de masa (Pe_m)	$1.317 \frac{g}{cm^3}$	$1.325 \frac{g}{cm^3}$	$1.317 \frac{g}{cm^3}$
Peso específico de masa SSS (Pe_{SSS})	$1.742 \frac{g}{cm^3}$	$1.749 \frac{g}{cm^3}$	$1.754 \frac{g}{cm^3}$
Peso específico aparente (Pe_a)	$2.292 \frac{g}{cm^3}$	$2.299 \frac{g}{cm^3}$	$2.342 \frac{g}{cm^3}$

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. PESO SOLIDO.

Se define como peso solido de un agregado al producto de su gravedad específica por la densidad de agua. En la práctica se considera que el peso sólido es aquel que tendría el material si se pudiera eliminar totalmente los vacíos internos (Rivva E, 2000, pág 156).

Utilizando los valores hallados anterioremetne, se pudo hallar los siguientes valores de peso solido del agregado grueso de roca ignimbrita

- **Muestra 1.**

$$\text{Peso solido} = 1.317 \times 1000 = 1317 \text{ kg/m}^3$$

- **Muestra 2.**

$$\text{Peso solido} = 1.325 \times 1000 = 1325 \text{ kg/m}^3$$

- **Muestra 3.**

$$\text{Peso solido} = 1.317 \times 1000 = 1317 \text{ kg/m}^3$$

4.1.7. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.

Para hallar el valor de esta propiedad física de la roca ignimbrita se obtuvo de los resultados del ensayo descrito en la norma NTP 400.021, “Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso”, en el procedimiento descrito del ensayo de peso específico en el apéndice 4.1.5. La muestra

de roca ignimbrita después de estar sumergida en agua por al menos 24 horas para que se saturen los poros y haber hallado el peso sumergido, cada una de las muestras se tendrá que secar al horno y registrar este peso. Para hallar el porcentaje de absorción se tendrá que realizar el siguiente procedimiento.

$$A_b(\%) = \frac{W_{SSS} - W_0}{W_0} \times 100$$

Donde.

W_{SSS} = Masa superficialmente seca, gramos.

W_0 = Masa seca del horno, gramos.

Según los resultados obtenidos de las muestras del ensayo de peso específico realizados anteriormente, los valores obtenidos del porcentaje de absorción de la roca ignimbrita son los siguientes.

Tabla 29 Porcentaje de absorción del agregado grueso.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Masa superficialmente seca (g)	4000.0	4000.0	4000.0
Masa seca (g)	3023.0	3031.0	3002.0
Porcentaje de humedad (%)	32.32%	31.97%	33.24%

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO.

La descripción de esta propiedad física del agregado y el procedimiento de ensayo, se encuentra explicada en la norma NTP 400.017 “Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado”, se define peso unitario como la masa de un volumen unitario de agregado, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre las partículas.

Esta propiedad consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado y el volumen que éste ocupa.

El concepto de peso unitario suelto es importante cuando se trata del manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que durante estas actividades el agregado se encuentra en estado suelto.

El peso unitario compactado es cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando el grado de acomodamiento de las partículas de los agregados y el valor de la masa unitaria. Es importante para el diseño de mezclas debido a que se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estas van a estar sometidos a una compactación durante el proceso y colocación del hormigón.

La NTP 400.017, nos indica según el tamaño máximo nominal del agregado grueso de ignimbrita, se tendrá que elegir el tamaño del recipiente en el que se tendrá que realizar el ensayo.

Tabla 30 Capacidad de la medida del molde.

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad de la medida	
mm	Pulgadas	l (m ³)	p ³
12.5	½"	2.8 (0.0028)	1/10
25.0	1"	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 ½"	14.0 (0.014)	½
75.0	3"	28.0 (0.028)	1
112.0	4 ½"	70.0 (0.070)	2 ½
150.0	6"	100.0 (0.100)	3 1/2

Fuente: (INDECOPI, 1999, pág. 8)

Según el tamaño nominal del agregado de ignimbrita de 1", el tamaño del recipiente utilizado para el ensayo fue de 1/3 p³.

Para hallar los valores de peso unitario suelto y compactado se utilizará la siguiente formula.

$$P. U. = \frac{P_{R+M} - P_R}{V_R}$$

P_{R+M} = Peso del recipiente incluido la muestra en kg.

P_R = Peso del recipiente en kg.

V_R = Volumen del recipiente en m^3 .

P. U = Peso unitario del agregado grueso.

A continuación, se muestra los valores obtenidos de esta propiedad física del agregado de roca ignimbrita.

Tabla 31 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO COMPACTADO		
	Peso total (kg)	Peso muestra (kg)	Peso unitario (kg/m^3)	Peso total (kg)	Peso muestra (kg)	Peso unitario (kg/m^3)
Muestra1	3.714	1.985	710.27	4.089	2.359	844.31
Muestra 2	3715.5	1.986	710.81	4.097	2.367	847.17
Muestra 2	3716.0	1.987	710.99	4.097	2.368	847.35

Fuente: Elaboración propia.

4.1.9. CONTENIDO DE HUMEDAD.

Esta propiedad física del agregado grueso se encuentra descrito en la NTP 339.185 “Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado”, así mismo esta descrito el procedimiento para realizar el ensayo.

Esta propiedad representa la humedad evaporable que se encuentra en la superficie, así mismo los que se encuentran contenidas en los poros del agregado de ignimbrita. Esta cantidad de humedad será corregida al aporte de agua en la mezcla al momento de ser utilizada.

La norma nos indica la cantidad mínima de muestra que deberá ser secada en el horno según el tamaño máximo nominal del agregado grueso, a una temperatura de 110°C por un lapso de 24 horas, después dejando reposar de 1 a 3 horas.

Tabla 32 Peso mínimo de la muestra para el ensayo.

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg
4.75 (0.187) (N°4)	0.5
9.5 (3/8")	1.5
12.5 (1/2")	2.0
19.0 (3/4")	3.0
25.0 (1")	4.0
62.5 (2 1/2")	6.0
50.0 (2")	8.0
63 (2 1/2")	10.0
75 (3")	13.0
90 (3 1/2")	16.0
100 (4")	25.0
150 (6")	50.0

Fuente: (INDECOPI, 2013, pág. 5)

Según el tamaño máximo nominal del agregado de ignimbrita que fue de 1", se realizó el ensayo con muestras mínimas de 4kg.

La fórmula utilizada para hallar el porcentaje de humedad se muestra a continuación.

$$\%hum = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde.

%hum = Contenido de humedad, en porcentaje.

W_h = Peso húmedo de la muestra, en gramos.

W_s = Peso seco de la muestra, en gramos.

Los resultados del contenido de humedad del agregado de roca ignimbrita se presentan a continuación.

Tabla 33 Contenido de humedad del agregado grueso.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso húmedo (g)	4000.0	4000.0	4000.0
Peso seco (g)	3998.8	3997.2	3996.0
Porcentaje de humedad (%)	0.03%	0.07%	0.1%

Fuente: Elaboración propia.

4.1.10. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.

Esta propiedad física del agregado se encuentra descrita en la NTP 400.019 “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño menores por Abrasión e impacto en la maquinaria de Los Ángeles”, esta norma describe el ensayo de desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (1 ½”).

Este ensayo mide la degradación del agregado mediante un efecto de trituración por impacto de esferas de acero, que se produce por el repetido giro del tambor de la máquina de los ángeles. Luego de un número de revoluciones establecidas, el agregado es retirado del tambor y tamizado por la malla N°12, para medir su degradación como porcentaje de pérdida.

El coeficiente de variación para un mismo operador ha sido establecido en 2%. Luego, los resultados de dos ensayos efectuados con muestras del mismo agregado grueso, no diferirán en más de 5.7% de su promedio (INDECOPI, 2014).

Tabla 34 Gradación de las muestras de ensayo.

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicada (g)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	1250 ± 25	-	-	-
25.0 mm (1")	19.0 mm (¾")	1250 ± 25	-	-	-
19.0 mm (¾")	12.5 mm (½")	1250 ± 25	2500± 10	-	-
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 25	2500± 10	-	-
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (¼")	-	-	2500± 10	-
6.3 mm (¼")	4.75 mm (N°4)	-	-	2500± 10	-
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	-	-	-	5000
TOTAL		5000± 10	5000± 10	5000± 10	5000± 10

(INDECOPI, 2014, pág. 5)

De la tabla anterior podremos determinar gradación de la muestra, según esta se colocará la cantidad necesaria de esferas de acero en la máquina de los ángeles.

Tabla 35 Número de esferas de acero.

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

Fuente: (INDECOPI, 2014, pág 5).

Para medir la degradación del agregado grueso se utilizará la siguiente formula.

$$\%Deg = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Donde.

%Deg = Porcentaje de degradación de la muestra.

W_i = Peso inicial de la muestra, en gramos.

W_f = Peso final de la muestra tamizada, en gramos.

El valor de la degradación del agregado grueso de roca ignimbrita ensayados son los siguientes.

Tabla 36 Porcentaje de degradación del agregado grueso.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso inicial de la muestra (g)	5000.0	5000.0	5000.0
Peso muestra tamizada (g)	2029.5	2120	2082.5
Porcentaje de degradación (%)	59.41%	57.60%	58.35%

Fuente: Elaboración propia.

4.2. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO.

4.2.1. GRANULOMETRÍA.

Se considera agregado fino a aquel que pasa del tamiz 3/8" (9.51 mm) y queda retenido en el tamiz N°200 (74 µm).

Es necesario conocer la distribución de tamaños de partículas en cada uno de los tamices para conocer mejor las características del agregado; por ese motivo es importante que se realice el ensayo de granulometría. Las mallas que se utilizaran para el análisis granulométrico del agregado fino se describen en la tabla 37.

Según NTP 400.037. Es recomendable que los límites establecidos como superior e inferior para cada uno de los tamices granulométricos del agregado fino sean los siguientes:

Tabla 37 Análisis granulométrico del agregado fino.

Malla	Porcentaje que pasa
3/8" (9,5 mm)	100
N°4 (4,75 mm)	95 a 100
N°8 (2,36 mm)	80 a 100
N°16 (1.18 µm)	50 a 85
N°30 (600 µm)	25 a 60
N°50 (300 µm)	5 a 30
N°100 (150 µm)	0 a 10

Fuente: (INDECOPI, 2014, pág.8).

Es importante considerar que el agregado fino no deberá retener más de 45% en dos tamices consecutivos.

Según lo explicado en la NTP 400.012, se debe de realizar este ensayo en el agitador de tamices, el cual debe de realiza un movimiento a una velocidad de 150 veces por minuto, girando las mallas un sexto de una revolución por cada 25 golpes.

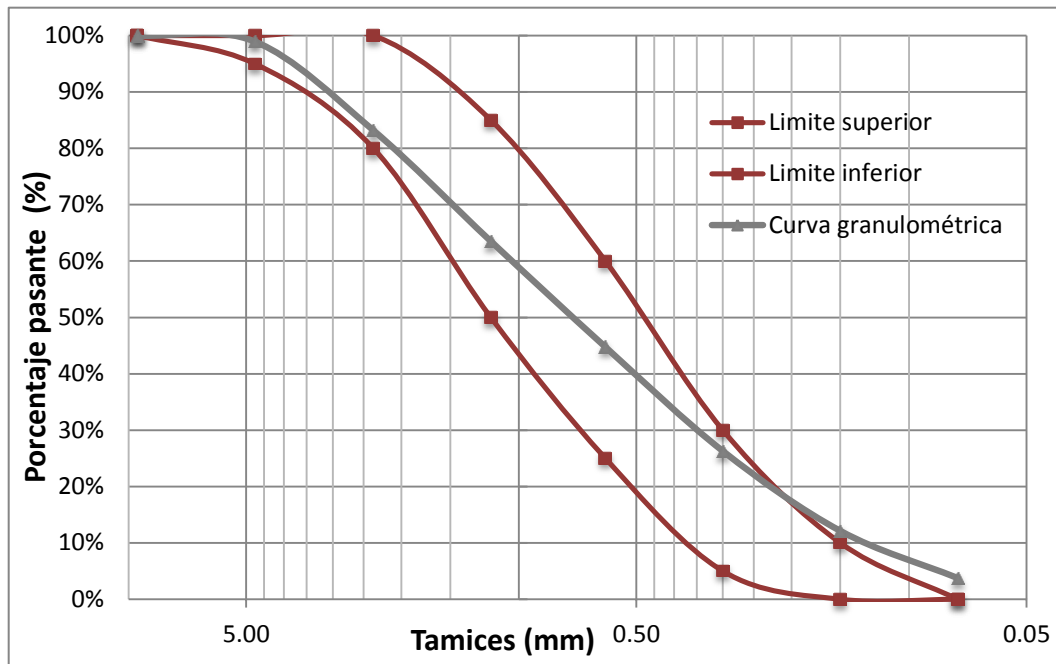
El agregado fino que se utilizo es proveniente de la cantera “La poderosa”, el ensayo de granulometría a este agregado es realizo a 3 muestras. La curva granulométrica de cada uno de los ensayos se muestra a continuación:

Tabla 38 Muestra 1 - Granulometría agregado fino.

Malla	Malla (mm)	Peso (g)	Peso corregido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8	9.50	0.0	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
N°4	4.75	5.0	5.31	1.06 %	1.06 %	98.94 %
N°8	2.36	78.5	78.81	15.76 %	16.83%	83.18 %
N°16	1.18	98.0	98.31	19.66 %	36.49 %	63.51 %
N°30	0.600	93.5	93.81	18.76 %	55.25 %	44.75 %
N°50	0.300	92.0	92.31	18.46 %	73.71 %	26.29 %
N°100	0.150	70.5	70.81	14.16 %	87.88 %	12.13 %
N°200	0.075	41.5	41.81	8.36 %	96.24 %	3.76 %
Fondo	-	18.5	18.81	3.76 %	100.00 %	0.00 %
		497.5	500	100.0 %		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6 Muestra 1 - Curva granulométrica agregado fino.



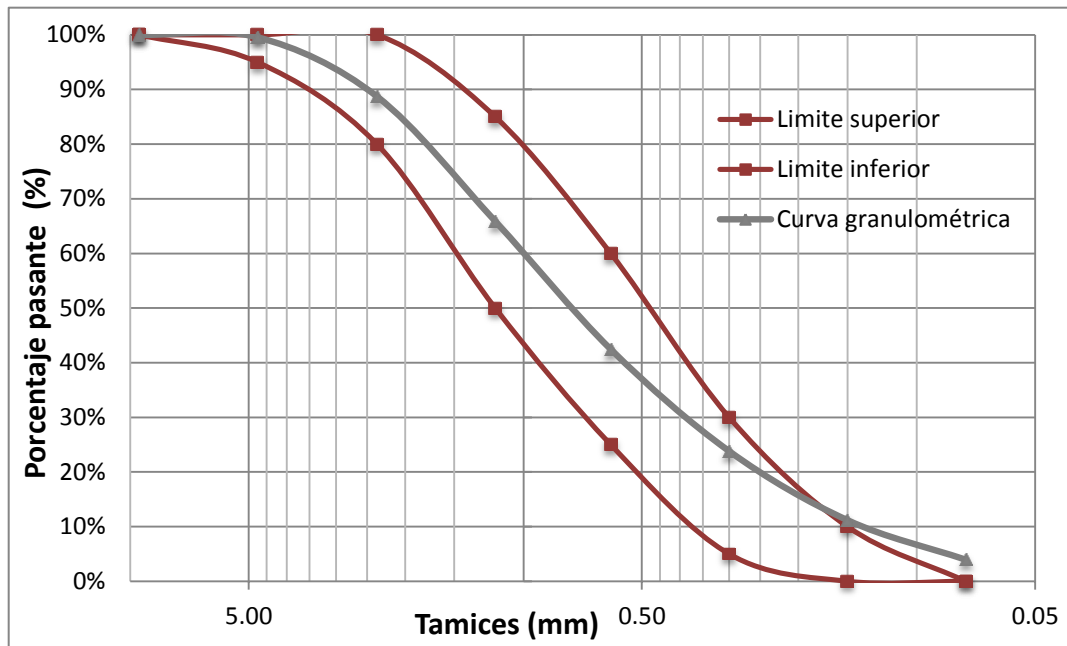
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39 Muestra 2 - Granulometría agregado fino.

Malla	Malla (mm)	Peso (g)	Peso corregido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8	9.50	0	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
N°4	4.75	2	2.19	0.44 %	0.44 %	99.56 %
N°8	2.36	54	54.19	10.84 %	11.28 %	88.73 %
N°16	1.18	114	114.19	22.84 %	34.11 %	65.89 %
N°30	0.600	117	117.19	23.44 %	57.55 %	42.45 %
N°50	0.300	93	93.19	18.64 %	76.19 %	23.81 %
N°100	0.150	63	63.19	12.64 %	88.83 %	11.18 %
N°200	0.075	36	36.19	7.24 %	96.06 %	3.94 %
Fondo	-	19.5	19.69	3.94 %	100.00 %	0.00 %
		498.5 g	500 g	100.0 %		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 7 Muestra 2 - Curva granulométrica agregado fino.



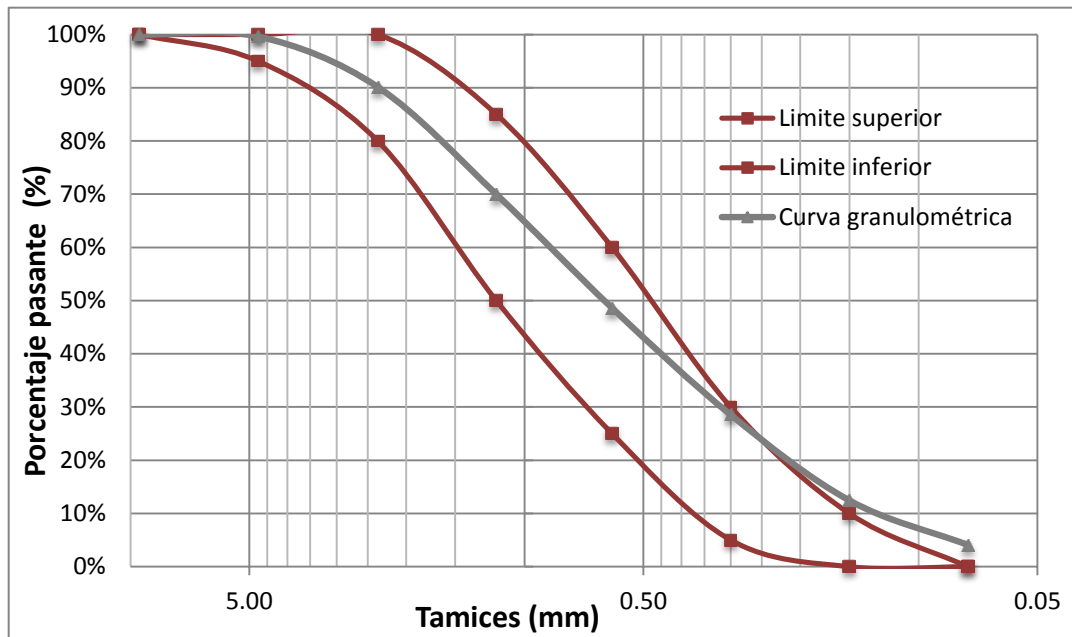
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 Muestra 3 - Granulometría agregado fino.

Malla	Malla (mm)	Peso (g)	Peso corregido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8	9.50	0	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
N°4	4.75	1.5	1.88	0.38 %	0.38 %	99.63 %
N°8	2.36	47	47.38	9.48 %	9.85 %	90.15 %
N°16	1.18	100.5	100.88	20.18 %	30.03 %	69.98 %
N°30	0.600	106.5	106.88	21.38 %	51.40 %	48.60 %
N°50	0.300	100	100.38	20.08 %	71.48 %	28.53 %
N°100	0.150	80	80.38	16.08 %	87.55 %	12.45 %
N°200	0.075	41.5	41.88	8.38 %	95.93 %	4.08 %
Fondo	-	20	20.38	4.08 %	100.00 %	0.00 %
		497.0 g	500.0 g	100.0 %		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 8 Muestra 3 - Curva granulométrica agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. MÓDULO DE FINURA (MF).

Como se explicó anteriormente esta característica del agregado es representada un tamaño promedio de la muestra del agregado.

Para hallar el módulo de fineza del agregado fino, se sumó el porcentaje retenido acumulado de las mallas indicadas provenientes del análisis granulométrico, se realizó de la siguiente manera para cada una de las muestras ensayadas.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos}(3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

Se estima que el módulo de fineza del agregado fino comprendido entre 2,2 y 2,8 produce concreto de buena trabajabilidad y reducida segregación; y que las que se encuentran entre 2,8 y 3,2 son las más favorables para concreto de alta resistencia. Un valor de módulo de fineza mayor a 3.2, no debería ser utilizado para diseñar concreto o sino realizar un ajuste en las proporciones de la mezcla.

Los resultados del módulo de fineza del agregado fino que ensayamos, se muestran a continuación.

- **Muestra 1.**

$$MF = \frac{(0 + 1.06 + 16.83 + 36.49 + 55.25 + 73.71 + 87.88)}{100} = 2.71$$

- **Muestra 2.**

$$MF = \frac{(0 + 0.44 + 11.28 + 34.11 + 57.55 + 76.19 + 88.83)}{100} = 2.68$$

- **Muestra 3.**

$$MF = \frac{(0 + 0.38 + 9.85 + 30.03 + 51.40 + 71.48 + 87.55)}{100} = 2.51$$

4.2.3. PESO ESPECÍFICO.

Para el conocer el esta propiedad del estado físico del agregado físico, será necesario revisar la norma NTP 400.022 “Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diferentes mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre una base de volumen absoluto, así mismo se utiliza para el cálculo de los vacíos entre partículas.

Según la norma, para realizar el ensayo se deberá realizar con muestras de 500 g cada una, con las cuales se obtuvo los valores de las siguientes propiedades del agregado fino.

- Densidad (Secado al horno). Masa de las partículas de agregado seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables.

$$\text{Densidad (OD)} = \frac{997.5 \times A}{(B + S - C)}$$

- Densidad (saturada superficialmente seca). Es la relación de la densidad (SSD) del agregado a la densidad del agua a una temperatura indicada.

$$\text{Densidad (SSD)} = \frac{997.5 \times S}{(B + S - C)}$$

- Densidad (aparente). Es la relación de la densidad aparente de los agregados a la densidad del agua.

$$\text{Densidad (SSD)} = \frac{997.5 \times A}{(B + A - C)}$$

- Densidad relativa (gravedad específica). Es la relación de la densidad (OD) del agregado a la densidad del agua.

$$\text{Densidad relativa (OD)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

- Densidad relativa (SSD). Es la relación de la densidad (SSD) del agregado a la densidad del agua.

$$\text{Densidad relativa (SSD)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

- Densidad relativa aparente. Es la relación de la densidad aparente de los agregados a la densidad del agua a una temperatura adecuada.

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

Donde.

A = Masa de la muestra seca al horno, en gramos.

B = Masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca del calibrador, en gramos.

C = Masa del picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca de calibración, en gramos.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, en gramos.

Siguiendo el procedimiento del ensayo descrito en la norma, estos son los resultados obtenidos del peso específico del agregado fino.

Tabla 41 Ensayo de peso específico del agregado fino.

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Muestra saturada superficialmente seca (g)	S	500.0	500.0	500.0
Peso muestra seca (g)	A	495.0	494.0	490
Peso picnómetro + agua (g)	B	650.2	649.5	649.5
Peso picnómetro + agua + muestra (g)	C	954.5	952.3	951.6

Fuente: Elaboración propia.

Con estos valores registrados se halló los resultados los valores del peso específico del agregado fino.

Tabla 42 Resultados del ensayo de peso específico del agregado fino.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Densidad seca (kg/m³)	2523.06	2498.81	2469.81
Densidad SSS (kg/m³)	2548.54	2529.16	2520.21
Densidad aparente (kg/m³)	2589.21	2577.22	2601.25
Densidad relativa seca	2.529	2.505	2.476
Densidad relativa SSS	2.555	2.535	2.527
Densidad relativa aparente	2.596	2.584	2.608

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. PORCENTAJE DE ABSORCION.

El valor de esta característica física es hallado en el ensayo descrito en la norma NTP 400.022, “Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”.

El porcentaje de absorción es usado para calcular el cambio de masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros de las partículas constituyentes, comparando a la condición seca del mismo, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial. Los datos se obtendrán a partir del ensayo de peso específico del agregado fino. El valor de esta propiedad física se calculará de la siguiente manera.

$$A_b(\%) = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, en gramos.

A = Masa de la muestra seca al horno, en gramos.

Del agregado fino utilizado en el diseño de concreto se obtuvo el siguiente valor de porcentaje de absorción.

Tabla 43 Porcentaje de absorción del agregado fino.

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Muestra saturada superficialmente seca (g)	S	500.0	500.0	500.0
Peso muestra seca (g)	A	495.0	494.0	490
Porcentaje de absorción (%)		1.01 %	1.21 %	2.04 %

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO.

Como se definió anteriormente esta propiedad física del agregado y el procedimiento de ensayo, se encuentra explicada en la norma NTP 400.017 “Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado”.

Al igual que el agregado grueso esta propiedad del agregado fino consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa del agregado fino y el volumen que éste ocupa.

Según la NTP 400.017, esta indica el tamaño del recipiente que se utilizara para realizar el ensayo, en el caso del agregado fino, se utilizó el molde de 1/10 p³.

Tabla 44 Dimensiones del recipiente para PUS y PUC del agregado fino.

Dimensiones		
Alto	15.4	cm
Diámetro	15.2	cm
Volumen	0.002794	m ³
Peso	1729.5	kg

Fuente: Elaboración propia.

Para hallar los valores de peso unitario suelto y compactado se utilizará la siguiente formula, donde.

$$P. U. = \frac{P_{R+M} - P_R}{V_R}$$

Dónde.

P_{R+M} = Peso del recipiente incluido la muestra, en kg.

P_R = Peso del recipiente, en kg.

V_R = Volumen del recipiente, en m³.

P. U = Peso unitario del agregado fino.

A continuación, se muestra los valores obtenidos del peso unitario suelto y el peso unitario compactado del agregado fino.

Tabla 45 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO COMPACTADO		
	Peso total (kg)	Peso muestra (kg)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso total (kg)	Peso muestra (kg)	Peso unitario (kg/m ³)
Muestra1	6.094	4.364	1561.92	6.614	4.885	1748.39
Muestra 2	6.024	4.295	1537.04	6.517	4.787	1713.31
Muestra 2	6.086	4.357	1559.23	6.593	4.863	1740.52

Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. PORCENTAJE DE HUMEDAD.

Como se describió anteriormente este ensayo se explica en el la norma NTP 339.185, “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.” El valor de porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, se utiliza para la corrección por humedad en el diseño de concreto. La cantidad de muestra a ensayar de agregado fino se determinó según la tabla 31 de la presente investigación. Para el agregado fino, la muestra tendrá que ser de 1500 g cada una.

Para determinar el porcentaje de humedad del agregado fino se calculó de la siguiente manera.

$$\%hum = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde.

%hum = Contenido de humedad, en porcentaje.

W_h = Peso húmedo de la muestra, en gramos.

W_s = Peso seco de la muestra, en gramos.

Los resultados del contenido de humedad del agregado fino se presentan a continuación.

Tabla 46 Contenido de humedad del agregado fino.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso húmedo (g)	1500.0	1500.0	1500.0
Peso seco (g)	1497.0	1497.5	1497.3
Porcentaje de humedad (%)	0.20%	0.17%	0.18%

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. CANTIDAD DE FINOS.

El material muy fino, constituido por arcilla y limo, se puede encontrar mezclado con la arena. La presencia de estas partículas representaría incrementar los requerimientos de agua en la mezcla. Preses en forma de partículas sueltas no adheridas al agregado. Puede favorecer la trabajabilidad, pero si se presenta en un alto valor afecta la resistencia del concreto. En el agregado fino, según la norma ASTM C33, se puede presentar hasta un valor máximo de 3% del peso de la muestra que pasa la malla N° 200 (Enrique, 2000, pág. 150).

Para determinar el valor de la cantidad de finos en el agregado fino, primero se deberá de sumergir la muestra en agua, para que las partículas más pequeñas se suspendan, seguidamente se deberá lavar la muestra ensayada y verter el agua a través del tamiz N°200, regresando a la muestra las partículas que se retengan en el tamiz. La pérdida resultante del lavado se calcula como un porcentaje de la masa de la muestra original que pasa dicho tamiz. La cual se calculó de la siguiente manera.

$$\%Finos = \frac{W_o - W_l}{W_o} \times 100$$

Donde.

W_o = Peso de la muestra original, en gramos.

W_l = Peso de la muestra lavado, en gramos.

El agregado fino seleccionado presenta la siguiente cantidad de partículas menores al tamiz N°200.

Tabla 47 Porcentaje de cantidad de finos del agregado fino.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso inicial seco (g)	300.0	300.0.	300.0.
Peso lavado seco (g)	288.0	291.0	289.5
Cantidad de finos (%)	4.0 %	3.0 %	3.5 %

Fuente: Elaboración propia.

4.3. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO.

Tabla 48 Resultados de los ensayos de propiedades físicas de los agregados.

	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS					
	AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO (Roca ignimbrita)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
TMN	-	-	-	1"	1"	1"
Módulo de Finura	2.71	2.68	2.51	7.19	7.24	7.19
Peso específico (kg/m ³)	2523.06	2498.81	2469.81	1316.64	1325.32	1316.67
Peso específico SSS (kg/m ³)	2548.54	2529.16	2520.21	1742.16	1749.02	1754.39
Peso esp. Aparente (kg/m ³)	2589.21	2577.22	2601.25	2291.89	2299.70	2341.65
P.U. Suelto (kg/m ³)	1561.92	1537.04	1559.23	710.27	710.81	710.99
P.U. Compactado (kg/m ³)	1748.39	1713.31	1740.52	844.31	847.17	847.35
Humedad (%)	0.20 %	0.17 %	0.18 %	0.03 %	0.07 %	0.10 %
Absorción (%)	1.01 %	1.21 %	2.04 %	32.32 %	31.97 %	33.24 %
Cantidad de finos (%)	4.0 %	3.0 %	3.50 %	0.64 %	0.76 %	0.70 %
Resistencia a la abrasión (%)	-	-	-	59.41 %	57.60 %	58.35 %

Fuente: Elaboración propia.

4.4. PROPIEDADES MECANICAS DE ROCA IGNIMBRITA.

“El instituto nacional de investigación y normalización de la vivienda realizo los siguientes estudios de las propiedades mecánicas de la roa ignimbrita, provenientes de la cantera de Añashuayco. En los ensayos se determinó la resistencia a la compresión, módulo de rotura y el módulo de elasticidad, estos ensayos se hicieron de acuerdo a las normas ASTM C170-50 y C880-78” (Lara Galindo, 1988).

- **Resistencia a la compresión de las rocas.**

Este ensayo según la norma ASTM D2938, nos permite conocer la resistencia de núcleos de roca a compresión uniaxial. El espécimen a ensayar deberá tener una relación 2:1 de su altura-diámetro.

- **Módulo de rotura.**

También denominado resistencia a la flexión, esta propiedad se refiere a la tensión máxima en el ensayo de flexión. El cual se refiere a que una probeta es flexionada por la acción de un momento flector. En el punto de aplicación de la carga la zona superior está sometida a compresión, mientras que la zona inferior está sometida a tracción. La magnitud de la resistencia a flexión es mayor que la resistencia a tracción (Calderon Cahuana, 2014).

- **Módulo de elasticidad.**

Es una propiedad que es un parámetro característico de cada material que indica la relación existente entre los incrementos de tensión aplicados en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria producidos.

Las rocas extrusivas, rocas filoneanas y algunas rocas metamórficas que son de grano, masivas y compactas. Estas rocas se aproximan a las propiedades de un material elástico, frágil, teniendo una relación cuasi lineal entre tensión-deformación hacia el punto de ruptura, por lo cual se pueden denominar rocas cuasi-elásticas.

Las rocas ígneas de grano grueso y sedimentos compactados de grano fino, se denominan rocas semi-elásticas. En la cual la curva de pendiente deformación decrece

con el incremento de la tensión. Entonces el módulo de elasticidad para una roca semi-elásticas, se encontrará entre $4 - 7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (Canoba & Fraga, 2004).

Tabla 49 Propiedades mecánicas de la roca ignimbrita.

ENSAYOS	RESULTADOS PROMEDIOS
Resistencia a la compresión (kg/cm²)	87.86
Módulo de ruptura (kg/cm²)	13.8
Módulo de elasticidad (kg/cm²)	56875

Fuente: (Lara Galindo, 1988, pág. 22).

4.5. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.

Con los valores obtenidos de los ensayos de las propiedades físicas de la roca ignimbrita como agregado grueso y del agregado fino, se sacó un promedio de cada uno y estos fueron utilizados para los diseños de mezcla de la presente investigación, las cuales se dividieron en 2 grandes grupos, estos dependiendo del método de diseño de mezcla. Por cada método se realizó los diseños a resistencias a la compresión de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 sin datos estadísticos previos y por durabilidad, así mismo se realizó los diseños utilizando los tipos de cemento IP y tipo HS de la marca Yura y el uso de aditivo plastificante Plastiment HE-98 algunos de los diseños indicados se realizó la reducción de agua al 10%. Por lo tanto, en la presente investigación se desarrolló los siguientes diseños de mezcla de concreto utilizando las variables anteriores, las cuales se describen a continuación.

Tabla 50 Diseños de mezclas propuestos.

MÉTODO ACI 211.1	COMBINACION DE AGREGADOS
ACI – IP – 210	CA – IP – 210
ACI – IP – 210 - AD	CA – IP – 210 - AD
ACI – IP – 280	CA – IP – 280
ACI – IP – 280 - AD	CA – IP – 280 - AD
ACI – HS – 210	CA – HS – 210
ACI – HS – 210 - AD	CA – HS – 210 - AD
ACI – HS – 280	CA – HS – 280
ACI – HS – 280 - AD	CA – HS – 280 - AD

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo 16 diseños de mezcla realizando la combinación de los diferentes factores, para poder obtener los mejores resultados al ensayar cada una de las mezclas diseñadas, significando lo siguiente cada abreviatura.

- ACI = Método de diseño de mezcla ACI 211.1.
- CA = Método de diseño del módulo de fineza de la combinación de agregados.
- IP = Cemento tipo IP.
- HS = Cemento tipo HS.
- 210 = Resistencia a la compresión.
- 280 = Resistencia a la compresión.
- AD = Incorporación de aditivo plastificante e impermeabilizante Plastiment HE-98.
- 10% = % reducción de agua de la mezcla.

A continuación, se muestran los diseños de mezcla planteados y los respectivos pesos de cada material por metro cúbico de concreto, así como las relaciones por peso de cemento.

4.5.1. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm².

Tabla 51 Diseño de mezcla ACI - IP - 210.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"
Selección de asentamiento	(Slump) = 1" - 2"
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2398 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	598.80 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	599.90 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	375.03 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 210.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.625
Agregado fino (kg)	598.80	599.90	1.676
Agua (l)	179	375.03	1.048

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm² + ADITIVO.

Tabla 53 Diseño de mezcla ACI - IP - 210 + AD.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1''
Selección de asentamiento	(Slump) = 1''- 2''
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2398 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	598.80 kg
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.69 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	599.90 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	375.03 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 210 + AD.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.625
Agregado fino (kg)	598.80	599.90	1.676
Agua (l)	179	375.03	1.048
Aditivo (kg)	2.69	2.69	0.0075

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm².

Tabla 55 Diseño de mezcla ACI - IP - 280.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"
Selección de asentamiento	(Slump) = 1"- 2"
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.465
Peso del cemento por m ³ de mezcla	384.95 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2303 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	575.19 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	576.24 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	374.74 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 280.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.511
Agregado fino (kg)	575.19	576.24	1.497
Agua (l)	179	374.74	0.973

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm² + ADITIVO.

Tabla 57 Diseño de mezcla ACI - IP - 280 + AD.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"
Selección de asentamiento	(Slump) = 1"- 2"
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.465
Peso del cemento por m ³ de mezcla	384.95 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2303 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	575.19 kg
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.89 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	576.24 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	374.74 l

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58 Cantidad de materiales del diseño ACI - IP - 280 + AD.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.511
Agregado fino (kg)	575.19	576.24	1.497
Agua (l)	179	374.74	0.973
Aditivo (kg)	2.89	2.89	0.0075

Fuente: Elaboración propia

4.5.5. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm².

Tabla 59 Diseño de mezcla ACI - HS - 210.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"
Selección de asentamiento	(Slump) = 1" - 2"
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2375 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	593.20 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	594.28 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	374.96 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 210.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.625
Agregado fino (kg)	593.20	594.28	1.660
Agua (l)	179	374.96	1.047

Fuente: Elaboración propia.

4.5.6. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm² + ADITIVO – REDUCCION 10%.

Tabla 61 Diseño de mezcla ACI - HS - 210 + AD - 10%.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1''
Selección de asentamiento	(Slump) = 1'' - 2''
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2375 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	593.20 kg
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.69 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	594.28 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	374.96 l
Reducción de volumen de agua por aditivo (10%)	
Volumen de agua corregida y reducida	337.46 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.625
Agregado fino (kg)	593.20	594.28	1.660
Agua (l)	179	337.46	0.943
Aditivo (kg)	2.69	2.69	0.0075

Fuente: Elaboración propia.

4.5.7. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm²

Tabla 63 Diseño de mezcla ACI - HS - 280.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"
Selección de asentamiento	(Slump) = 1"- 2"
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.465
Peso del cemento por m ³ de mezcla	384.95 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2279 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	569.16 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	570.21 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	374.66 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 280.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.511
Agregado fino (kg)	569.16	570.21	1.481
Agua (l)	179	374.66	0.973

Fuente: Elaboración propia.

4.5.8. MÉTODO ACI – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm² + ADITIVO – REDUCCION 10%.

Tabla 65 Diseño de mezcla ACI - HS - 280 + AD - 10%.

DISEÑO DE MEZCLA	
Selección de resistencia promedio	$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal	TMN = 1''
Selección de asentamiento	(Slump) = 1'' - 2''
Selección de volumen de agua	179 l/m ³
Selección de volumen de aire	1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.465
Peso del cemento por m ³ de mezcla	384.95 kg
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	581.39 kg
Volumen de agregado fino en la mezcla	0.2375 m ³
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	569.16 kg
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.89 kg
Corrección por humedad de agregados	
Peso roca ignimbrita húmedo	581.78 kg
Peso agregado fino húmedo	570.21 kg
Corrección por absorción de agregados	
Volumen de agua corregida	374.66 l
Reducción de volumen de agua por aditivo (10%)	
Volumen de agua corregida y reducida	337.20 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66 Cantidad de materiales del diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	581.39	581.78	1.511
Agregado fino (kg)	569.16	570.21	1.481
Agua (l)	179	337.20	0.876
Aditivo (kg)	2.89	2.89	0.0075

Fuente: Elaboración propia

4.5.9. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm².

Tabla 67 Diseño de mezcla CA - IP - 210.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$	
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"	
Selección de asentamiento	(Slump) = 1"- 2"	
Selección de volumen de agua	179 l/m ³	
Selección de volumen de aire	1.50%	
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)	
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg	
Módulo de combinación de agregados	5.444	
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	61.44 %
	Agregado fino	38.56 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4180 m ³
	Agregado fino	0.2623 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	551.62 kg	
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	655.15 kg	
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo	551.98 kg	
Peso agregado fino húmedo	656.35 kg	
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida	366.06 l	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 210.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	551.62	551.98	1.542
Agregado fino (kg)	655.15	656.35	1.833
Agua (l)	179	366.06	1.023

Fuente: Elaboración propia.

4.5.10. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm² + ADITIVO.

Tabla 69 Diseño de mezcla CA - IP - 210 + AD.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$	
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"	
Selección de asentamiento	(Slump) = 1"- 2"	
Selección de volumen de agua	179 l/m ³	
Selección de volumen de aire	1.50%	
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)	
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg	
Módulo de combinación de agregados	5.444	
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	61.44 %
	Agregado fino	38.56 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4180 m ³
	Agregado fino	0.2623 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	551.62 kg	
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	655.15 kg	
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.69 kg	
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo	551.98 kg	
Peso agregado fino húmedo	656.35 kg	
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida	366.06 l	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 210 + AD.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	551.62	551.98	1.542
Agregado fino (kg)	655.15	656.35	1.833
Agua (l)	179	366.06	1.023
Aditivo (kg)	2.69	2.69	0.0075

Fuente: Elaboración propia.

4.5.11. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm².

Tabla 71 Diseño de mezcla CA - IP - 280.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio		$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal		TMN = 1"
Selección de asentamiento		(Slump) = 1" - 2"
Selección de volumen de agua		179 l/m ³
Selección de volumen de aire		1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)		0.465
Peso del cemento por m ³ de mezcla		384.95 kg
Módulo de combinación de agregados		5.494
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	62.53 %
	Agregado fino	37.47 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4196 m ³
	Agregado fino	0.2514 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla		553.62 kg
Peso agregado fino por m ³ de mezcla		627.75 kg
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo		553.99 kg
Peso agregado fino húmedo		628.90 kg
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida		366.37 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 280.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	553.62	553.99	1.439
Agregado fino (kg)	627.75	628.90	1.634
Agua (l)	179	366.37	0.952

Fuente: Elaboración propia.

4.5.12. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm² + ADITIVO.

Tabla 73 Diseño de mezcla CA - IP - 280 + AD.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio	$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$	
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"	
Selección de asentamiento	(Slump) = 1"- 2"	
Selección de volumen de agua	179 l/m ³	
Selección de volumen de aire	1.50%	
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.465	
Peso del cemento por m ³ de mezcla	384.95 kg	
Módulo de combinación de agregados	5.494	
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	62.53 %
	Agregado fino	37.47 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4196 m ³
	Agregado fino	0.2514 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	553.62 kg	
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	627.75 kg	
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.89 kg	
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo	553.99 kg	
Peso agregado fino húmedo	628.90 kg	
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida	366.37 l	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74 Cantidad de materiales del diseño CA - IP - 280 + AD

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	553.62	553.99	1.439
Agregado fino (kg)	627.75	628.90	1.634
Agua (l)	179	366.37	0.952
Aditivo (kg)	2.89	2.89	0.0075

Fuente: Elaboración propia.

4.5.13. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm².

Tabla 75 Diseño de mezcla CA - HS - 210.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$	
Selección de tamaño nominal	TMN = 1"	
Selección de asentamiento	(Slump) = 1"- 2"	
Selección de volumen de agua	179 l/m ³	
Selección de volumen de aire	1.50%	
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)	
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg	
Módulo de combinación de agregados	5.444	
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	61.44 %
	Agregado fino	38.56 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4167 m ³
	Agregado fino	0.2615 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	549.80 kg	
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	652.99 kg	
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo	550.16 kg	
Peso agregado fino húmedo	654.18 kg	
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida	365.45 l	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 210.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	549.80	550.16	1.537
Agregado fino (kg)	652.99	654.18	1.827
Agua (l)	179	365.45	1.021

Fuente: Elaboración propia.

**4.5.14. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm² +
ADITIVO – REDUCCION 10%.**

Tabla 77 Diseño de mezcla CA - HS - 210 + AD - 10%.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio	$f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$	
Selección de tamaño nominal	TMN = 1''	
Selección de asentamiento	(Slump) = 1'' - 2''	
Selección de volumen de agua	179 l/m ³	
Selección de volumen de aire	1.50%	
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.5 = ($f'c = 335 \text{ kg/cm}^2$)	
Peso del cemento por m ³ de mezcla	358 kg	
Módulo de combinación de agregados	5.444	
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	61.44 %
	Agregado fino	38.56 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4167 m ³
	Agregado fino	0.2615 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	549.80 kg	
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	652.99 kg	
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.69 kg	
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo	550.16 kg	
Peso agregado fino húmedo	654.18 kg	
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida	365.45 l	
Reducción de volumen de agua por aditivo (10%)		
Volumen de agua corregida y reducida	328.90 l	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	358	358	1
Roca ignimbrita (kg)	549.80	550.16	1.537
Agregado fino (kg)	652.99	654.18	1.827
Agua (l)	179	328.90	0.919
Aditivo (kg)	2.89	2.89	0.0075

Fuente: Elaboración propia.

4.5.15. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm².

Tabla 79 Diseño de mezcla CA - HS - 280.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio		$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$
Selección de tamaño nominal		TMN = 1''
Selección de asentamiento		(Slump) = 1''- 2''
Selección de volumen de agua		179 l/m ³
Selección de volumen de aire		1.50%
Relación de agua/cemento (durabilidad)		0.465
Peso del cemento por m ³ de mezcla		384.95 kg
Módulo de combinación de agregados		5.494
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	62.53 %
	Agregado fino	37.47 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4180 m ³
	Agregado fino	0.2505 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla		551.63 kg
Peso agregado fino por m ³ de mezcla		625.49 kg
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo		551.99 kg
Peso agregado fino húmedo		626.64 kg
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida		365.70 l

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 280.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	551.63	551.99	1.434
Agregado fino (kg)	625.49	626.64	1.628
Agua (l)	179	365.70	0.950

Fuente: Elaboración propia.

4.5.16. MÉTODO CA – CEMENTO TIPO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm² + ADITIVO – REDUCCION 10%.

Tabla 81 Diseño de mezcla CA - HS - 280 + AD - 10%.

DISEÑO DE MEZCLA		
Selección de resistencia promedio	$f'c = 365 \text{ kg/cm}^2$	
Selección de tamaño nominal	TMN = 1''	
Selección de asentamiento	(Slump) = 1''- 2''	
Selección de volumen de agua	179 l/m ³	
Selección de volumen de aire	1.50%	
Relación de agua/cemento (durabilidad)	0.465	
Peso del cemento por m ³ de mezcla	384.95 kg	
Módulo de combinación de agregados	5.494	
Porcentaje de agregados	Roca ignimbrita	62.53 %
	Agregado fino	37.47 %
Volumen de agregados	Roca ignimbrita	0.4180 m ³
	Agregado fino	0.2505 m ³
Peso roca ignimbrita por m ³ de mezcla	551.63 kg	
Peso agregado fino por m ³ de mezcla	625.49 kg	
Cantidad de aditivo 0.75% del cemento	2.89 kg	
Corrección por humedad de agregados		
Peso agregado grueso húmedo	551.99 kg	
Peso agregado fino húmedo	626.64 kg	
Corrección por absorción de agregados		
Volumen de agua corregida	365.45 l	
Reducción de volumen de agua por aditivo (10%)		
Volumen de agua corregida y reducida	329.13 l	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82 Cantidad de materiales del diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.

	Peso de materiales sin corrección por m ³ de mezcla	Peso de materiales corregidos por m ³ de mezcla	Relación de materiales por peso de cemento
Cemento (kg)	384.95	384.95	1
Roca ignimbrita (kg)	551.63	551.99	1.434
Agregado fino (kg)	625.49	626.64	1.628
Agua (l)	179	329.13	0.855
Aditivo (kg)	2.89	2.89	0.0075

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

5. RESULTADOS ENSAYOS DE CONCRETO.

5.1. RESULTADOS EN ESTADO FRESCO.

5.1.1. PESO UNITARIO.

Según la norma NTP 339.046 “Hormigón (Concreto). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto”. El peso unitario o densidad de concreto, es la determinación de la masa de la mezcla por cada unidad de volumen, así como hallar el rendimiento, rendimiento relativo y contenido de cemento.

Éste nos proporciona fórmulas para poder calcular estos valores de las propiedades del concreto en estado fresco. Las cuales se aplicaron a cada uno de los diseños planteados utilizando roca ignimbrita.

- **Densidad (D).**

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

- **Rendimiento (Y).**

$$Y = \frac{W_1}{W}$$

- **Rendimiento relativo (R_y).**

$$R_y = \frac{Y}{Y_d}$$

- **Contenido de cemento (C).**

$$C = \frac{C_t}{Y}$$

A continuación, se explica el significado de cada una de estas variables, las cuales algunos de los valores que extrajo del diseño de mezcla y otros se tuvo que hallar de las fórmulas previamente dadas.

Donde.

M_c = Masa del recipiente más la masa de concreto, kg.

M_m = Masa del recipiente de medida, kg.

V_m = Volumen del recipiente, m^3

C = Contenido real de cemento, kg/m^3

C_t = Masa del cemento en la tanda, en kg.

R_y = Rendimiento relativo.

W = Densidad o masa unitaria del concreto, kg/m^3

W_1 = Masa total de todos los materiales de la tanda, kg.

Y = Rendimiento, volumen de concreto producido por tanda, m^3

Y_d = Volumen de concreto, que, por diseño, debería producir la tanda, m^3

Según la norma NTP 400.017, para el cálculo del peso unitario o densidad del concreto que tenga un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1", se tendrá que utilizar un recipiente de un volumen de $1/3 pie^3$, el cual conoceremos su masa.

Con la ayuda de una barra compactadora de $5/8"$, que tiene una longitud de 600 mm y un diámetro de 16 mm, se tendrá que incorporar la mezcla de concreto fresco en el recipiente en incrementos de un tercio de volumen. Para cada tercio del recipiente con concreto, se deberá apisonar con la barra compactadora con 25 golpes en forma espiral penetrando aproximadamente 1 pulgadas a la capa anterior, seguido golpear las paredes del recipiente con un martillo de goma entre 10 a 15 veces, lo que ayudará a

eliminar las burbujas de aire que haya podido quedar atrapadas en la mezcla y cerrar algún espacio producido por la barra compactadora.

Finalmente se deberá enrazar la superficie del concreto y limpiar cualquier exceso de concreto en el exterior del recipiente, de modo que no quede espacios vacíos y sobresaliendo de la superficie de concreto un máximo de 3 mm del borde del recipiente y registrar el peso de ambos elementos juntos.

5.1.2. CONTENIDO DE AIRE.

El contenido de aire de la mezcla se puede calcular de varias maneras, uno puede ser siguiendo los pasos del método de presión, según el procedimiento descrito en la norma NTP 339.083 se tiene que usar el medidor de la olla de Washington.

También se puede hallar por el método gravimétrico, según la norma NTP 339.046, cuando no se cuenta con el equipo medidos. Para calcular el contenido de aire este método hace uso de los datos hallados en el ensayo de peso unitario del concreto y rendimiento de la mezcla, descrito en el apéndice anterior. Pudiéndolo hallar utilizando las siguientes formulas.

- **Densidad Teórica (T).**

$$T = \frac{W_1}{V}$$

- **Cantidad de aire (A).**

$$A = \frac{T - W}{T} \times 100$$

Donde las variables están descritas en el apéndice anterior.

Para la presente investigación se realizó la comparación de los valores de la cantidad de aire en cada una de las mezclas realizadas, debido a que se contó con el equipo medidor por el método de presión y se cuentan con los datos necesarios para poderlo hallar por el método gravimétrico.

5.1.3. ASENTAMIENTO.

Esta propiedad en estado fresco del concreto se establece según la norma NTP 339.035 “Hormigón. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto en cemento portland”. Nos indica que este ensayo no es aplicable cuando el concreto contiene una cantidad apreciable de agregado grueso de tamaño mayor a 1 ½”.

Para realizar este ensayo es necesario utilizar el cono de Abrams, una base metálica, barra compactadora de 600 mm de largo y 16 mm de diámetro y una regla metálica.

Según la norma para hallar el asentamiento se deberá comenzar máximo 5 minutos después de tomada la muestra, primero se deberá humedecer el cono y colocar en la base metálica. Seguidamente se procederá a llenar el cono en un tercio de su volumen con la ayuda de un cucharón y con la barra compactadora se dará 25 golpes distribuidos uniformemente en forma de espiral. Por cada capa se deberá penetrar ligeramente la capa anterior.

Cuando se haya terminado de llenar la última capa, se procederá a enrasar y levantar el cono en forma vertical en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos. Colocando el cono de manera invertida al costado del concreto, midiendo las diferencias de alturas.

En la presente investigación, se comparó el asentamiento de la mezcla obtenida en estado fresco, con el asentamiento que se utilizó en el diseño.

5.1.4. TEMPERATURA.

Para determinar esta propiedad del concreto en estado fresco, esta descrito en la norma NTP 339.184 “Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezcla de concreto”. Este valor es importante debido a que determina la temperatura del concreto fresco para verificar el cumplimiento de los requerimientos especificados.

La temperatura del concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el medio ambiente.

Para realizar este ensayo se deberá obtener una muestra de concreto recién mezclado en un recipiente no absorbente del tamaño suficiente para proveer un mínimo de 3 pulgadas desde el termómetro en todas las direcciones hacia las paredes y la base del recipiente.

La medición de la temperatura se deberá realizar dentro de los 5 minutos siguientes de la obtención de la muestra, por un tiempo mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice y se registre cada uno de valores de los diseños de mezcla planteados.

5.2. RESULTADOS EN ESTADO ENDURECIDO.

Según la norma NTP 339.183 “Concreto. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio”. Describe las siguientes recomendaciones después de haber realizado la mezcla de concreto y haber hecho los ensayos en estado fresco descritos anteriormente, se deberá vaciar el concreto en moldes con la ayuda de un cucharón, si el concreto tiene un asentamiento mayor a las 2” el método recomendado para la compactando será utilizando la varilla de 5/8” o de 3/8”, según sea el tamaño del molde.

La compactación deberá ser en 3 capas, apisonando cada capa con 25 golpes en forma espiral y golpeando los lados del molde con un martillo de goma para eliminar los huecos que se hayan podido producir por la varilla. En la superficie del molde, deberá tener un acabado uniforme y plana.

La muestra de concreto en el molde deberá estar por lo menos 20 horas y no más de 48 horas en el que se va produciendo el fraguado de la mezcla. Garantizando un ambiente húmedo desde que se realizó el vaciado del concreto.

Después de remover las muestras concreto del molde se empezará con el curado de la probeta, la cual se realizará sumergiendo la muestra en agua en un medio libre de vibraciones y de corrientes de agua. En este proceso estará aproximadamente 28 días en los que el concreto alcanzará su máxima resistencia a la compresión y se podrá realizar los ensayos en estado endurecido descrito en la presente investigación.

5.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Según la norma NTP 339.034 “Hormigón. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”. Nos indica que este ensayo se deberá realizar a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m^3 .

Este ensayo nos mostrara la propiedad mecánica del concreto que se diseñó para soportar esfuerzos, además si este cumple con la resistencia diseñada según los métodos elegidos y su posterior aceptación del concreto.

Para hallar este valor fue necesario utilizar una máquina que aplique carga a la muestra de concreto hasta que esta falle y dicha carga se divida entre la sección de la probeta, resultando los valores con la unidad de kg/cm^2 , la cual también se podrá convertir en mega pascales (MPa).

Para la presente investigación se realizaron 25 probetas hermanas de concreto de 10 cm x 20 cm de medida para cada uno de los 16 diseños de mezcla planteados. Las cuales fueron ensayadas 5 probetas a 7 días de curado, 5 probetas a 14 días de curado y 15 a 28 días de curado; obteniendo un total de 400 probetas ensayadas.

Además de realizaron 32 probetas de 15 cm x 30 cm de medida, 2 probetas por cada diseño de mezcla planteados, pero estas fueron utilizadas en los siguientes ensayos descritos.

Además, se realizó el análisis estadístico de los resultados a compresión obtenidos de cada uno de los diseños, de tal manera se halló el promedio según la edad de la muestra, así como la desviación estándar y la dispersión para distintos grados de control, según la tabla siguiente.

Los resultados completos de cada uno de los diseños planteados, incluyendo los resultados de cada uno de las probetas, se encuentran en los anexos de la presente investigación.

Tabla 83 Dispersión de total del ensayo a compresión.

Dispersión total					
Clases de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.60	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6

Fuente: (INDECOPI, NTP 339.042 CONCRETO. 2001)

5.2.2. CAPILARIDAD.

Como se describió anteriormente este mecanismo de penetración de agua en el concreto nos ayuda a determinar su durabilidad. Este ensayo nos describe la facilidad con la que el agua se mueve a través de la red capilar del concreto, como consecuencia de la interacción de las fuerzas de contacto liquido-sólido.

Para realizar este ensayo, se debió cortar la probeta de concreto de 15 cm x 30 cm de cada uno de los diseños planteados en 3 partes iguales, quedándonos en forma de discos. Con uno de los discos de cada diseño de mezcla, se impermeabilizó sus caras laterales, para que la absorción del agua se realice por la base de la muestra.

Seguidamente cada una de las muestras se colocó en una bandeja en la que se agregó agua con una altura de 10 mm, en este momento inicio el ensayo. Posteriormente se registró la masa de cada una de los diseños en periodos de 1, 5, 10, 20, 30, 60 minutos, 2, 3, 4, 5, 6 y 24 horas. Hallamos la tasa de absorción del concreto utilizando la siguiente fórmula.

$$i = S \times t^{\frac{1}{2}}$$

Donde.

i = masa acumulada de agua absorbida por unidad de área de la sección mojada, en g/cm².

S = tasa de absorción capilar (pendiente de la curva), en g/cm²h ^{$\frac{1}{2}$} .

t = tiempo de inmersión o exposición expresado en horas.

5.2.3. POROSIDAD.

Esta propiedad del concreto nos indica la cantidad de poros que contiene el concreto diseñado. Para realizar este ensayo de concreto en estado endurecido, se debe seguir el procedimiento similar al que se realiza en el ensayo de peso específico del agregado grueso.

Se utilizó otro de los discos provenientes de la probeta de 15 cm x 30 cm cortado en partes iguales de cada uno de diseños de mezcla planteados; se sumergió la muestra en agua por un lapso de 48 horas, para que el concreto este es un estado completamente saturado, seguidamente se secó la superficie de la muestra y registro el peso, después se tomó el peso sumergido de la muestra y finalmente la muestra se realizó su secado en el horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de 110°C y después que la muestra se enfríe se registró el peso.

Para hallar la porosidad del concreto, se utilizó las siguientes formula, además para hallar el peso específico del concreto en estado endurecido y el peso específico aparente.

- Peso específico de masa. (Pe_m)

$$Pe_m = \frac{W_s}{(W_{SSS} - W_{sum})}$$

- Peso específico aparente. (Pe_{apa})

$$Pe_{apa} = \frac{W_s}{(W_s - W_{sum})}$$

- Porosidad del concreto. (%Poros)

$$\%Poros = \left(\frac{Pe_{apa} - Pe_m}{Pe_{apa}} \right) \times 100$$

Donde.

W_s = Masa de la muestra seca, gramos.

W_{SSS} = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gramos.

W_{sum} = Masa de la muestra sumergida, gramos.

5.2.4. PROFUNDIDAD DE PENETRACION.

Esta propiedad también es un mecanismo de penetración de agua, la que nos indica la facilidad con la que un líquido se mueve a través del concreto, cuando este se encuentra expuesto a un gradiente de presión. Es por eso que, en el equipo de permeabilidad del concreto, se simula una presión constante de agua de 1 MPa sobre la probeta de concreto.

Para realizar el ensayo, se colocó una probeta de concreto de 15 cm x 30 cm de cada una de los diseños realizados en el equipo de permeabilidad del concreto, la cual se aseguró al equipo correctamente para evitar fugas de agua. Seguidamente se le aplicó una presión constante de 1 MPa por un lapso de 72 ± 2 horas, terminado este tiempo se partió la probeta de concreto en 2 de manera longitudinal por el método brasilero.

Finalmente se midió la profundidad de penetración de cada lado de la probeta y se sacó un promedio.

5.2.5. RESISTENCIA A LOS SULFATOS.

Como se describió anteriormente, se realizó el análisis por ataque de sulfato de sodio y sulfato de magnesio, a cada uno de los diseños de mezcla planteados. Según el ensayo de sulfato-durabilidad del Bureau of Reclamation, se medirá la altura de los cilindros de concreto y calcular el porcentaje de expansión de la muestra.

Para realizar el ensayo, primero se realizó una disolución moderada que será de 0.2% en peso de sulfato de sodio y magnesio soluble en agua, en la cual se sumergirán los testigos de concreto de cada diseño que se ensayarán.

Se realizó el curado de las probetas de concreto sumergidas en agua por 28 días, transcurrido ese lapso de tiempo se tomaron la medida inicial de la altura del testigo de concreto. Después se sumergió completamente en las disoluciones preparadas por otros 28 días, al terminar este segundo lapso de tiempo se volvió a medir la altura de las probetas de concreto. La altura final se comparó con la altura inicial y se expresó en tanto por ciento de esta. El testigo cuya expansión fue del 0.2% o más, se consideró que no soportará el ataque a sulfatos sea de magnesio o de sodio.

5.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA.

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los ensayos en estado fresco y en estado endurecido de cada uno de los diseños de mezcla planteados anteriormente.

5.3.1. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 84 Resultados en estado fresco diseño ACI - IP – 210.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 22.48 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 5.195 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.009418 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1835.35 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.043$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.043$
Contenido de cemento.	$C = 343.24 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1943.71 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 5.58 \%$
Por olla de Washington	$\% = 5 \%$
TEMPERATURA (°C)	18.2°
SLUMP	5.5"

Fuente: Elaboración propia.

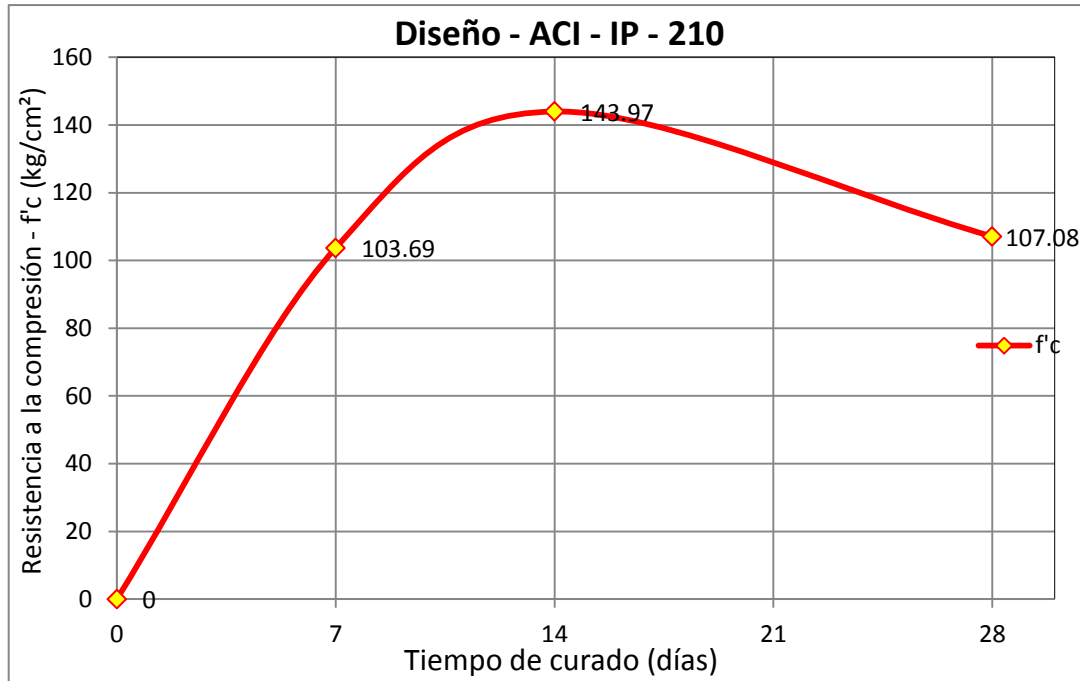
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 85 Resultados en estado endurecido diseño ACI – IP- 210.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.5	335	7	103.69
		14	143.97
		28	107.08
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 2948.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2900.0$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3262.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1591.5$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1736.0$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2216.28$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 21.67 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 9.35$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 8.80$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 9.08$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 11.778$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.806$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.235 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 11.217$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.248$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.276 %	

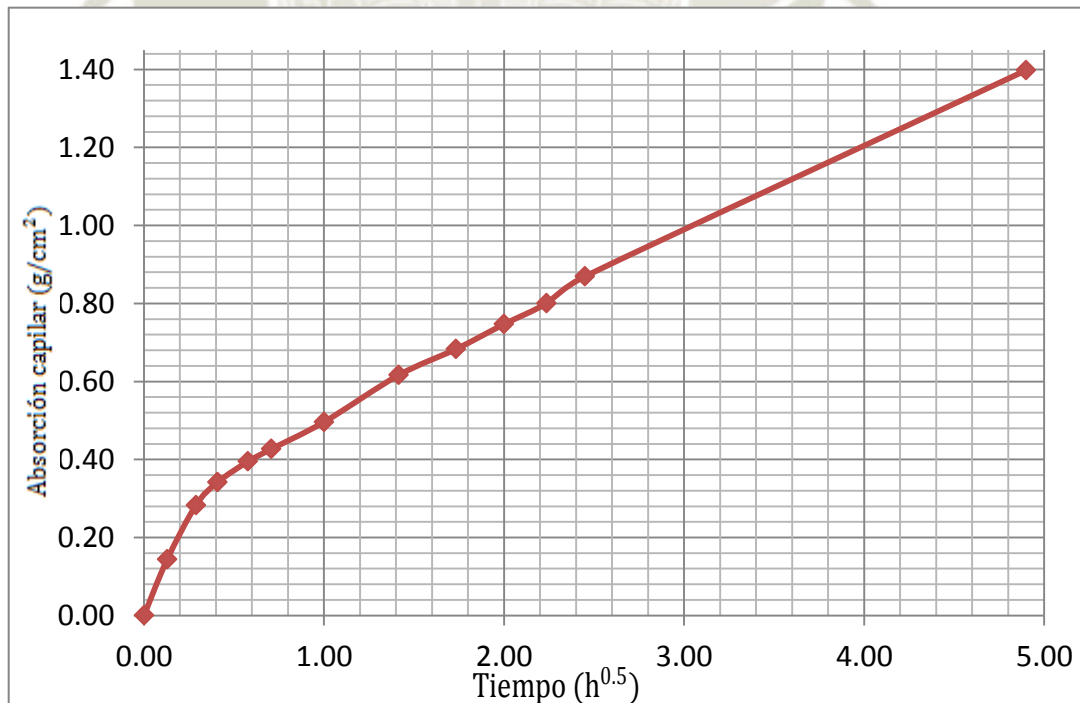
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 9 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 210.



3. Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 10 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 210.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm² + ADITIVO.

- Resultados en estado fresco.

Tabla 86 Resultados en estado fresco diseño ACI – IP - 210 + AD.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 15.51 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 2.451 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.007088 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1814.19 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.057$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.057$
Contenido de cemento.	$C = 338.69 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1946.6 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 6.8 \%$
Por olla de Washington	$\% = 6 \%$
TEMPERATURA (°C)	17°
SLUMP	8''

Fuente: Elaboración propia.

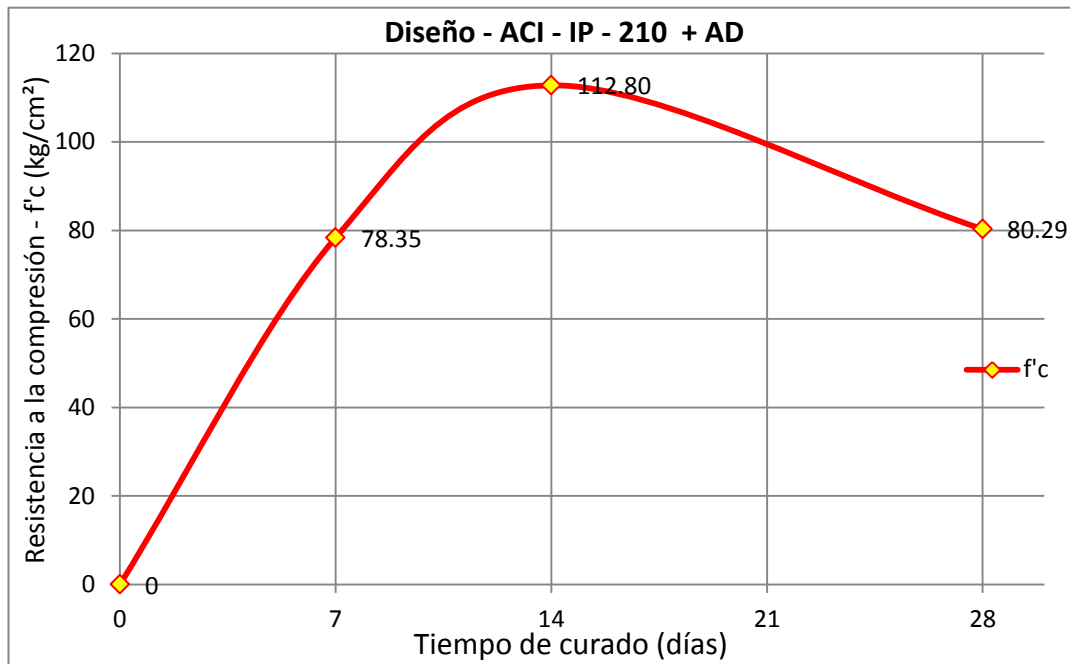
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 87 Resultados en estado endurecido diseño ACI - IP - 210 + AD.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.5	335	7	78.35
		14	112.80
		28	80.29
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3011.5$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2959.0$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3241.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1488.5$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1688.4$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2012.24$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 16.09 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 8.72$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 8.78$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 8.5$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 12.775$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.793$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.146 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 12.488$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.508$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.16 %	

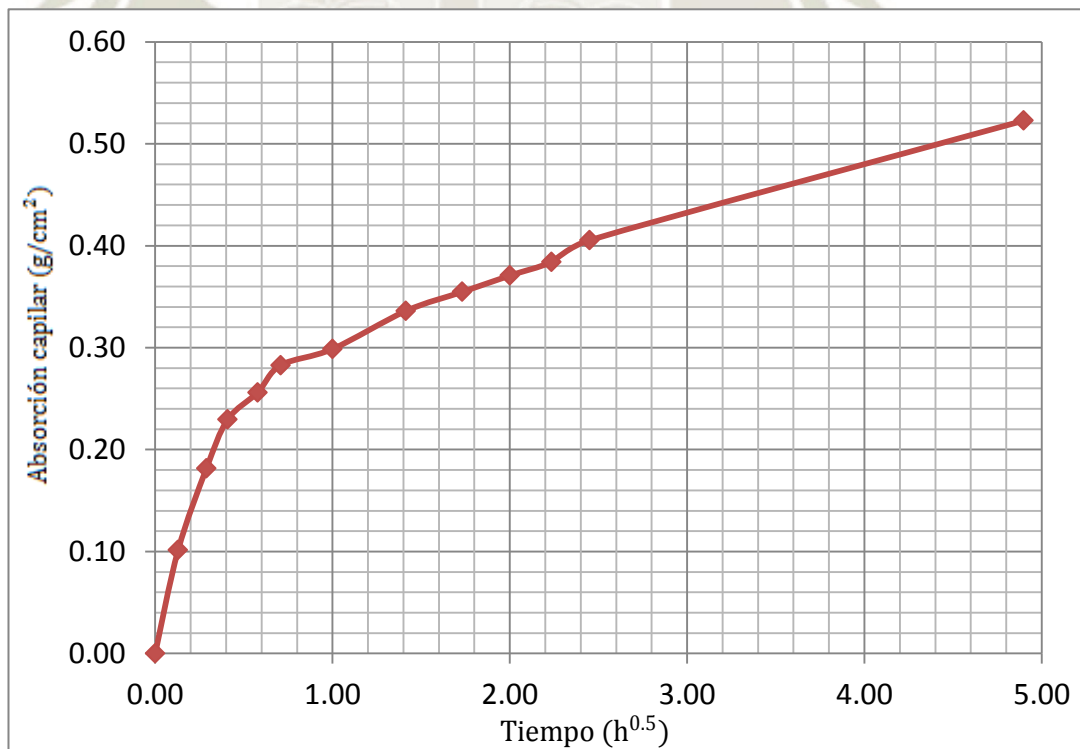
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 11 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 210 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 12 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 210 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 88 Resultados en estado fresco diseño ACI - IP - 280.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 22.974 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 5.194 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.00941835 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1887.8 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.016$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.016$
Contenido de cemento.	$C = 378.89 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1946.91 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 3 \%$
Por olla de Washington	$\% = 4.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	18.5°
SLUMP	3.5"

Fuente: Elaboración propia.

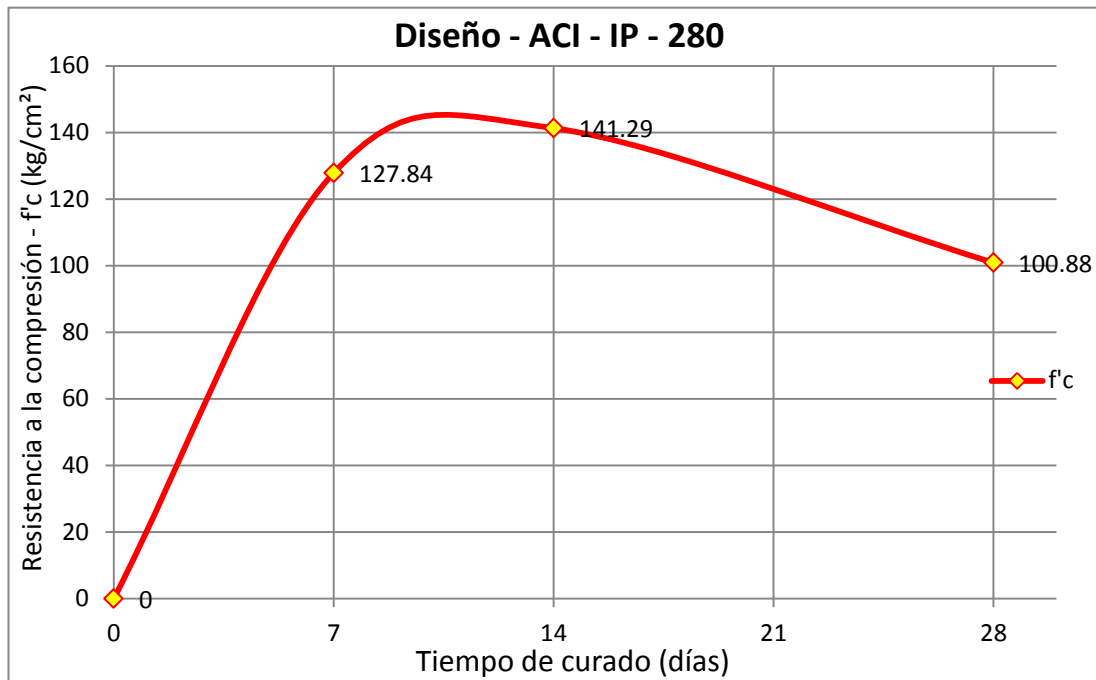
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 89 Resultados en estado endurecido diseño ACI - IP - 280.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	127.84
		14	141.29
		28	100.88
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3080.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2927.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3354$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1595.5$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1664.8$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2197.82$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 24.25 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 8.35$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 8.89$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 8.62$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 10.908$ cm	
Altura final		$h_2 = 10.925$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.156 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 11.032$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.052$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.178 %	

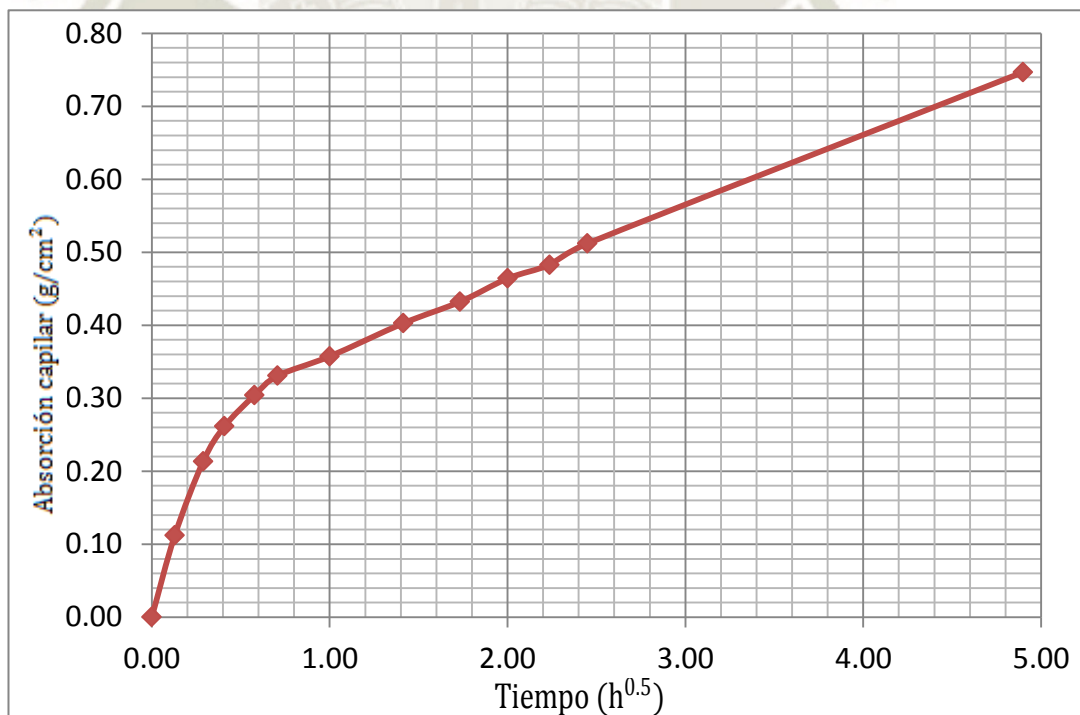
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 13 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 280.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 14 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 280.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.4. MÉTODO ACI - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm² + ADITIVO.

- Resultados en estado fresco.

Tabla 90 Resultados en estado fresco diseño ACI - IP - 280 + AD.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 15.348 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 2.451 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.007088 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1819.55 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.056$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.056$
Contenido de cemento.	$C = 364.54 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1949.26 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 6.65 \%$
Por olla de Washington	$\% = 5.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	17°
SLUMP	6"

Fuente: Elaboración propia.

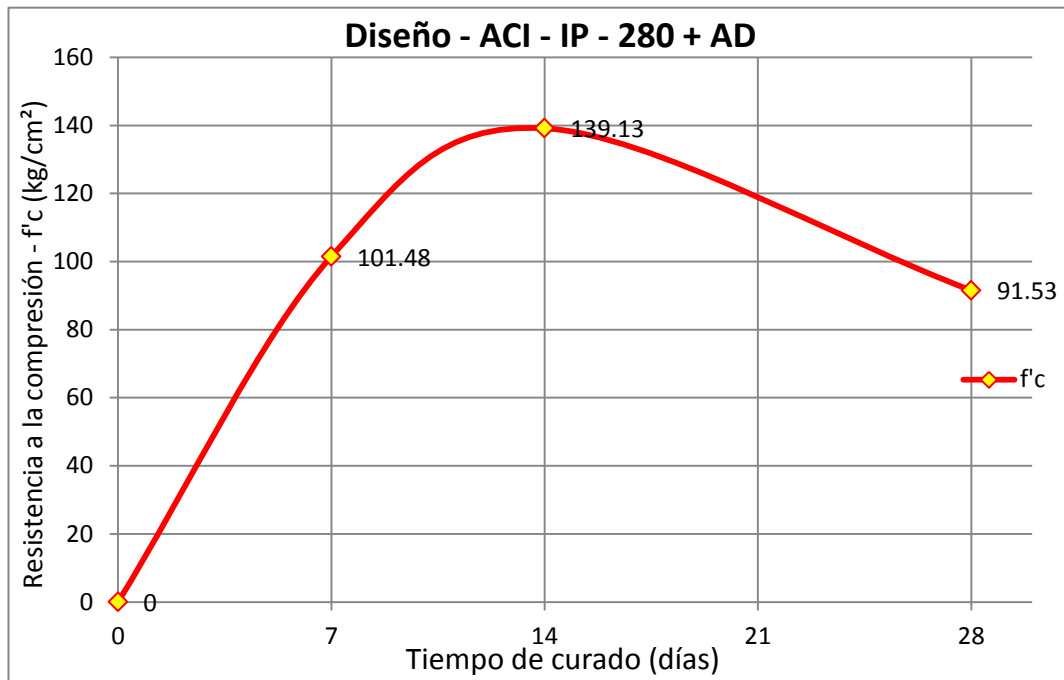
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 91 Resultados en estado endurecido diseño ACI - IP - 280 + AD.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	101.48
		14	139.13
		28	91.53
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 2931.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2878.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3179.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1445.5$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1660.5$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2008.72$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 17.33 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 7.75$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 7.10$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 7.43$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 12.536$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.553$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.141 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 13.243$ cm	
Altura final		$h_2 = 13.262$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.156 %	

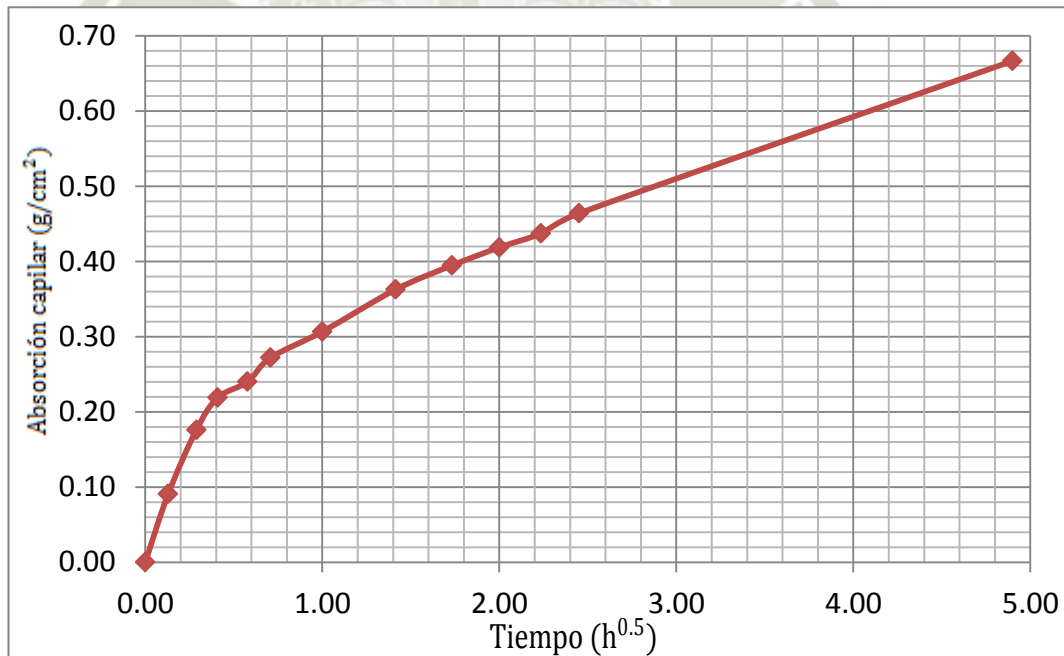
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15 Resistencia a la compresión diseño ACI - IP - 280 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 16 Curva de absorción capilar diseño ACI - IP - 280 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.5. MÉTODO ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 92 Resultados en estado fresco diseño ACI - HS - 210.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 3.576 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.125 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.001888 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1827.86 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.044$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.044$
Contenido de cemento.	$C = 342.91 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1938.09 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 5.69 \%$
Por olla de Washington	$\% = 4.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	17.3°
SLUMP	4"

Fuente: Elaboración propia.

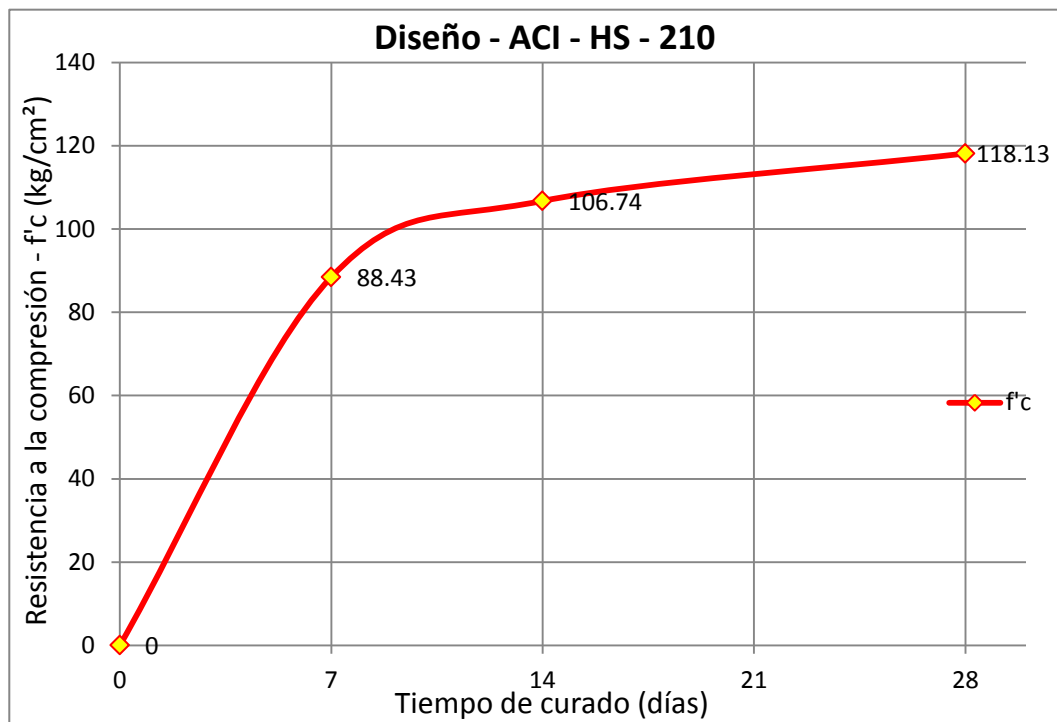
• **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 93 Resultados en estado endurecido diseño ACI - HS - 210.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	88.43
		14	106.74
		28	118.13
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3013$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2703.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3220.5$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1507$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1577.8$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2259.51$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 30.17 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 6.45$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 6.78$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 6.62$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 11.94$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.958$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.151 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 12.35$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.369$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.159 %	

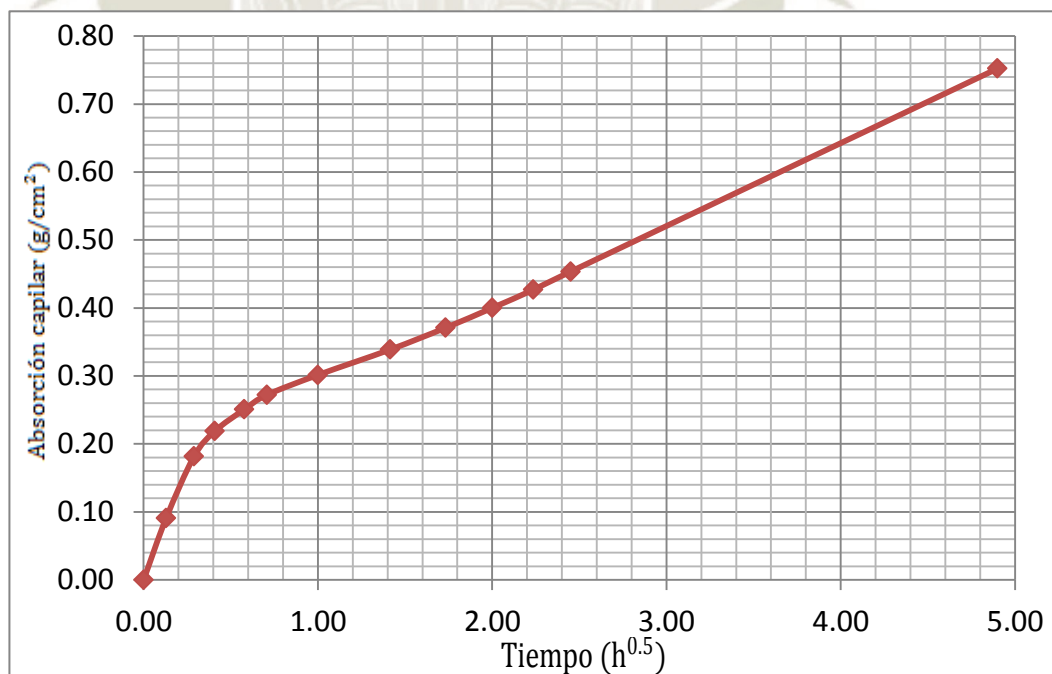
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 17 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 210.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 18 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 210.



Fuente: Elaboración propia.

**5.3.6. MÉTODO ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm² +
ADITIVO – REDUCCION 10%.**

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 94 Resultados en estado fresco diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 3.545 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.125 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.001888 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1811.44 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.035$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.035$
Contenido de cemento.	$C = 345.894 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1902.75 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 4.8 \%$
Por olla de Washington	$\% = 3.8 \%$
TEMPERATURA (°C)	15.5°
SLUMP	4"

Fuente: Elaboración propia.

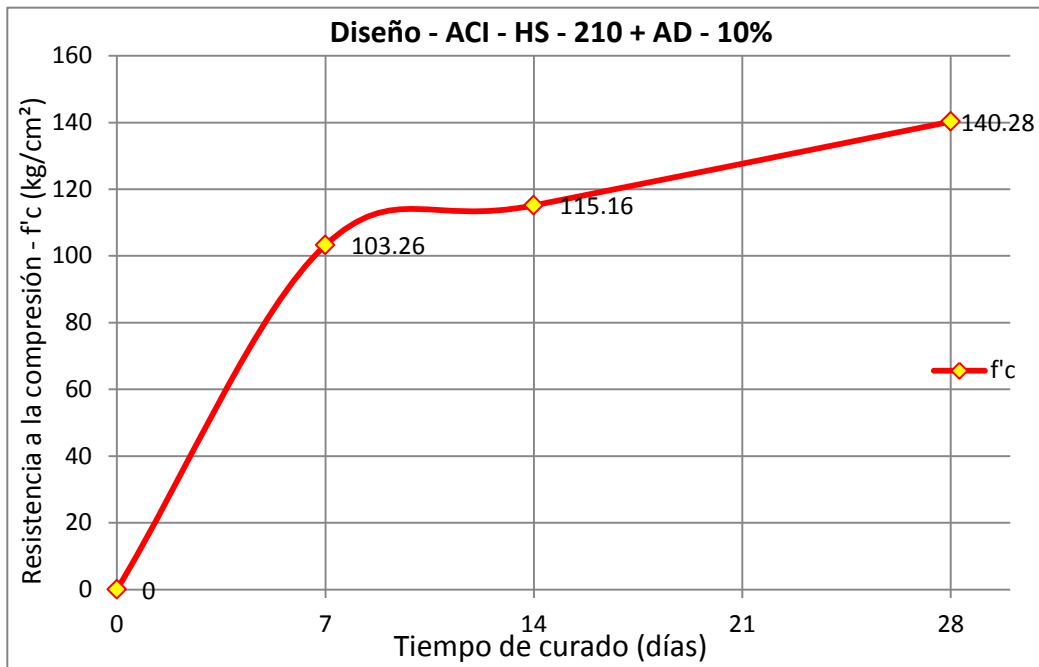
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 95 Resultados en estado endurecido diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	103.26
		14	115.16
		28	140.28
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3006$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2716.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3103.5$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1438$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1631.0$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2124.76$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 23.24 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 5.45$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 5.26$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 5.36$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 10.213$ cm	
Altura final		$h_2 = 10.222$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.085 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 10.584$ cm	
Altura final		$h_2 = 10.596$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.11 %	

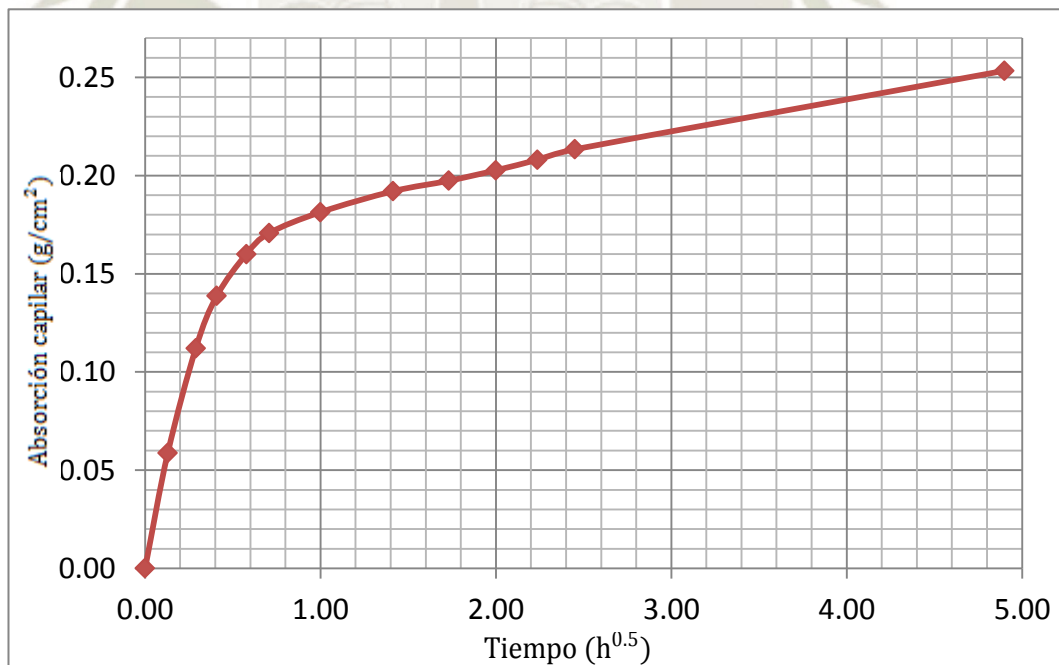
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 19 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 20 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.7. MÉTODO DE ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 96 Resultados estado fresco diseño ACI - HS - 280.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 3.690 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.125 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.001888 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1888.24 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.012$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.012$
Contenido de cemento.	$C = 380.09 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1940.71 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 2.7 \%$
Por olla de Washington	$\% = 3.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	17.4°
SLUMP	4"

Fuente: Elaboración propia.

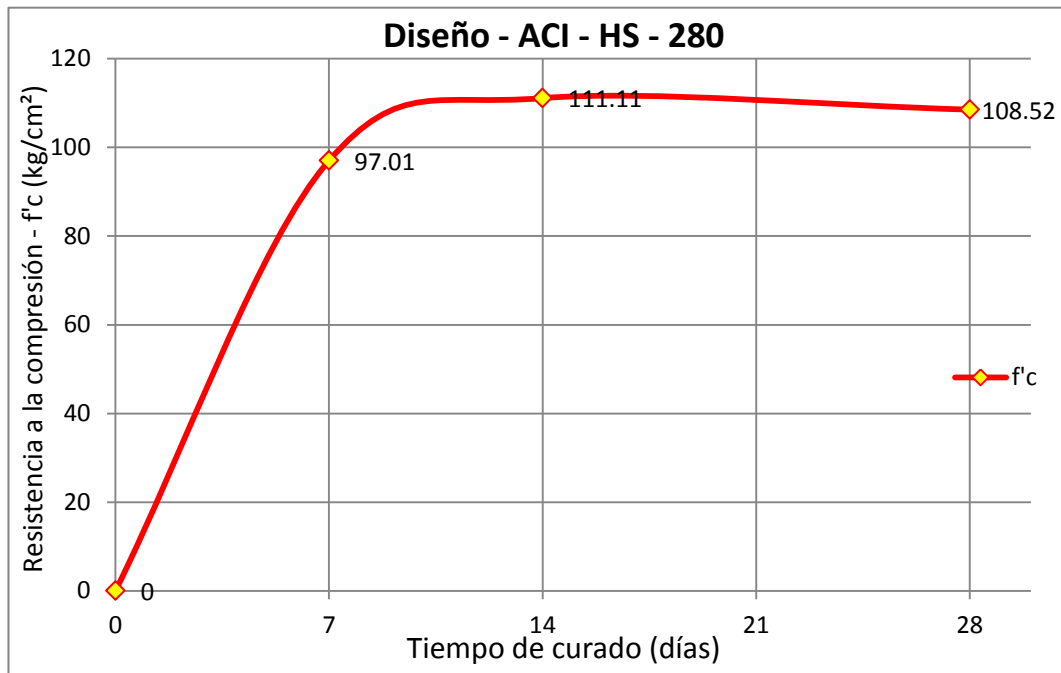
• **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 97 Resultados en estado endurecido diseño ACI - HS - 280.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	97.01
		14	111.11
		28	108.52
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 2934.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2670.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3160.5$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1436.0$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1548.6$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2163.22$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 28.41 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 6.25$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 6.32$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 6.29$ cm	
Observación		Fuga de agua	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 11.033$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.048$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.136 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 10.256$ cm	
Altura final		$h_2 = 10.271$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.143 %	

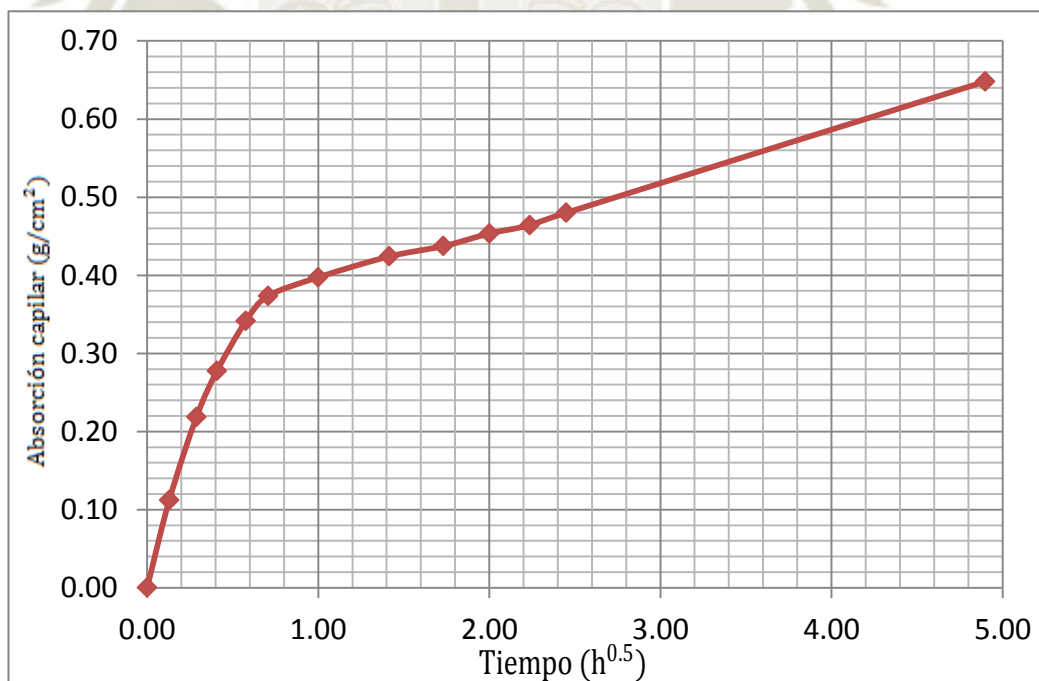
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 21 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 280.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 22 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 280.



Fuente: Elaboración propia.

**5.3.8. MÉTODO DE ACI - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm² +
ADITIVO – REDUCCION 10%.**

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 98 Resultados en estado fresco diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 10.982 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.300 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.005849 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1826.30 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.028$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.028$
Contenido de cemento.	$C = 374.17 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1905.66 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 4.16 \%$
Por olla de Washington	$\% = 4 \%$
TEMPERATURA (°C)	16.1°
SLUMP	3"

Fuente: Elaboración propia.

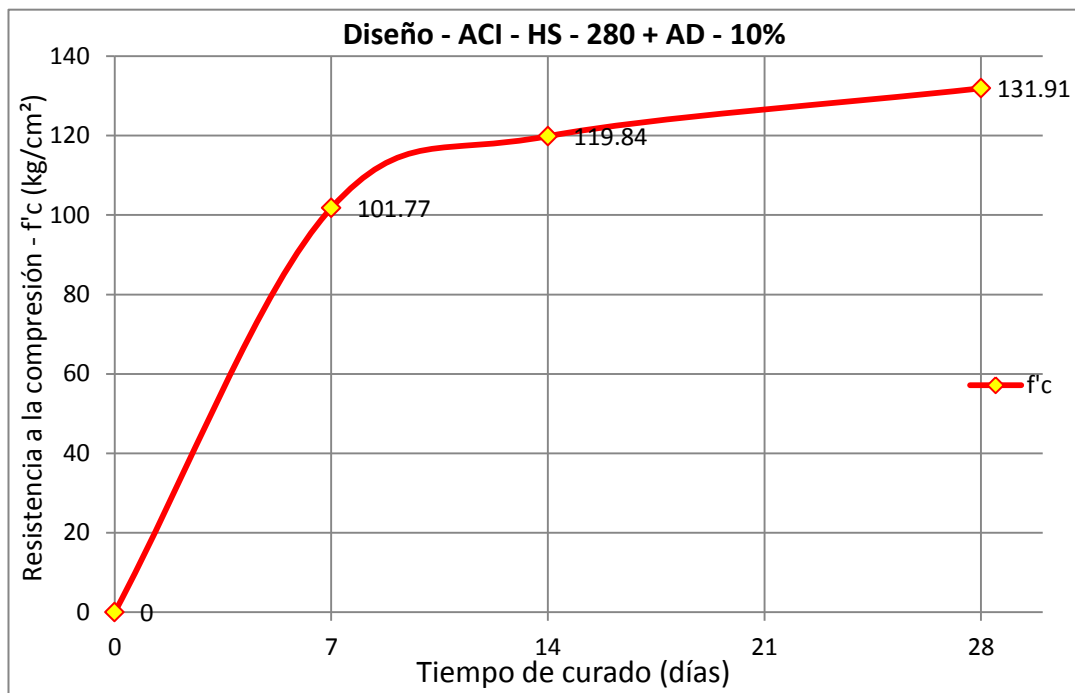
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 99 Resultado en estado endurecido diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	101.77
		14	119.84
		28	131.91
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3261.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2965.0$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3383.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1562.0$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1628.5$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2112.93$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 22.93 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 5.15$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 5.05$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 5.1$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 12.345$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.353$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.07 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 10.379$ cm	
Altura final		$h_2 = 10.39$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.106 %	

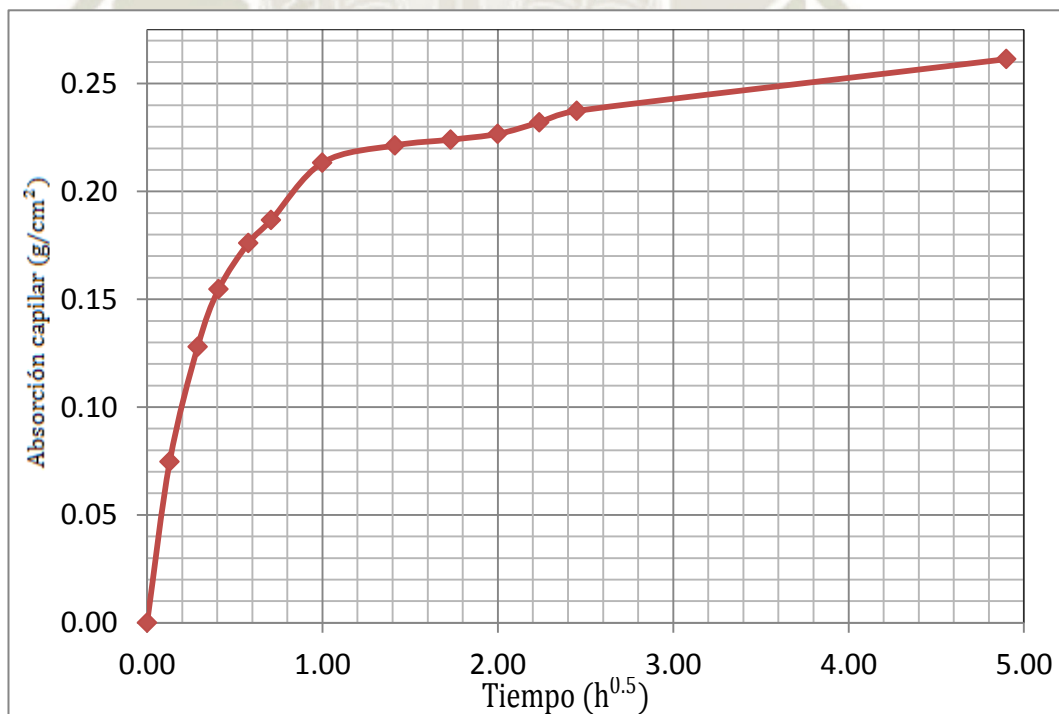
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 23 Resistencia a la compresión diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 24 Curva de absorción capilar diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.9. MÉTODO DE CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 100 Resultados en estado fresco diseño CA - IP - 210.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 15.824 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 2.451 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.007088 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1886.70 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.024$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.024$
Contenido de cemento.	$C = 349.61 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1961.82 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 3.83 \%$
Por olla de Washington	$\% = 3.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	16.7°
SLUMP	4.5"

Fuente: Elaboración propia.

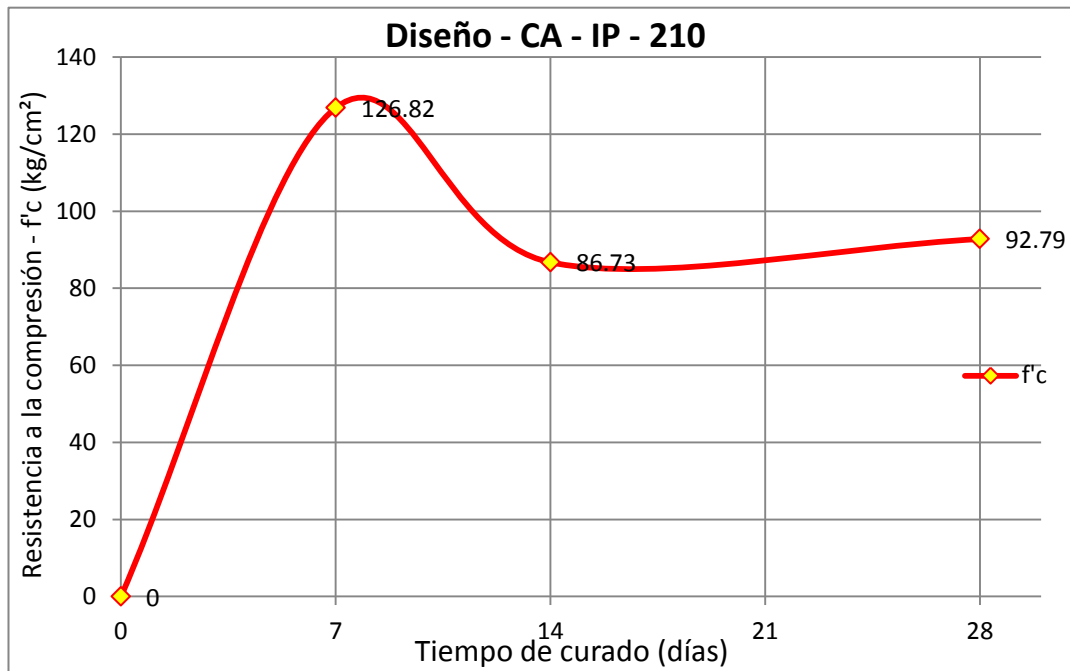
• **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 101 Resultados en estado endurecido diseño CA - IP - 210.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	126.82
		14	86.73
		28	92.79
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3218.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 3160.0$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3394.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1564$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1726.8$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 1979.95$ kg/m ³	
Cantidad de poros		% Poros = 12.78%	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 7.75$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 7.24$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 7.50$ cm	
Observación		Fuga de agua.	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 11.589$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.607$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.158 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 11.302$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.322$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.177 %	

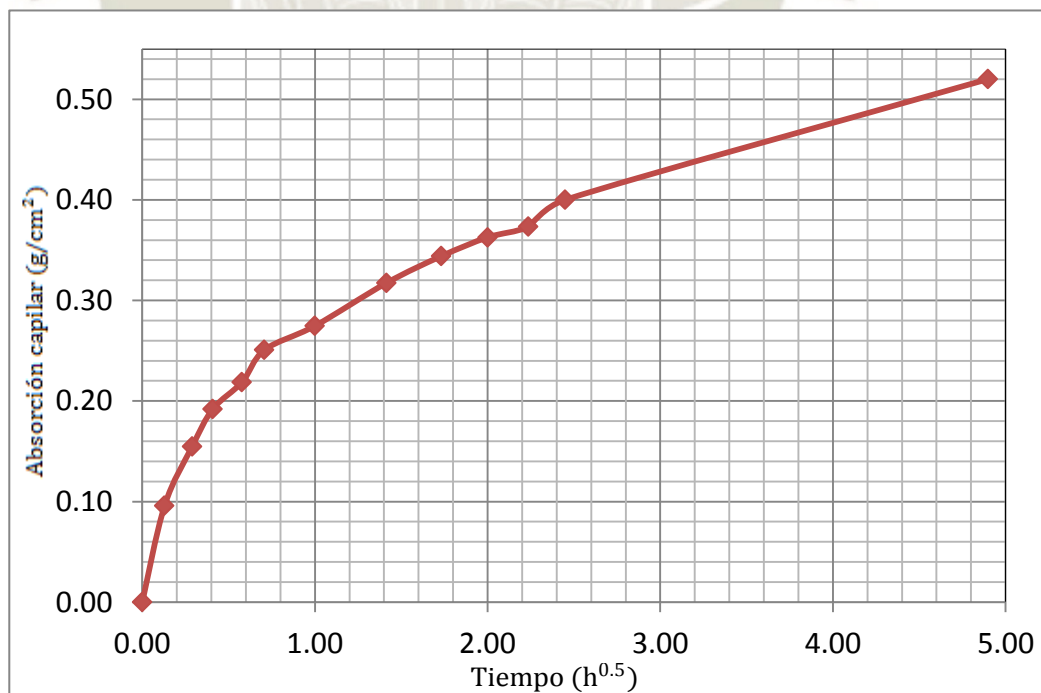
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 25 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 210.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 26 Curva de absorción capilar diseño CA - IP - 210.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.10. MÉTODO DE CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 210 kg/cm² + ADITIVO.

- Resultados en estado fresco.

Tabla 102 Resultado en estado fresco diseño ACI - IP - 210 + AD.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 15.515 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 2.451 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.007088 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1843.12 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.05$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.05$
Contenido de cemento.	$C = 340.95 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1964.55 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 6.18 \%$
Por olla de Washington	$\% = 6 \%$
TEMPERATURA (°C)	16.2°
SLUMP	6.5''

Fuente: Elaboración propia.

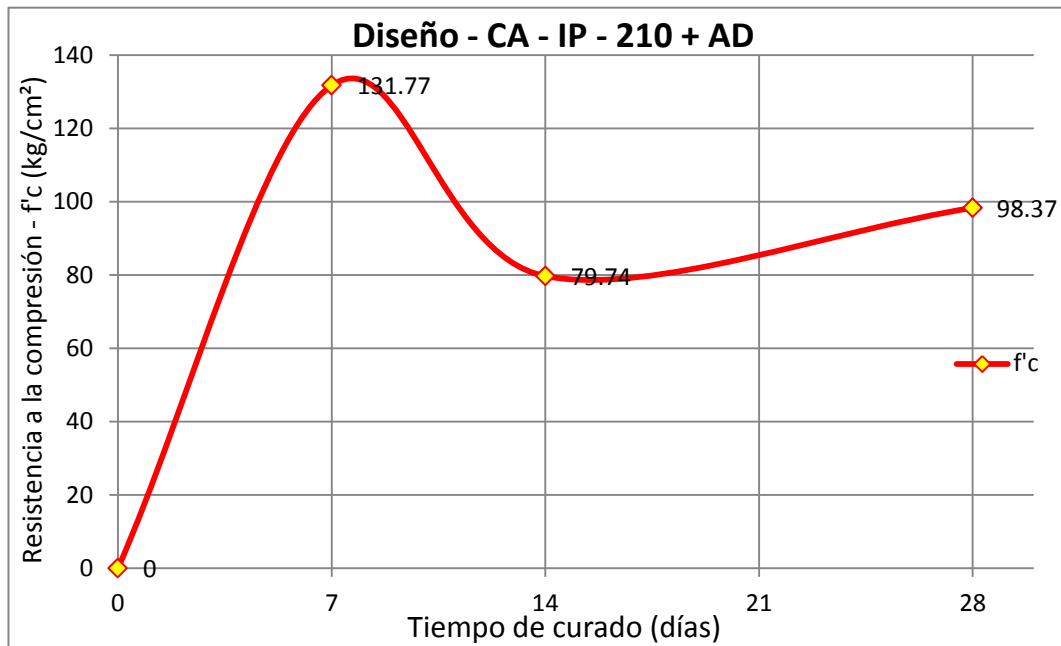
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 103 Resultado en estado endurecido diseño CA - IP - 210 + AD.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	131.77
		14	79.74
		28	98.37
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3225.5$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 3015.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3342.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1560.5$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1692.7$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2072.51$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 18.33 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 8.02$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 7.68$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 7.85$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 12.33$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.348$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.151 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 11.538$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.557$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.162 %	

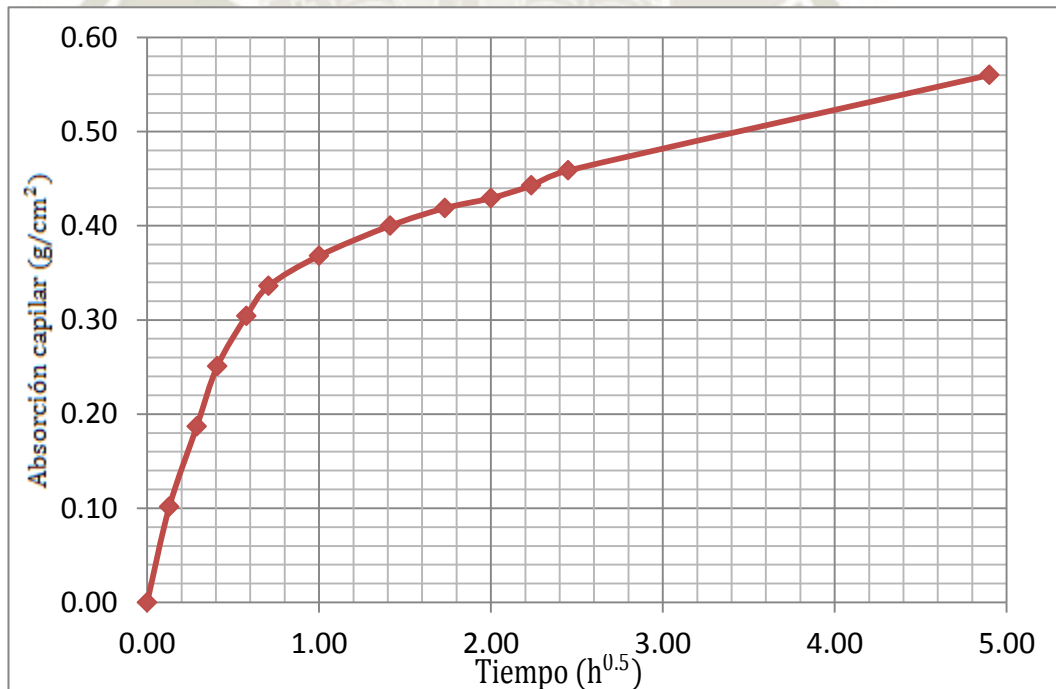
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 27 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 210 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28 Curva de absorción capilar diseño CA - IP -210 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.11. MÉTODO CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 104 Resultados en estado fresco diseño CA - IP - 280.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 3.695 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.125 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.001888 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1890.89 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.023$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.023$
Contenido de cemento.	$C = 376.30 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1963.53 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 1.5 \%$
Por olla de Washington	$\% = 3.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	16.4°
SLUMP	4"

Fuente: Elaboración propia.

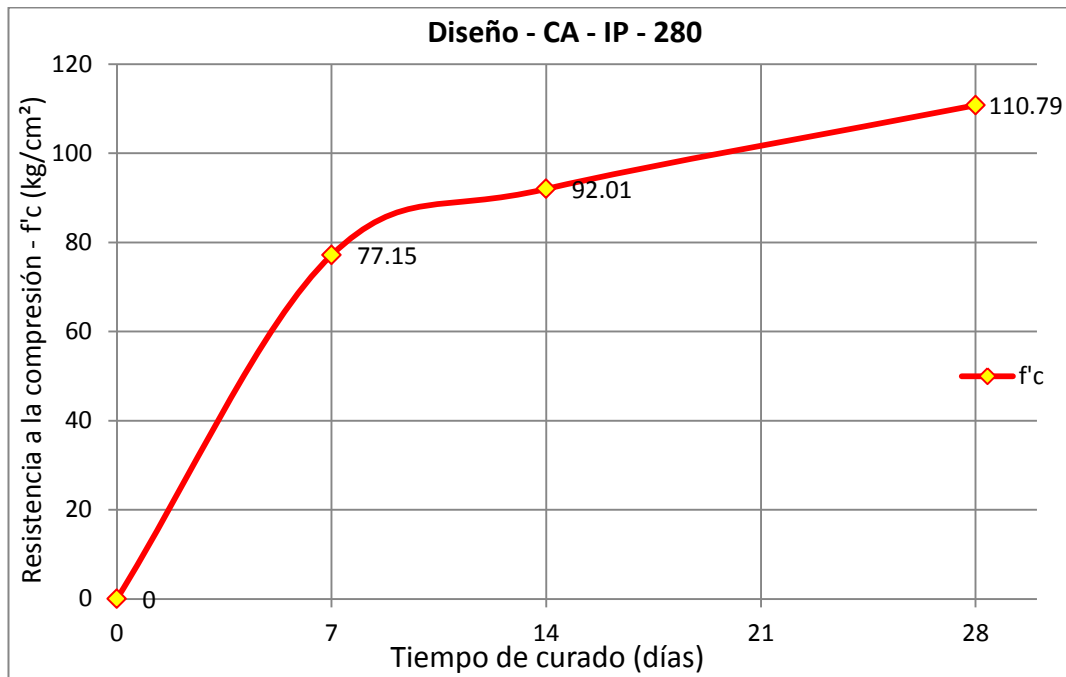
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 105 Resultados en estado endurecido diseño CA - IP - 280.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	77.15
		14	92.01
		28	110.79
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3176.5$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2964$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3367$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1585.0$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1663.3$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2149.38$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 22.62 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 6.5$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 6.8$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 6.65$ cm	
Observación		Fuga de agua	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 11.45$ cm	
Altura final		$h_2 = 11.466$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.146 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 12.378$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.398$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.164 %	

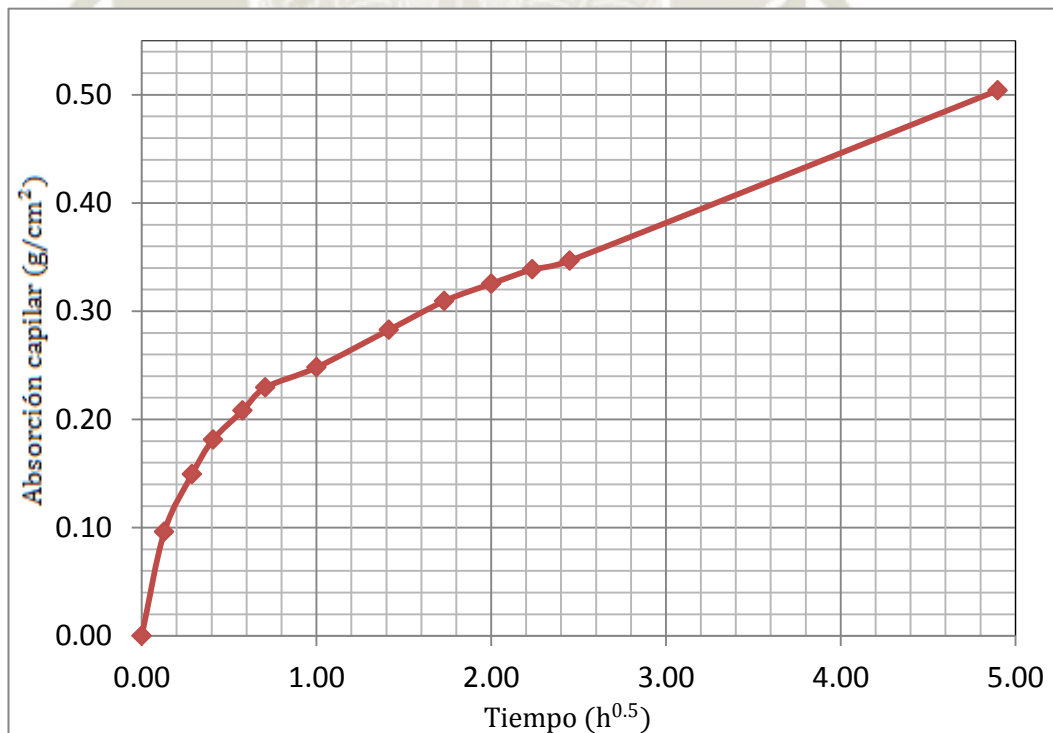
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 29 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 280.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 30 Curva de absorción capilar diseño CA - IP - 280.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.12. MÉTODO CA - CEMENTO IP – RESISTENCIA 280 kg/cm² + ADITIVO.

- Resultados en estado fresco.

Tabla 106 Resultados en estado fresco diseño CA - IP - 280 + AD.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 3.613 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.125 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.001888 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1847.46 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.049$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.049$
Contenido de cemento.	$C = 366.97 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1966.6 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 6.06 \%$
Por olla de Washington	$\% = 5.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	15.7°
SLUMP	7"

Fuente: Elaboración propia.

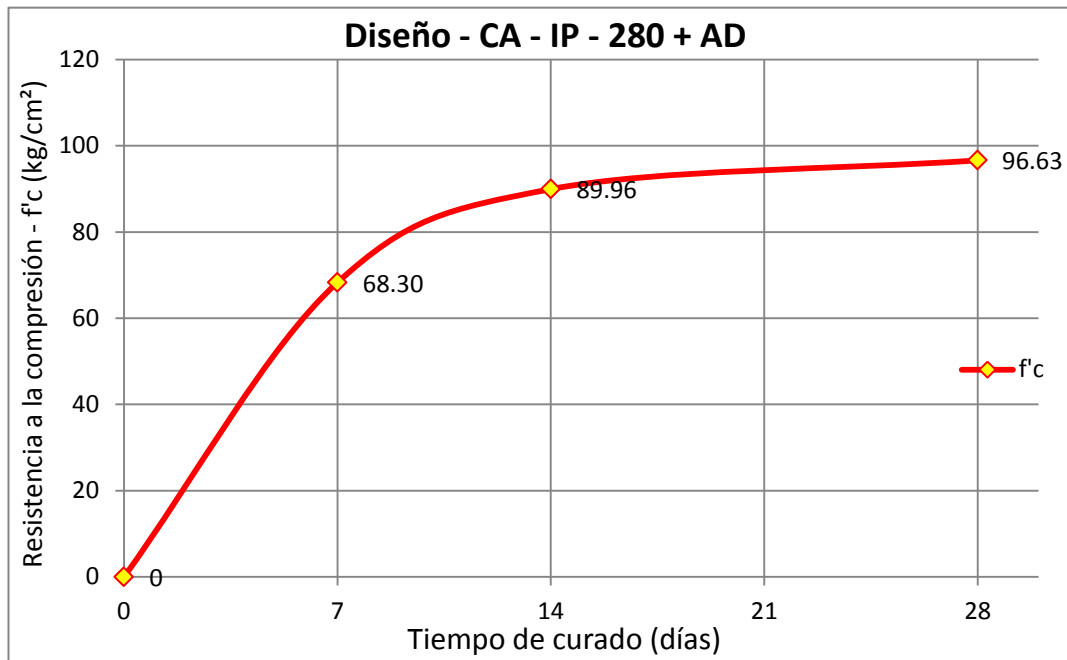
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 107 Resultado en estado endurecido diseño CA - IP - 280 + AD.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	68.30
		14	89.96
		28	96.63
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3087.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2892.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3332.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1545.0$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1618.6$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2146.57$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 24.59 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 5.50$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 5.85$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 5.68$ cm	
Observación		Fuga de agua	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 12.738$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.758$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.152 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 12.422$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.441$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.158 %	

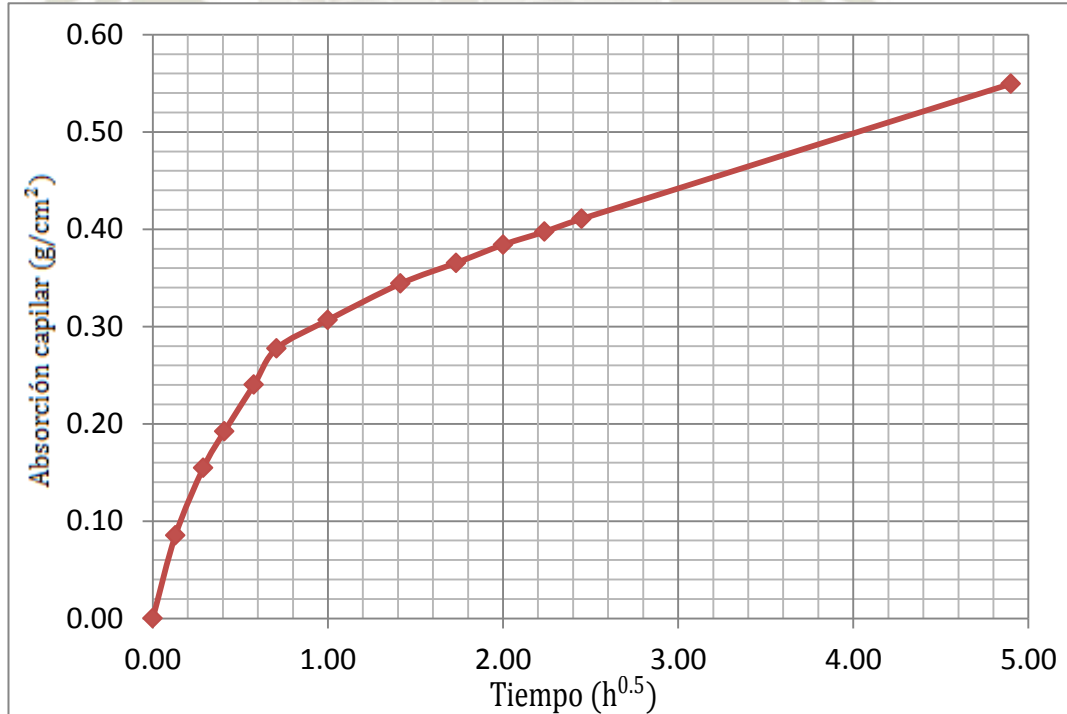
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 31 Resistencia a la compresión diseño CA - IP - 280 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 32 Curva de absorción capilar diseño CA - IP - 280 + AD.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.13. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 108 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 210.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 10.991 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.3 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.005849 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1827.83 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.05$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.05$
Contenido de cemento.	$C = 340.95 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1957.1 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 6.6 \%$
Por olla de Washington	$\% = 4.4 \%$
TEMPERATURA (°C)	16.41°
SLUMP	5''

Fuente: Elaboración propia.

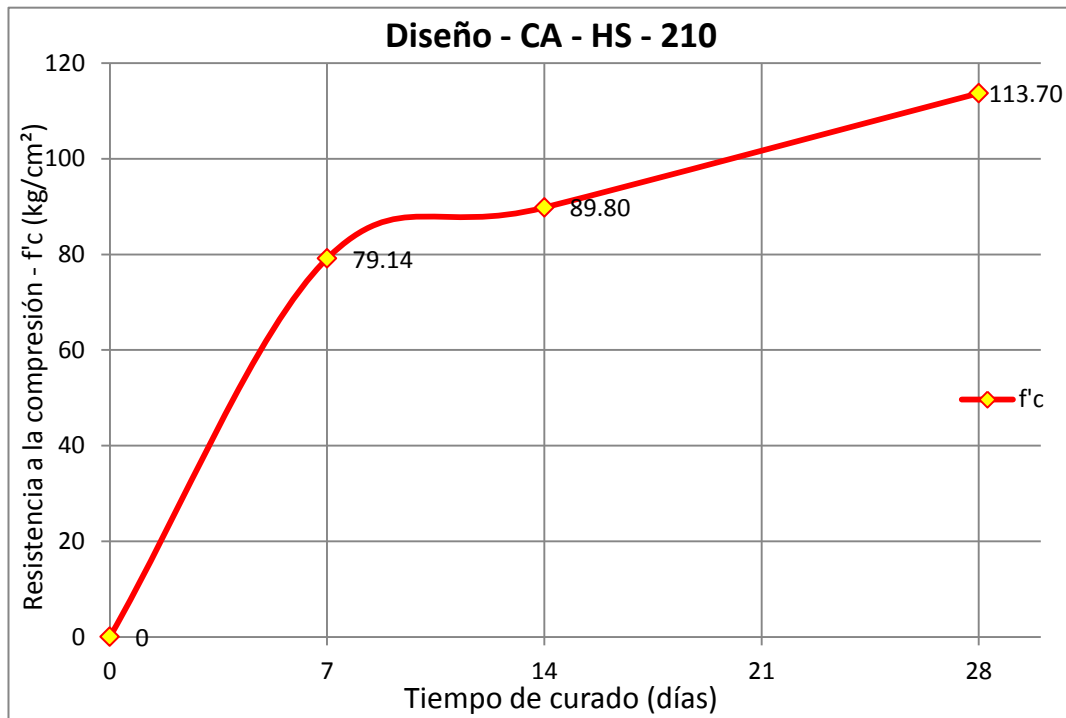
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 109 Resultado en estado endurecido diseño CA - HS - 210.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	79.14
		14	89.80
		28	113.70
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3093.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2811.0$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3323.5$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1552$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1586.8$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2232.72$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 28.93 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 6.2$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 6.4$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 6.3$ cm	
Observación		Fuga de agua	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 12.833$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.851$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.135 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 13.493$ cm	
Altura final		$h_2 = 13.513$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.148 %	

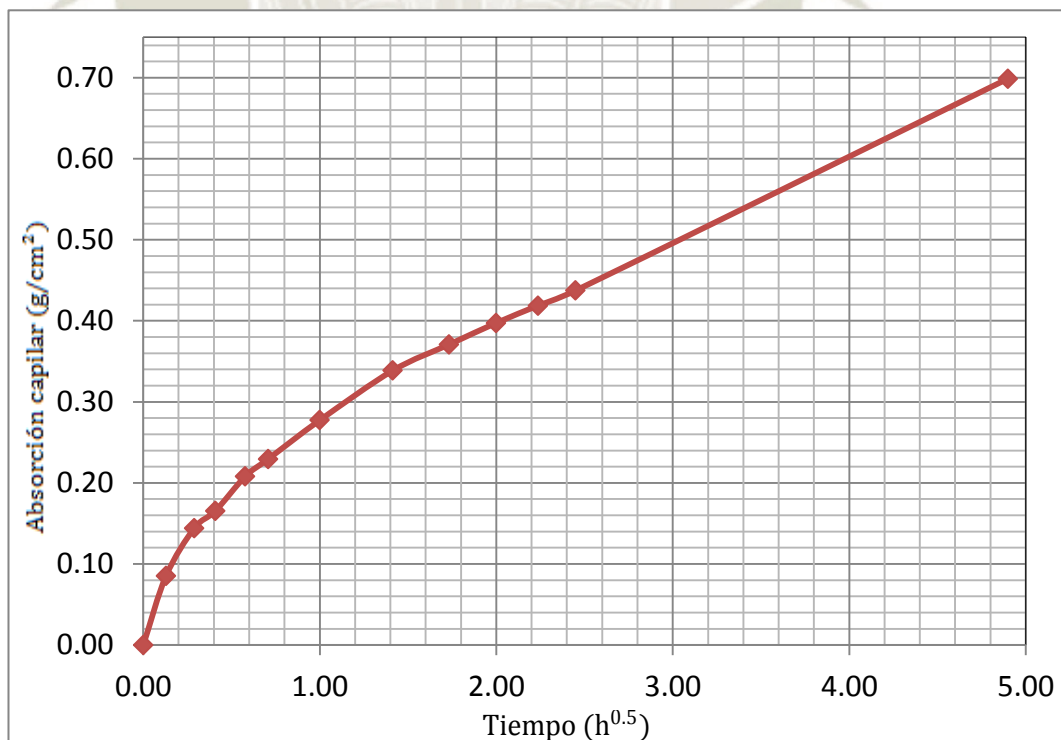
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 33 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 210.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 34 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 210.



Fuente: Elaboración propia.

**5.3.14. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 210 kg/cm² +
ADITIVO – REDUCCIÓN 10%.**

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 110 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 10.929 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.3 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.005849 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1817.23 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.06$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.06$
Contenido de cemento.	$C = 337.74 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1923.03 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 5.5 \%$
Por olla de Washington	$\% = 4 \%$
TEMPERATURA (°C)	16°
SLUMP	4"

Fuente: Elaboración propia.

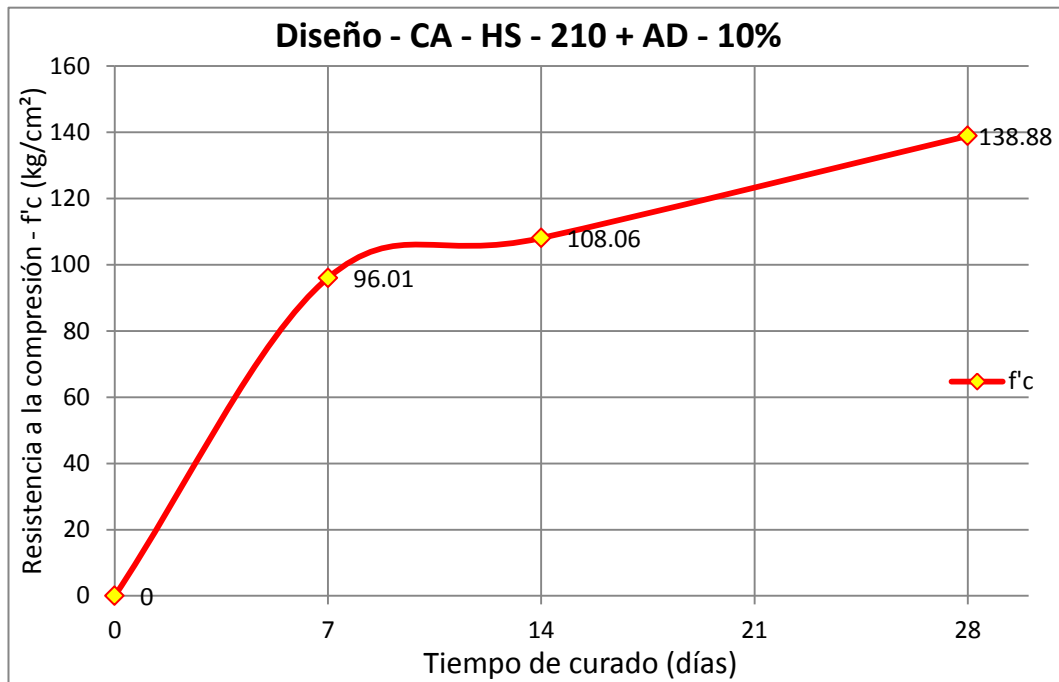
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 111 Resultados en estado endurecido diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	96.01
		14	108.06
		28	138.88
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3070.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2745.0$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3259.5$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1540$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1644.2$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2278.0$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 27.82 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 5.85$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 5.60$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 5.73$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 13.082$ cm	
Altura final		$h_2 = 13.098$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.117 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 12.726$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.742$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.128 %	

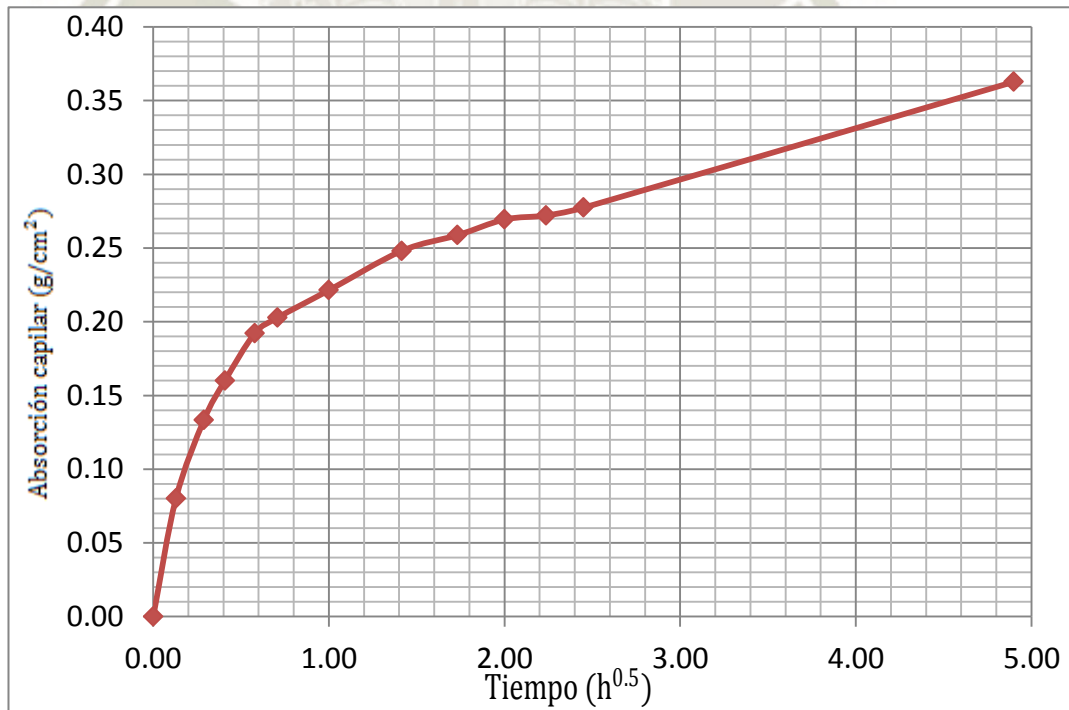
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 35 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 36 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

5.3.15. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm².

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 112 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 280.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 11.018 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.3 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.005849 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1832.45 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.05$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.05$
Contenido de cemento.	$C = 366.62 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1958.66 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 6.44 \%$
Por olla de Washington	$\% = 6.55 \%$
TEMPERATURA (°C)	17.0°
SLUMP	4"

Fuente: Elaboración propia.

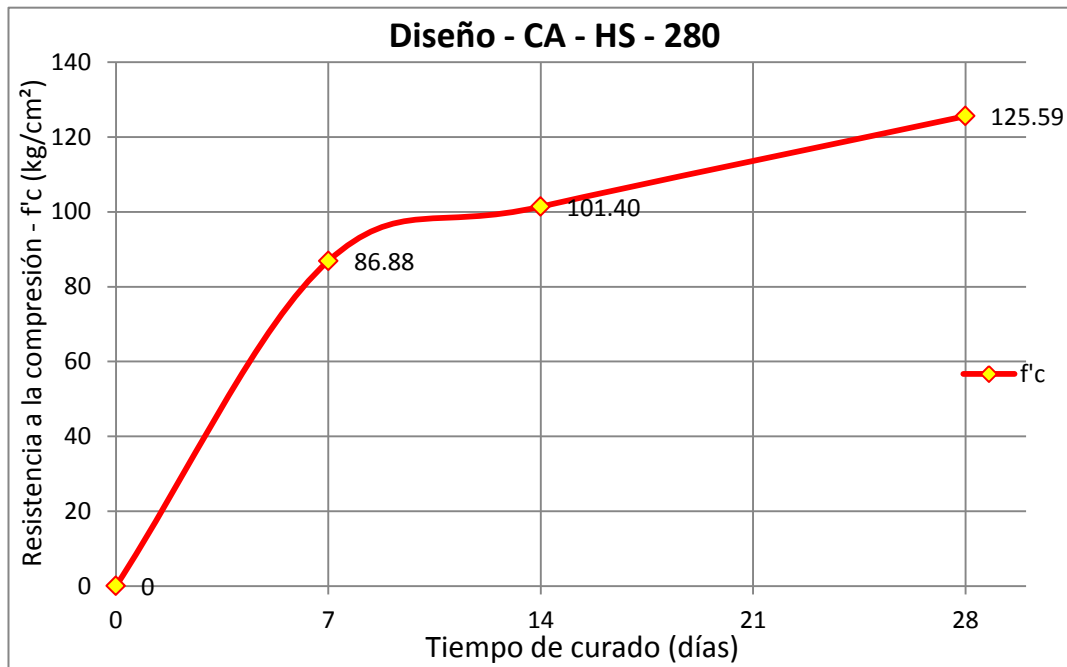
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 113 Resultados en estado endurecido diseño CA - HS - 280.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	86.88
		14	101.40
		28	125.59
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3015.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2790.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3191.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1482.0$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1632.8$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2132.59$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 23.43 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 6.10$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 6.05$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 6.75$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 12.662$ cm	
Altura final		$h_2 = 12.678$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.129 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 13.307$ cm	
Altura final		$h_2 = 13.326$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.143 %	

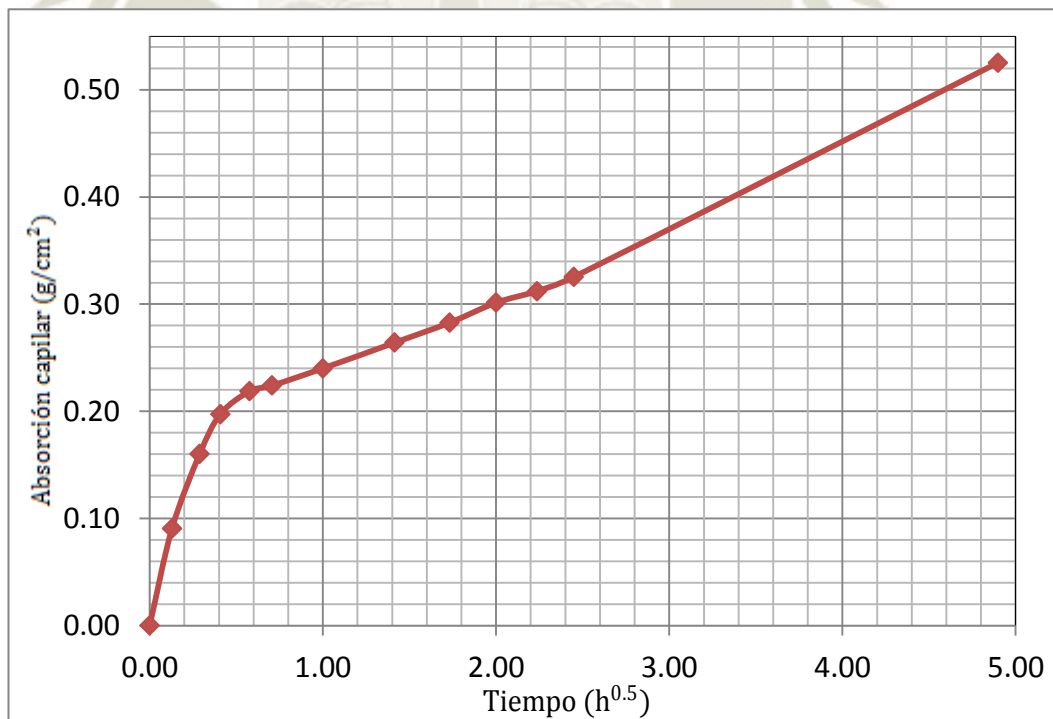
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 37 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 280.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 38 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 280.



Fuente: Elaboración propia.

**5.3.16. MÉTODO CA - CEMENTO HS – RESISTENCIA 280 kg/cm²+
ADITIVO – REDUCCION 10%.**

- **Resultados en estado fresco.**

Tabla 114 Resultados en estado fresco diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
Masa del recipiente + concreto.	$M_c = 10.980 \text{ kg}$
Masa del recipiente.	$M_m = 0.3 \text{ kg}$
Volumen del recipiente.	$V_m = 0.005849 \text{ m}^3$
Volumen de concreto, por diseño.	$Y_d = 1 \text{ m}^3$
Densidad (masa unitaria).	$D = 1825.95 \text{ kg/m}^3$
Rendimiento.	$Y = 1.04$
Rendimiento relativo.	$R_y = 1.04$
Contenido de cemento.	$C = 370.14 \text{ kg}$
CONTENIDO DE AIRE	
Densidad teórica.	$T = 1924.47 \text{ kg/m}^3$
Porcentaje de aire calculado	$A = 5.12 \%$
Por olla de Washington	$\% = 4.5 \%$
TEMPERATURA (°C)	16.5°
SLUMP	3"

Fuente: Elaboración propia.

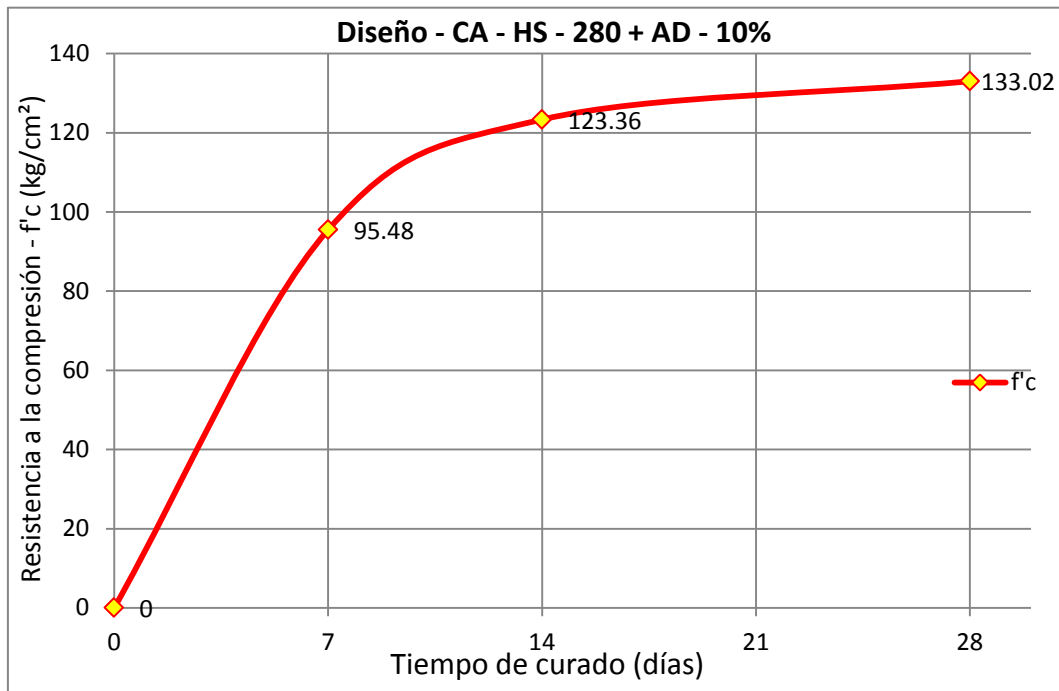
- **Resultados en estado endurecido.**

Tabla 115 Resultados en estado endurecido diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
Relación a/c	Resistencia de diseño f'_{cr} (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Resistencia obtenida f'_c (kg/cm ²)
0.465	365	7	95.48
		14	123.36
		28	133.02
POROSIDAD			
Peso antes del horno		$W_i = 3310.0$ g	
Peso seco al horno		$W_s = 2936.5$ g	
Peso saturado superficialmente seco		$W_{sss} = 3398.0$ g	
Peso sumergido		$W_{sum} = 1654.0$ g	
Peso específico de masa		$Pe_m = 1683.8$ kg/m ³	
Peso específico aparente		$Pe_{apa} = 2289.67$ kg/m ³	
Cantidad de poros		%Poros = 26.46 %	
PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN			
Profundidad máxima 1		$P_1 = 5.65$ cm	
Profundidad máxima 1		$P_2 = 5.41$ cm	
Promedio de penetración		$P_{prom} = 5.53$ cm	
Observación		Ninguna	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
SULFATO DE SODIO			
Altura inicial		$h_i = 13.38$ cm	
Altura final		$h_2 = 13.394$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.107 %	
SULFATO DE MAGNESIO			
Altura inicial		$h_i = 13.302$ cm	
Altura final		$h_2 = 13.318$ cm	
Diferencia de alturas porcentual		%h = 0.115 %	

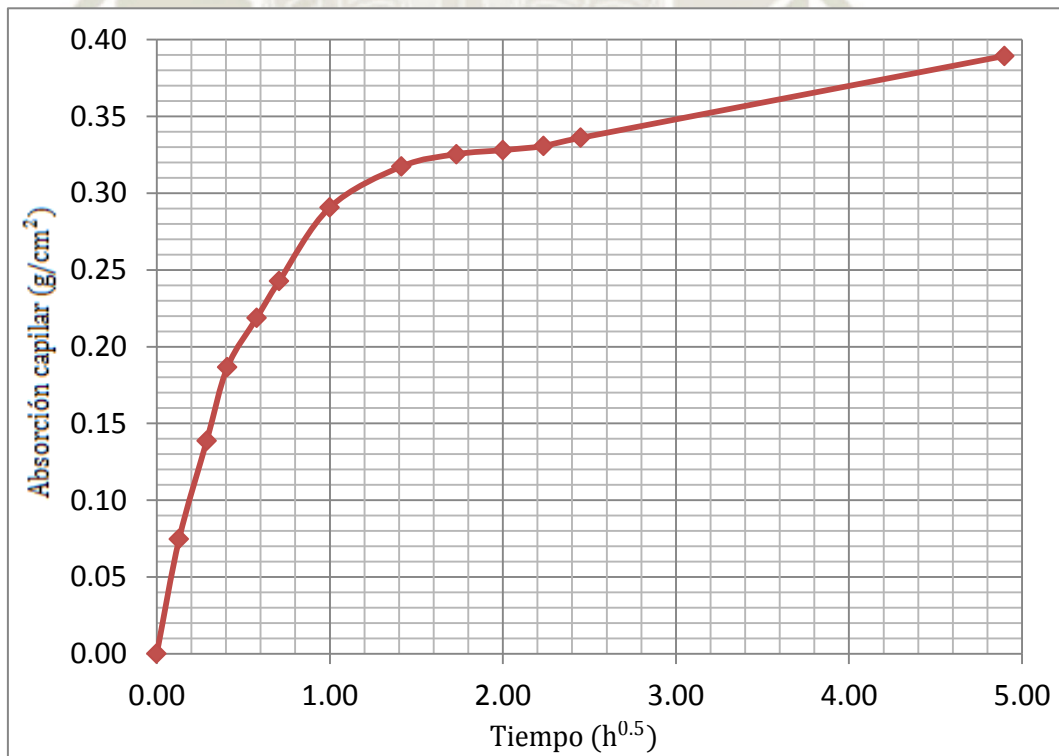
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 39 Resistencia a la compresión diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 40 Curva de absorción capilar diseño CA - HS - 280 + AD - 10%.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

6. SISTESIS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

6.1. RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO.

A continuación, se presentan los resultados comparativos de cada uno de los ensayos en estado fresco que se realizaron al concreto de cada uno de los diseños de mezcla propuestos en la presente investigación.

6.1.1. PESO UNITARIO DEL CONCRETO.

Este es el peso que tiene el concreto inmediatamente después de haber sido mezclado, la cual en el transcurso del tiempo que se realiza el fraguado y posterior curado del concreto disminuirá por la evaporación del agua que contiene la mezcla.

Tabla 116 Resultados de peso unitario, método ACI 211.1.

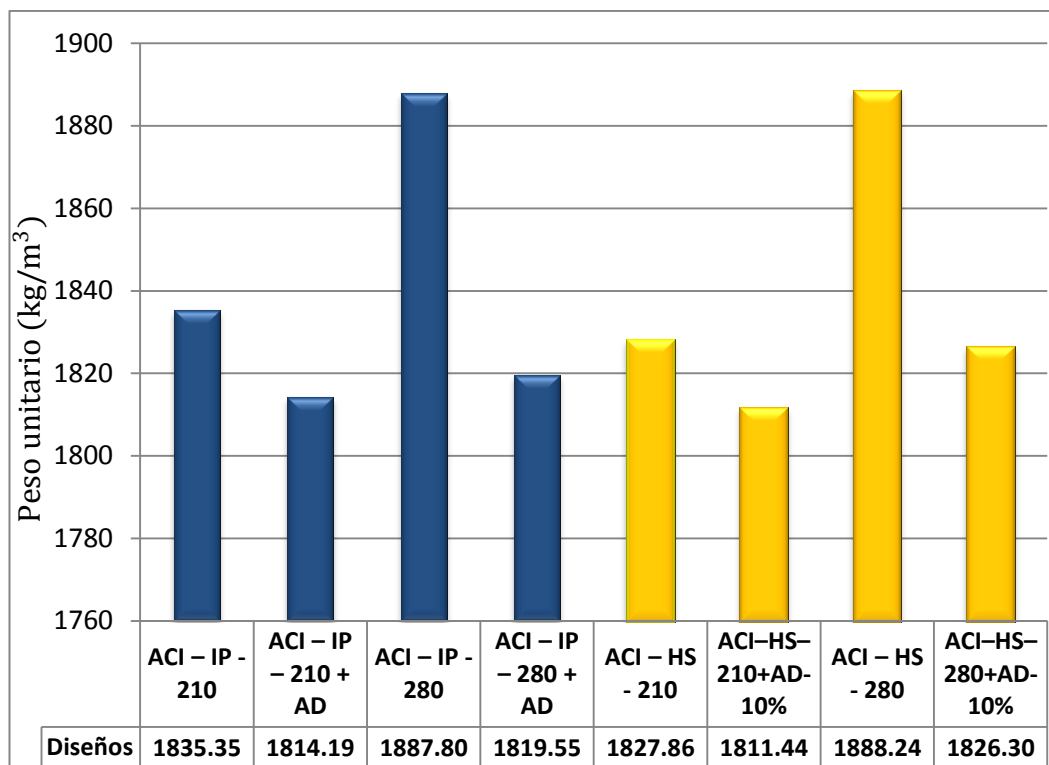
DISEÑO	D (kg/m ³)	M (kg)	Y (m ³)	C (kg/m ³)
ACI – IP - 210	1835.35	1914.71	1.043	343.24
ACI – IP – 210 + AD	1814.19	1917.40	1.057	338.69
ACI – IP - 280	1887.8	1917.71	1.016	378.89
ACI – IP – 280 + AD	1819.55	1920.6	1.056	364.54
ACI – HS - 210	1827.86	1909.02	1.044	342.91
ACI–HS–210+AD-10%	1811.44	1871.52	1.035	345.89
ACI – HS - 280	1888.24	1911.9	1.012	380.09
ACI–HS–280+AD-10%	1826.30	1877.09	1.028	374.17

Fuente: Elaboración propia.

Los diseños de mezcla en que se incorporó solo aditivo plastificante debido a que entre sus funciones está incorporar partículas de aire, se obtuvo un menor peso unitario, además de un mayor rendimiento de mezcla respecto a los diseños que no se le incorporó el aditivo.

El rendimiento de las mezclas en las que se incorporó aditivo plastificante y además se redujo en 10% la cantidad de agua es menor que la mezcla sin aditivo, debido a que su cantidad de aire incorporado es menor y se requiere mayor cantidad de material en la tanda de la mezcla.

Ilustración 41 Comparación de pesos unitarios, método ACI 211.1.



Fuente: Elaboración propia.

En los diseños de mezcla por el método de combinación de agregados se obtuvo un mayor rendimiento de la mezcla, además que el valor de esta propiedad es similar entre los diseños.

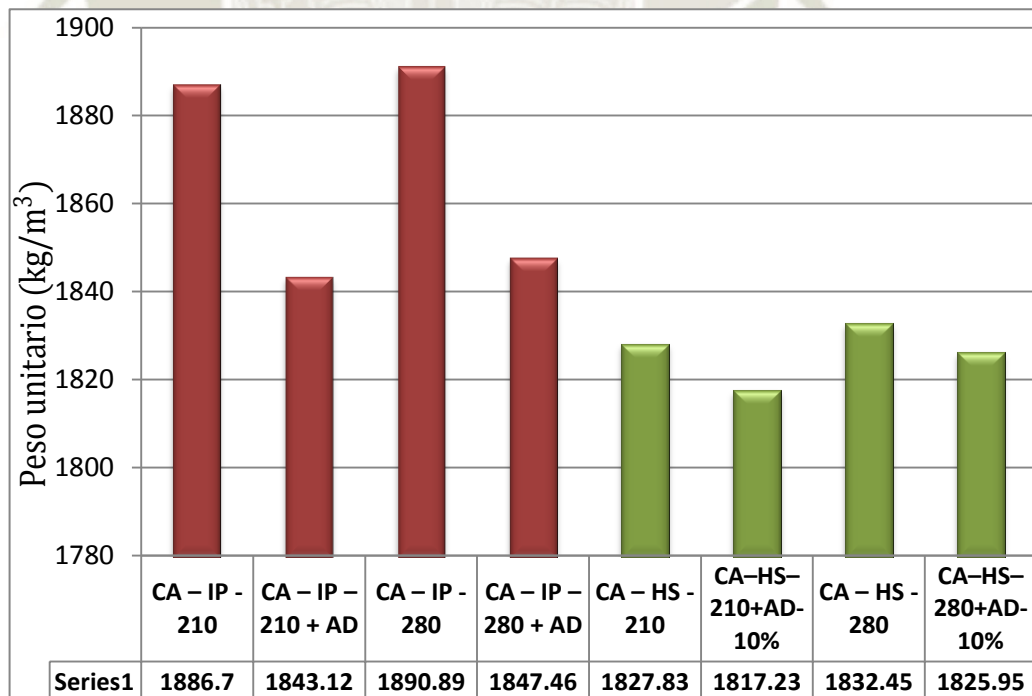
Tabla 117 Resultados de peso unitario, método de combinación de agregados.

DISEÑO	D (kg/m ³)	M (kg)	Y (m ³)	C (kg/m ³)
CA – IP - 210	1886.70	1932.39	1.024	349.61
CA – IP – 210 + AD	1843.12	1935.08	1.05	340.95
CA – IP - 280	1890.89	1934.21	1.023	376.30
CA – IP – 280 + AD	1847.46	1937.1	1.049	366.97
CA – HS - 210	1827.83	1927.79	1.05	340.95
CA–HS–210+AD-10%	1817.23	1894.13	1.06	337.74
CA – HS - 280	1832.45	1929.28	1.05	366.62
CA–HS–280+AD-10%	1825.95	1895.57	1.04	370.14

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de peso unitario de las mezclas por el método de la combinación de agregados son mayores respecto a los del método del ACI, debido a que en el diseño se tiene una mayor relación de agregado fino.

Ilustración 42 Comparación de pesos unitarios, método de combinación de agregados.

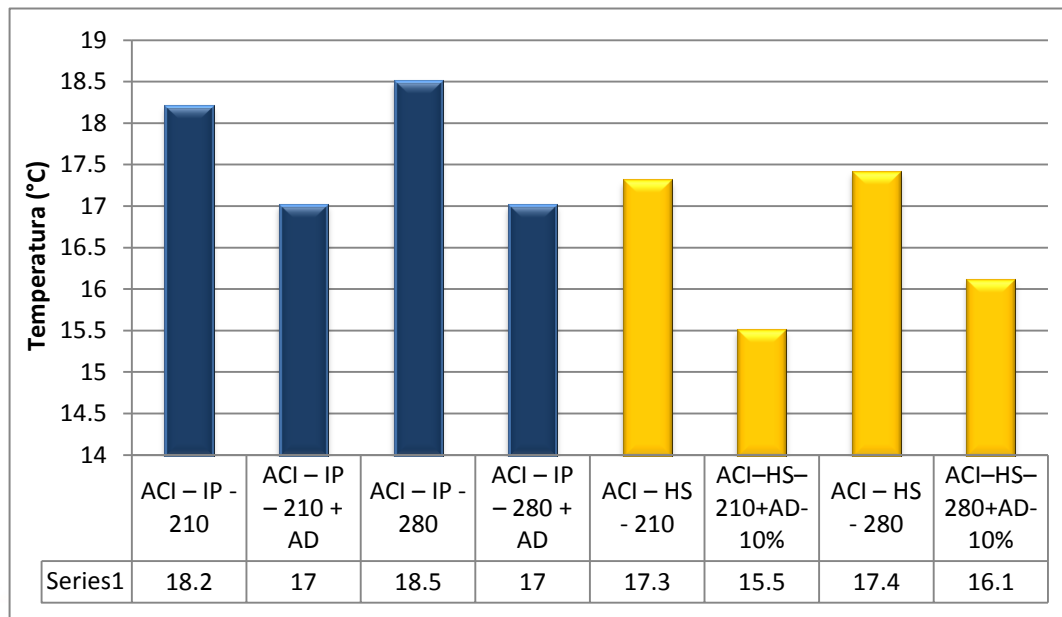


Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. TEMPERATURA.

Esta propiedad en estado fresco se ve afectada principalmente de por el uso de aditivo plastificante, disminuyendo la temperatura de la mezcla para retardar la velocidad de fraguado del concreto.

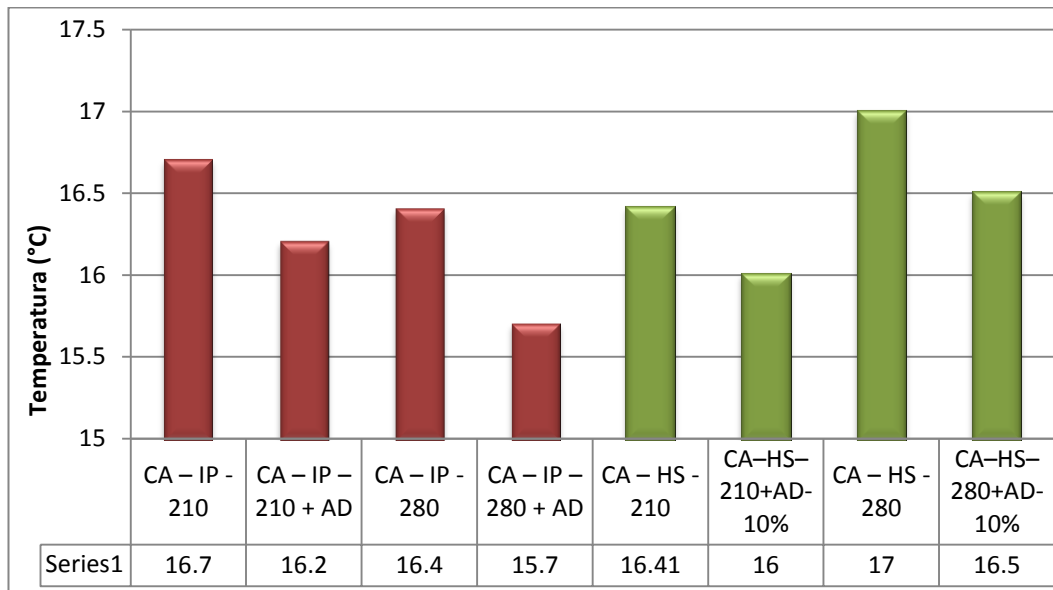
Ilustración 43 Comparación de temperaturas, método ACI 211.1.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se puede claramente que en los diseños que se incorporó aditivo la temperatura de la mezcla es menor, siendo aún más menor en las mezclas en las que se redujo 10% de la cantidad de agua, debido a que en estos diseños se tiene una menor relación agua/cemento, representando mayor la cantidad de cemento.

Ilustración 44 Comparación de temperaturas, método de combinación de agregados.



Fuente: Elaboración propia.

En el diseño de mezcla por el método de ACI la variación de temperatura es mayor que las mezclas por el método de combinación de agregados.

6.1.3. CONTENIDO DE AIRE.

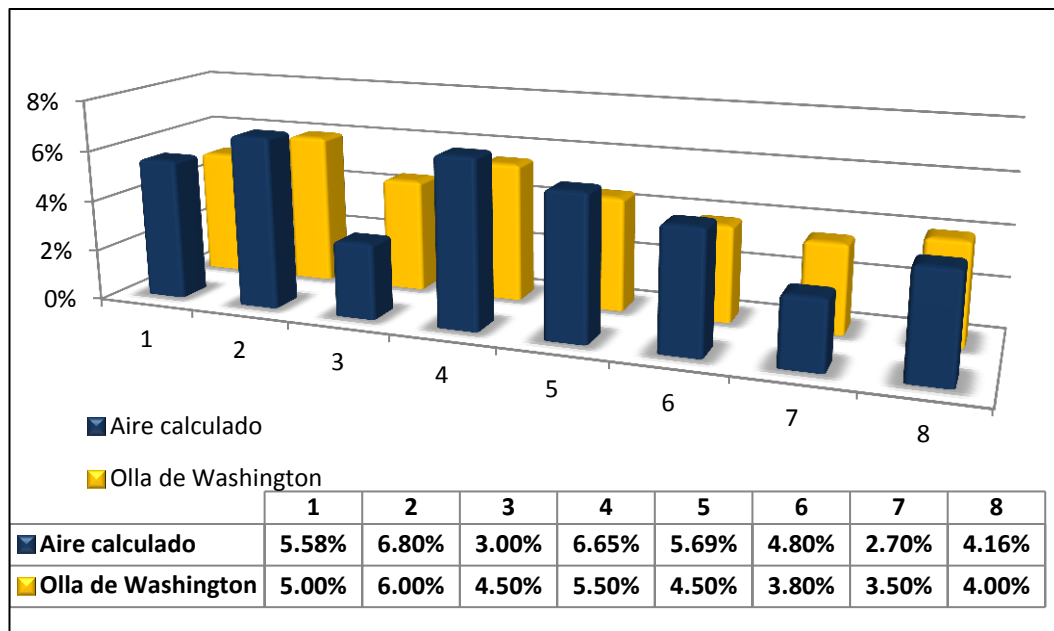
El contenido de aire presente en la mezcla depende directamente de la granulometría del agregado grueso y de la adición de aditivo a la mezcla. Pudiendo calcular este valor de manera analítica y experimental.

Tabla 118 Comparación de contenido de aire, método ACI 211.1.

N°	Diseño de mezcla	Aire calculado (%)	Olla de Washington (%)
1	ACI – IP - 210	5.58%	5.00%
2	ACI – IP – 210 + AD	6.80%	6.00%
3	ACI – IP - 280	3.00%	4.50%
4	ACI – IP – 280 + AD	6.65%	5.50%
5	ACI – HS - 210	5.69%	4.50%
6	ACI-HS-210+AD-10%	4.80%	3.80%
7	ACI – HS - 280	2.70%	3.50%
8	ACI-HS-280+AD-10%	4.16%	4.00%

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 45 Comparación de contenido de aire, método ACI 211.1.



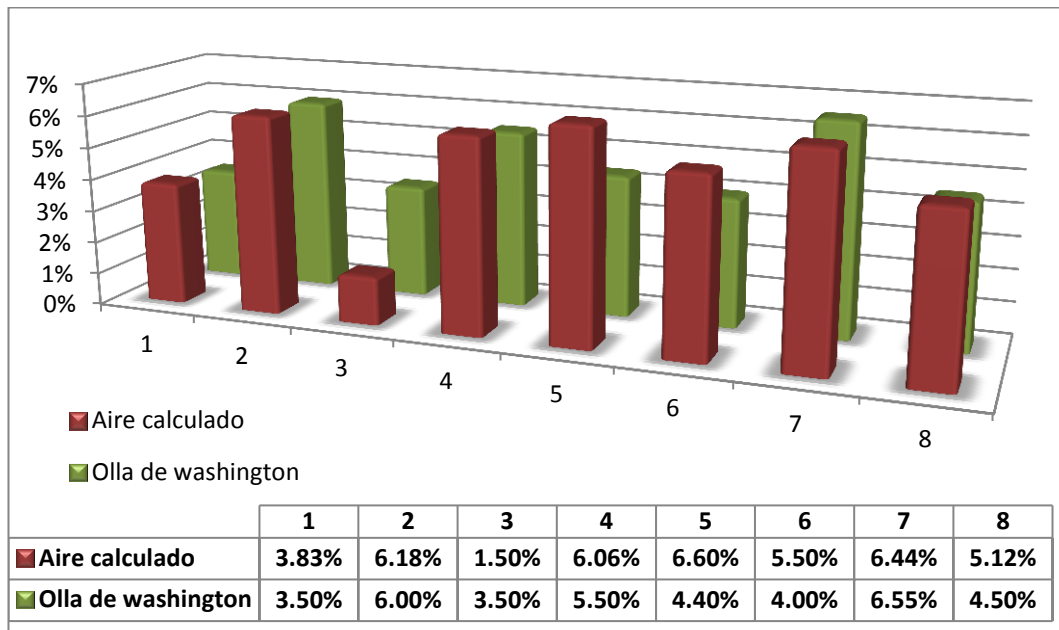
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 119 Comparación contenido de aire, método de combinación de agregados.

N°	Diseño de mezcla	Aire calculado (%)	Olla de Washington (%)
1	CA – IP - 210	3.83%	3.50%
2	CA – IP – 210 + AD	6.18%	6.00%
3	CA – IP - 280	1.50%	3.50%
4	CA – IP – 280 + AD	6.06%	5.50%
5	CA – HS - 210	6.60%	4.40%
6	CA–HS–210+AD-10%	5.50%	4.00%
7	CA – HS - 280	6.44%	6.55%
8	CA–HS–280+AD-10%	5.12%	4.50%

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 46 Comparación contenido de aire, método de combinación de agregados.



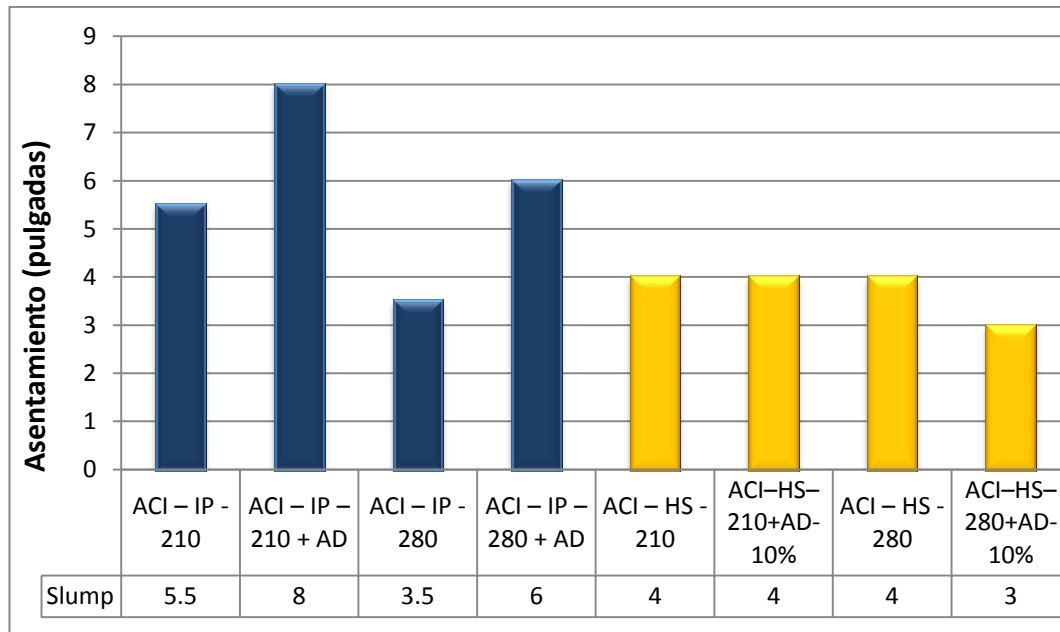
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que los valores del porcentaje de aire son similares entre el calculo analítico y el calculo experimental por la olla de Washigton. Además se demuestra que los diseños de mezcla que se incorporaron aditivo plastificante tiene mayor porcentaje de aire.

6.1.4. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.

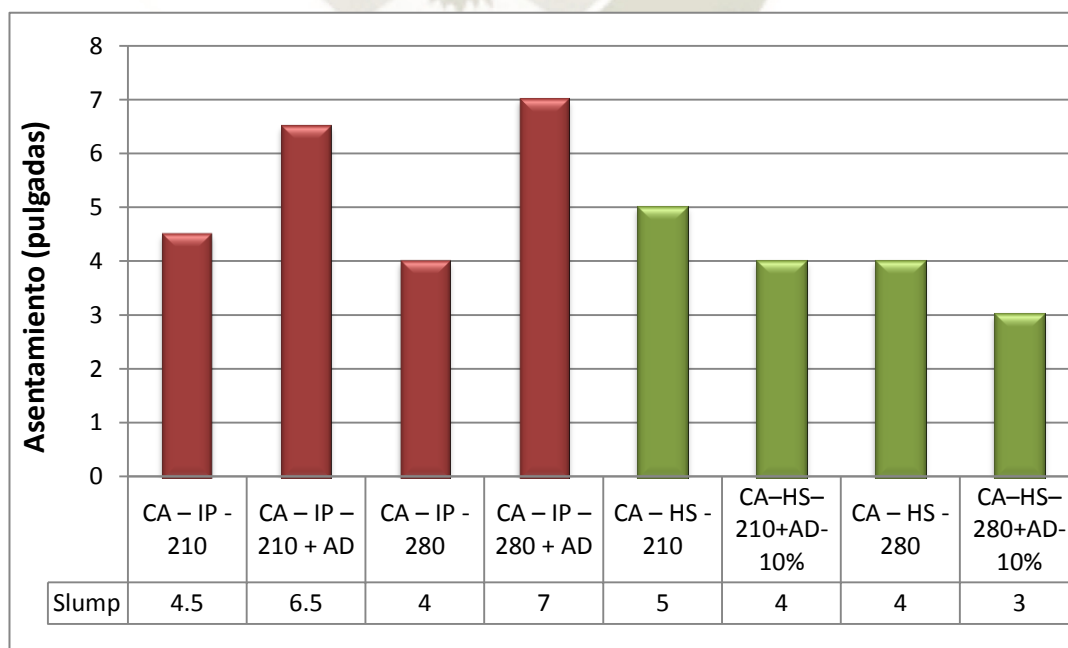
Esta propiedad definida como la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de ésta, cuanto más húmeda sea mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá.

Ilustración 47 Comparación de asentamientos, método ACI 211.1.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 48 Comparación de asentamiento, método de combinación de agregados.



Fuente: Elaboración propia.

Esta propiedad se realizó por el ensayo del cono de Abrams, siendo muy similar los asentamientos obtenidos por ambos métodos de diseño de mezcla.

Los diseños de mezcla que se redujo 10% de cantidad de agua, se obtuvo un asentamiento similar a los que no se hizo la reducción, además que los diseños que solo se incorporó el aditivo, el asentamiento aumento considerablemente.

6.2. RESULTADOS DE ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO.

En esta sección se realizó el análisis y comparación de los resultados obtenido de los ensayos realizados de cada una de las propiedades del concreto en estado endurecido a cada uno de los diseños de mezcla planteados en la investigación.

6.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

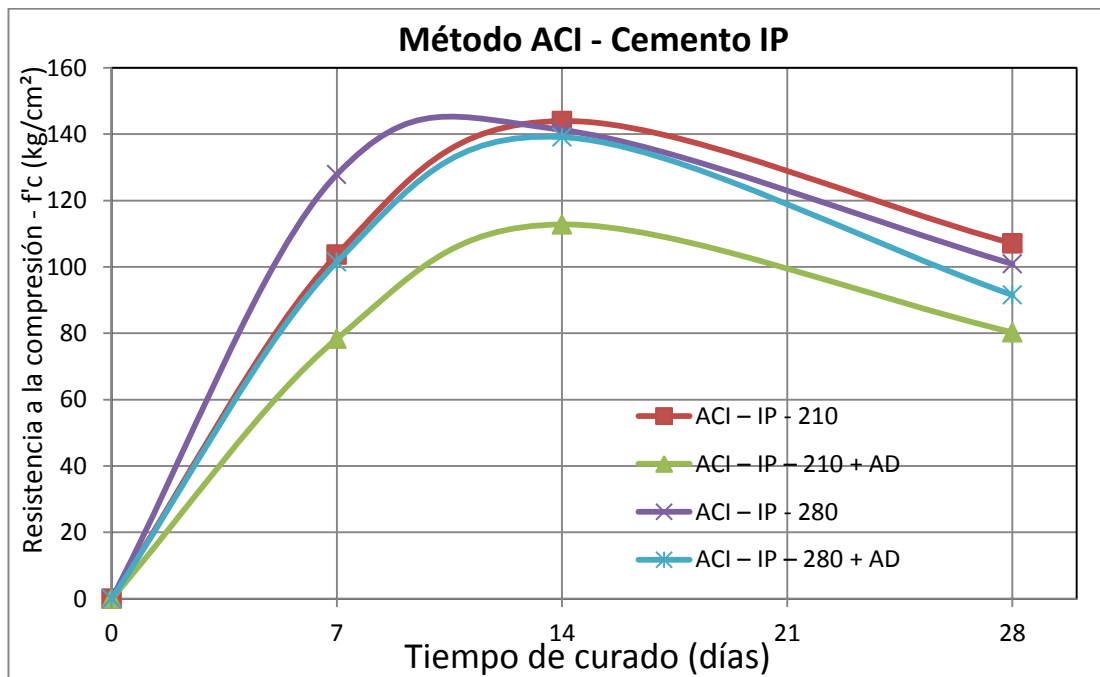
Este valor corresponde al esfuerzo máximo que puede soportar el concreto sin romperse, además que se utiliza como índice de la calidad del concreto. Esta propiedad está en función de factores que pueden afectar sus resultados.

Tabla 120 Comparación de resistencia a la compresión, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.

DISEÑO DE MEZCLA	Relación A/C	Resistencia de diseño (f'cr)	Días de curado	Resistencia obtenida (f'c)
ACI – IP – 210	0.5	335	7	103.69
			14	143.97
			28	107.08
ACI – IP – 210 + AD	0.5	335	7	78.35
			14	112.8
			28	80.29
ACI – IP - 280	0.465	365	7	127.84
			14	141.29
			28	100.88
ACI – IP – 280 + AD	0.465	365	7	101.48
			14	139.13
			28	91.53

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 49 Comparación de resistencia a la compresión del, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.



Fuente: Elaboración propia.

Entre los factores de mayor influencia en la resistencia a la compresión se encuentra la incorporación de aditivos y la relación agua/cemento.

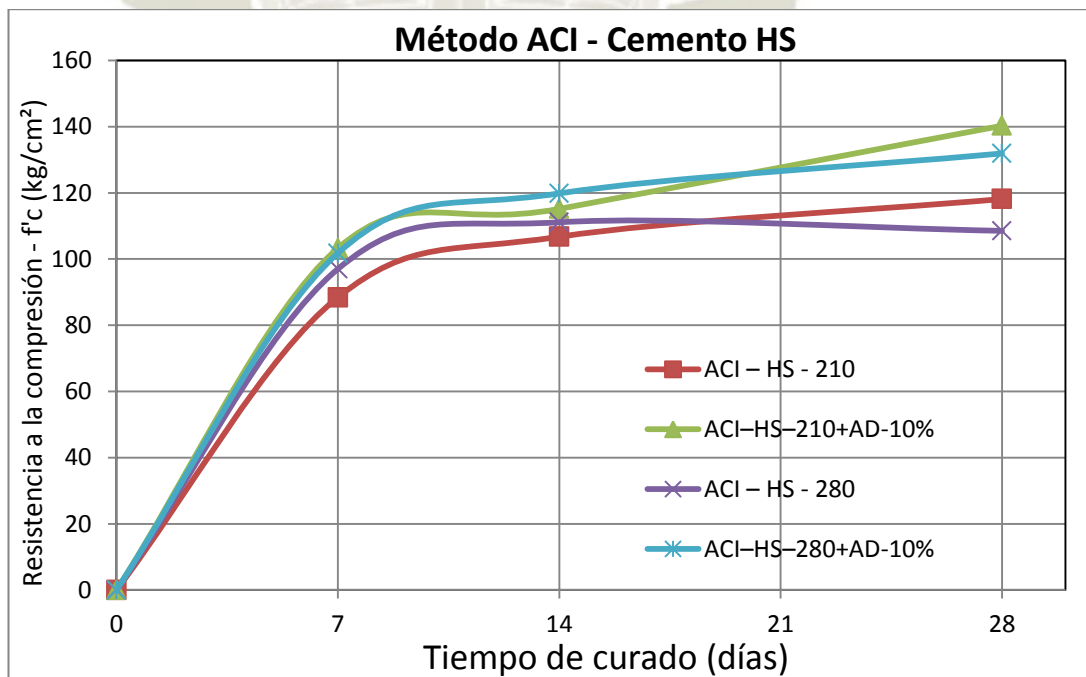
En este caso se observa que el uso del aditivo plastificante en las mezclas por el método del ACI, además de la corrección de la cantidad de agua por la humedad y absorción del agregado, afectó drásticamente la resistencia del concreto, además que aumento el tiempo de fraguado del mismo.

Tabla 121 Comparación de resistencia a la compresión, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.

DISEÑO DE MEZCLA	Relación A/C	Resistencia de diseño (f'cr)	Días de curado	Resistencia obtenida (f'c)
ACI – HS – 210	0.5	335	7	88.43
			14	106.74
			28	118.13
ACI – HS – 210 + AD -10%	0.5	335	7	103.26
			14	115.16
			28	140.28
ACI – HS - 280	0.465	365	7	97.01
			14	111.11
			28	108.52
ACI – HS – 280 + AD -10%	0.465	365	7	101.77
			14	119.84
			28	131.91

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 50 Comparación de resistencia a la compresión, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.



Fuente: Elaboración propia.

Otro factor importante a tomar en cuenta es la resistencia del agregado, fundamentalmente del agregado grueso, debido a que, si este es superado, la resistencia del concreto no será mayor a esta.

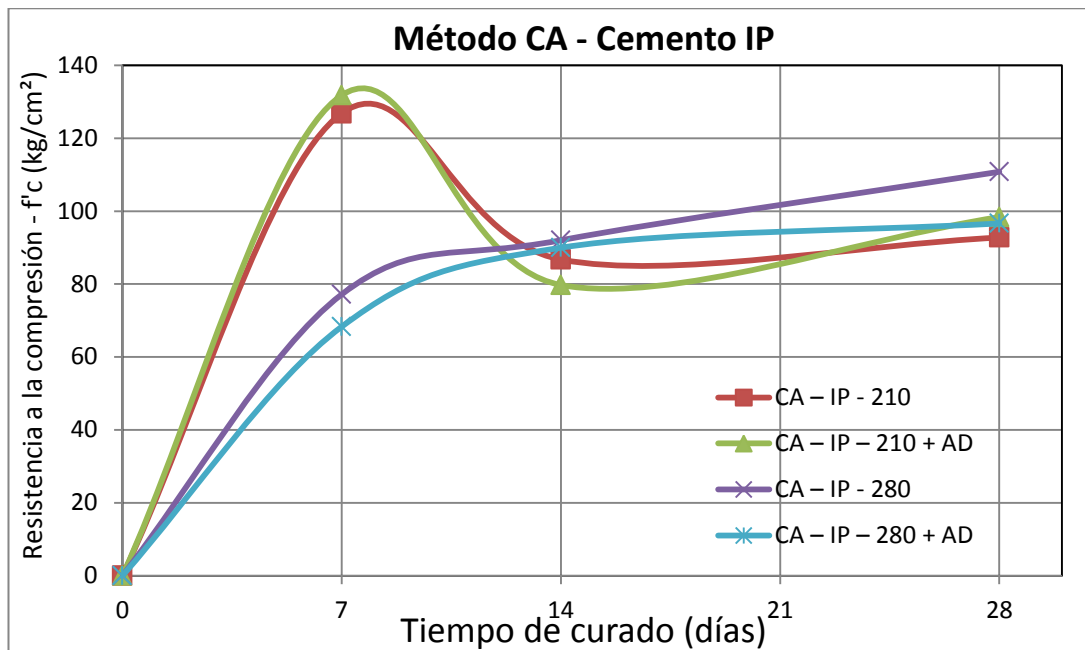
Este resultado se pudo observar en los diseños de mezcla que se realizó la reducción del 10% de la cantidad de agua, produciendo una menor relación agua/cemento y se obtuvo mejores resultados de resistencia a la compresión del concreto diseñado.

Tabla 122 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.

DISEÑO DE MEZCLA	Relación A/C	Resistencia de diseño (f'cr)	Días de curado	Resistencia obtenida (f'c)
CA – IP – 210	0.5	335	7	126.82
			14	86.73
			28	92.76
CA – IP – 210 + AD	0.5	335	7	131.77
			14	79.74
			28	98.37
CA – IP - 280	0.465	365	7	77.05
			14	92.01
			28	110.79
CA – IP – 280 + AD	0.465	365	7	68.3
			14	89.96
			28	96.63

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 51 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.



Fuente: Elaboración propia.

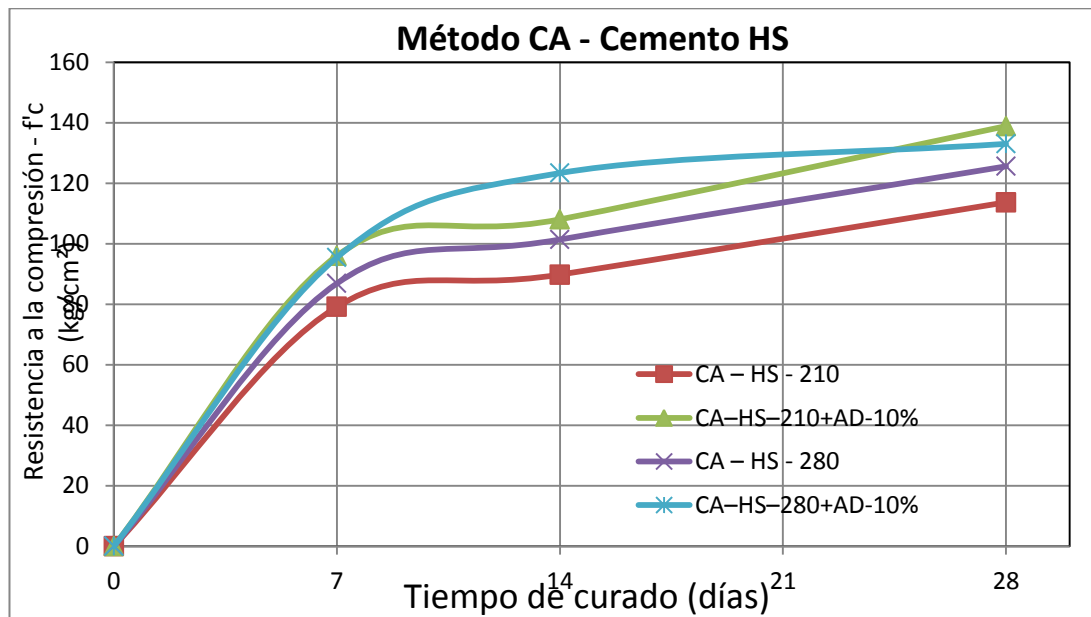
En la comparación de resultados utilizando el método de combinación de agregados se obtuvo de la reducción considerable de esta propiedad.

Tabla 123 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.

DISEÑO DE MEZCLA	Relación A/C	Resistencia de diseño (f'cr)	Días de curado	Resistencia obtenida (f'c)
CA - HS - 210	0.5	335	7	79.14
			14	89.8
			28	113.7
CA - HS - 210 + AD - 10%	0.5	335	7	96.01
			14	108.06
			28	138.88
CA - HS - 280	0.465	365	7	86.88
			14	101.4
			28	125.59
CA - HS - 280 + AD - 10%	0.465	365	7	95.48
			14	123.36
			28	133.02

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 52 Comparación de resistencia a la compresión, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.



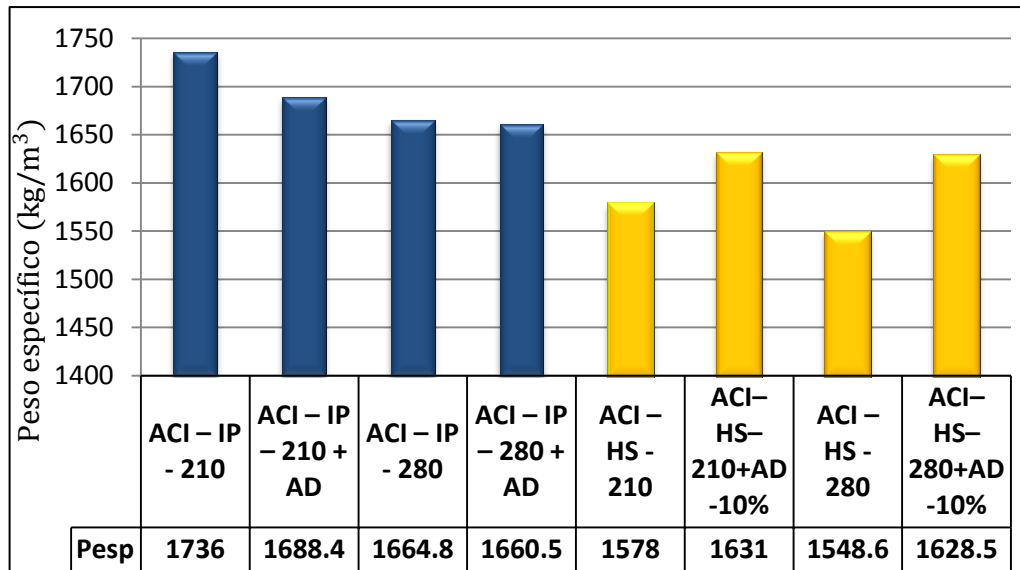
Fuente: Elaboración propia.

Otro factor importante que afecta directamente la resistencia a la compresión del concreto es el porcentaje de agregados presentes en la mezcla, reduciéndose conforme la cantidad de agregado fino se incrementa. El diseño por el método de combinación tiene una mayor relación del agregado fino respecto al agregado grueso, debido a que el peso específico de la roca ignimbrita es ligero siendo aún este mayor en el porcentaje de agregados.

6.2.2. PESO ESPECÍFICO DE MASA.

Esta propiedad del concreto depende directamente de la gravedad específica del agregado, la cantidad de aire de la mezcla, las proporciones y de las propiedades del agregado que determinan el requerimiento de agua.

Ilustración 53 Comparación de peso específico, método ACI 211.1.

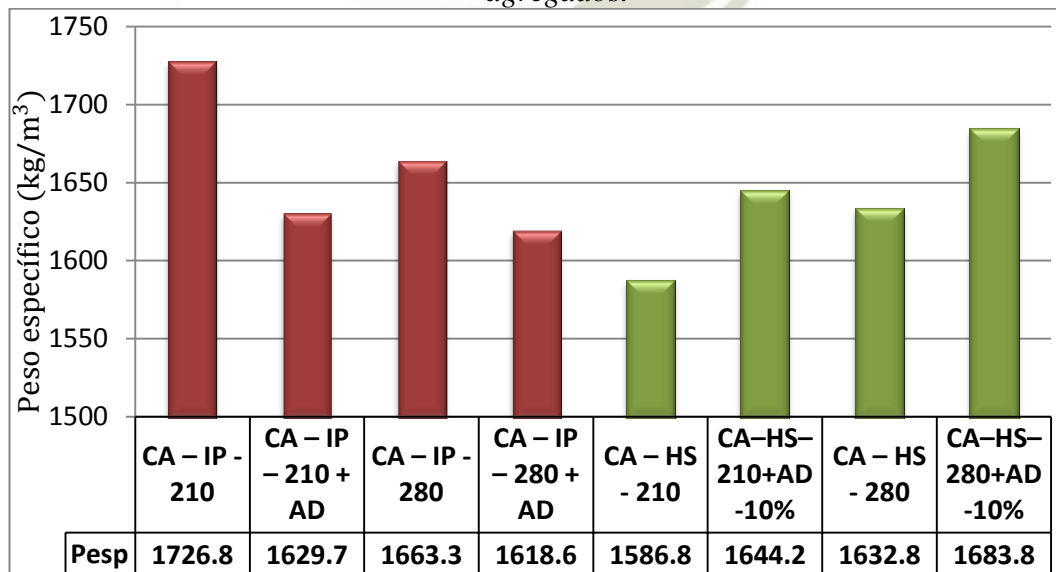


Fuente: Elaboración propia.

En los diseños de mezcla por el método de ACI211.1 que se le incorporó aditivo plastificante contiene una mayor cantidad de aire en la mezcla, por ende, su peso específico de masa es menor.

Las mezclas diseñadas con este método utilizando cemento tipo HS tienen un menor peso específico de masa, debido al menor peso unitario del cemento. Cuando se realizó la reducción de agua de mezcla tienen un mayor peso de tanda.

Ilustración 54 Comparación de peso específico, método de combinación de agregados.

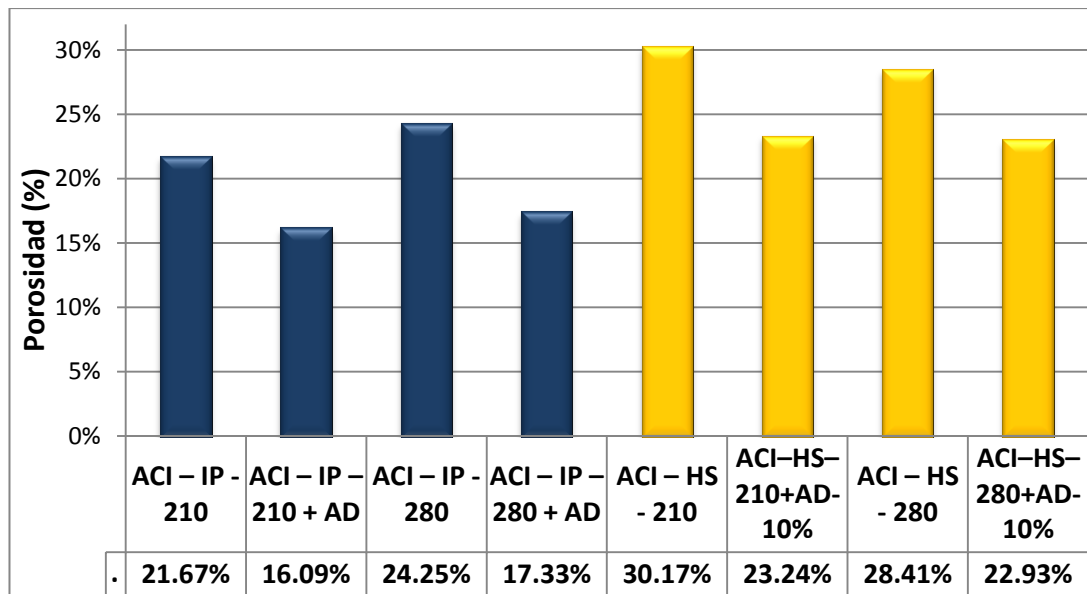


Fuente: Elaboración propia.

Por el método de combinación de agregados tiene un mayor peso específico de masa debido al mayor porcentaje de cantidad de agregado fino.

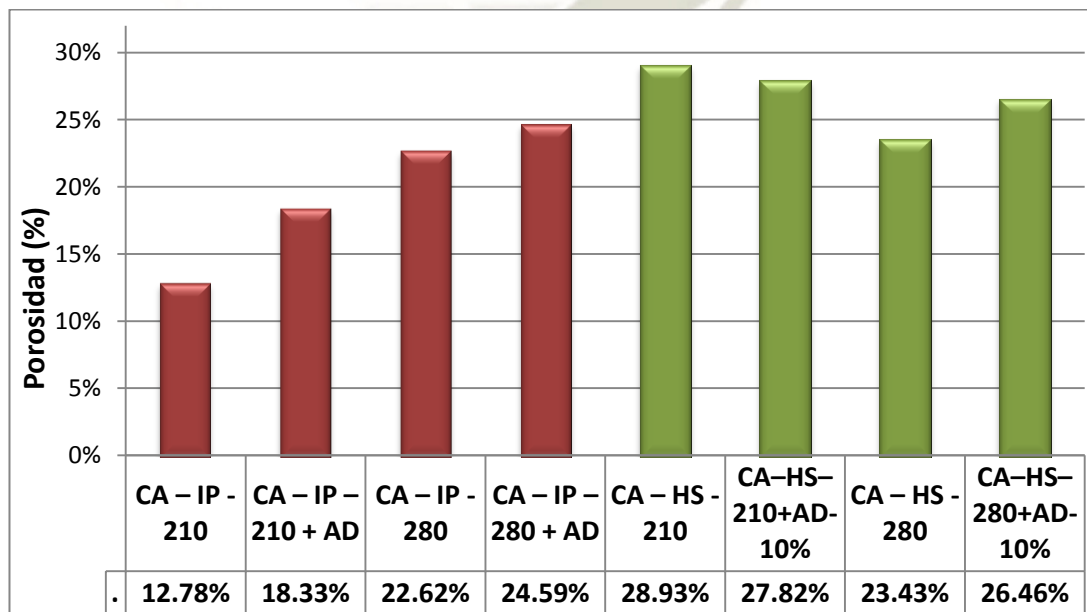
6.2.3. POROSIDAD DEL CONCRETO.

Ilustración 55 Comparación de porcentaje de poros, método ACI 211.1.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 56 Comparación de porcentaje de poros, método de combinación de agregados.



Fuente: Elaboración propia.

Esta propiedad relacionada a la durabilidad del concreto. La incorporación intencional de aire producido por el aditivo o el tipo de cemento, permite incrementar la trabajabilidad, plasticidad y fluidez de las mezclas, así como el aumento significativo de la durabilidad.

Siendo los diseños por el método de combinación de agregados, ligeramente mayor la cantidad de poros que por el método de ACI.

6.2.4. PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN.

Esta propiedad también relacionada con la durabilidad del concreto, en el ensayo nos permite simular la presión de agua sobre el concreto endurecido por un lapso constante de tiempo. Este ensayo se debe realizar a concretos que tendrán un grado de exposición media a alta en el que el agua podría producir alguna patología.

Así mismo este depende de factores como las características del agregado y la cantidad de poros de aire que no estén interconectados.

Tabla 124 Comparación de profundidad de penetración, método ACI 211.1.

Diseño de mezcla	Profundidad promedio (cm)
ACI – IP – 210	9.08
ACI – IP – 210 – AD	8.50
ACI – IP – 280	8.62
ACI – IP – 280 – AD	7.43
ACI – HS – 210	6.62
ACI – HS – 210 – AD + 10%	5.36
ACI – HS – 280	6.29
ACI – HS – 280 – AD + 10%	5.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 125 Comparación de profundidad de penetración, método de combinación de agregados.

Diseño de mezcla	Profundidad promedio (cm)
CA – IP – 210	7.85
CA – IP – 210 – AD	7.12
CA – IP – 280	6.65
CA – IP – 280 – AD	5.68
CA – HS – 210	6.30
CA – HS – 210 – AD + 10%	5.73
CA – HS – 280	6.75
CA – HS – 280 – AD + 10%	5.53

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos, se pudo apreciar la corta profundidad de penetración en el concreto endurecido, esto debido al porcentaje de aire incorporado que contiene que por su pequeño diámetro no permite el flujo de agua, además que el agregado grueso de ignimbrita por su alto porcentaje de absorción contiene el agua en su interior del agregado sin que este fluya.

6.2.5. CAPILARIDAD DEL CONCRETO.

Absorción capilar como se describió anteriormente es el mecanismo de transferencia del agua o cualquier líquido a través de la red capilar presente en el concreto endurecido. Este dependerá directamente de la cantidad y tamaño de los poros de aire presentes en el concreto.

Tabla 126 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.

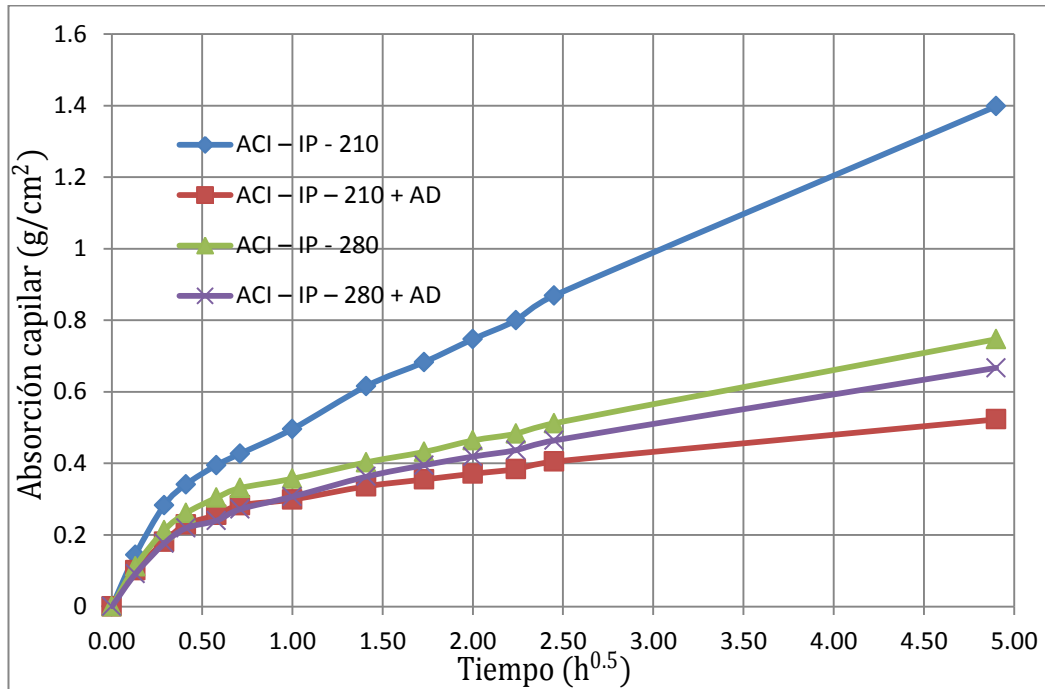
Tiempo (h ^{0.5})	Absorción capilar (gr/cm ²)			
	ACI - IP - 210	ACI - IP - 210 + AD	ACI - IP - 280	ACI - IP - 280 + AD
0.00	0	0	0	0
0.13	0.144	0.101	0.112	0.091
0.29	0.283	0.181	0.213	0.176
0.41	0.341	0.229	0.261	0.219
0.58	0.395	0.256	0.304	0.24
0.71	0.427	0.283	0.331	0.272
1.00	0.496	0.299	0.357	0.307
1.41	0.616	0.336	0.403	0.363
1.73	0.683	0.355	0.432	0.395
2.00	0.747	0.371	0.464	0.419
2.24	0.8	0.384	0.483	0.437
2.45	0.869	0.405	0.512	0.464
4.90	1.398	0.523	0.747	0.667

Fuente: Elaboración propia.

La capilaridad es mayor cuando en el concreto endurecido existirán una gran cantidad de poros capilares, que estos cuando la mezcla estaba fresca contenían agua y no se mezclaron con el cemento formando gel. Estos tipos de poros se encuentran interconectados y con la fuerza de interacción de líquido-sólido, facilita el desplazamiento del agua a través del concreto.

En las mezclas que se le incorporó el aditivo plastificante se redujo la capilaridad del concreto por el aumento de aire incorporado.

Ilustración 57 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento IP.



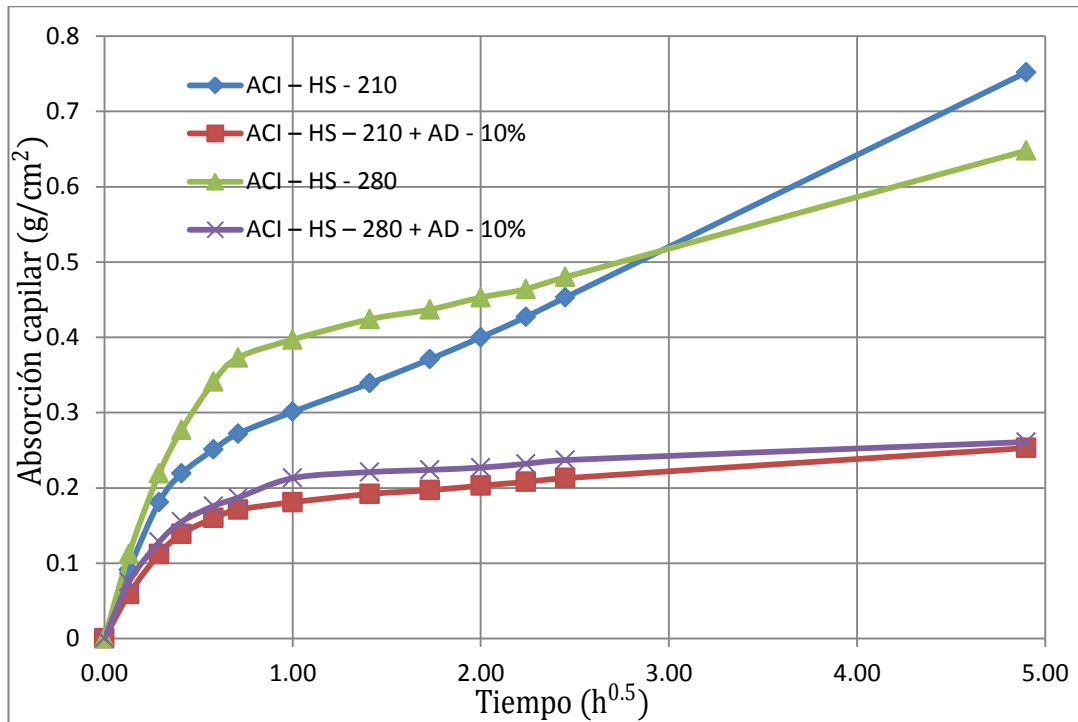
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 127 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.

Tiempo (h ^{0.5})	Absorción capilar (gr/cm ²)			
	ACI - HS - 210	ACI - HS -210 + AD - 10%	ACI - HS - 280	ACI - HS -280 + AD - 10%
0.00	0	0	0	0
0.13	0.091	0.059	0.112	0.075
0.29	0.181	0.112	0.219	0.128
0.41	0.219	0.139	0.277	0.155
0.58	0.251	0.16	0.341	0.176
0.71	0.272	0.171	0.373	0.187
1.00	0.301	0.181	0.397	0.213
1.41	0.339	0.192	0.424	0.221
1.73	0.371	0.197	0.437	0.224
2.00	0.4	0.203	0.453	0.227
2.24	0.427	0.208	0.464	0.232
2.45	0.453	0.213	0.48	0.237
4.90	0.752	0.253	0.648	0.261

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 58 Comparación de absorción capilar, método ACI 211.1 y tipo de cemento HS.



Fuente: Elaboración propia.

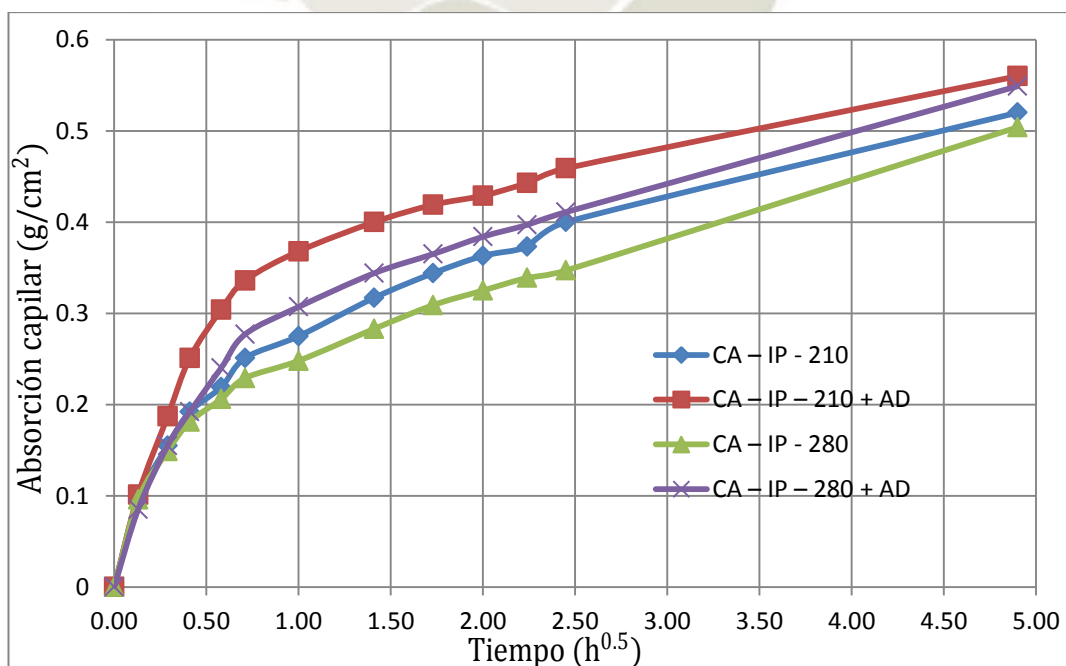
Se observó que las mezclas en las que se incorporó aditivo plastificante y además se realizó la reducción del 10% de la cantidad de agua se redujo aún más la capilaridad del concreto en estado endurecido, debido a la reducción de poros capilares que no se mezclaron con el concreto.

Tabla 128 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.

Tiempo (h ^{0.5})	Absorción capilar (gr/cm ²)			
	CA – IP - 210	CA – IP – 210 + AD	CA – IP - 280	CA – IP – 280 + AD
0.00	0	0	0	0
0.13	0.096	0.101	0.096	0.085
0.29	0.155	0.187	0.149	0.155
0.41	0.192	0.251	0.181	0.192
0.58	0.219	0.304	0.206	0.24
0.71	0.251	0.336	0.229	0.277
1.00	0.275	0.368	0.248	0.307
1.41	0.317	0.4	0.283	0.344
1.73	0.344	0.419	0.309	0.365
2.00	0.363	0.429	0.325	0.384
2.24	0.373	0.443	0.339	0.397
2.45	0.400	0.459	0.347	0.411
4.90	0.520	0.56	0.504	0.549

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 59 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento IP.



Fuente: Elaboración propia.

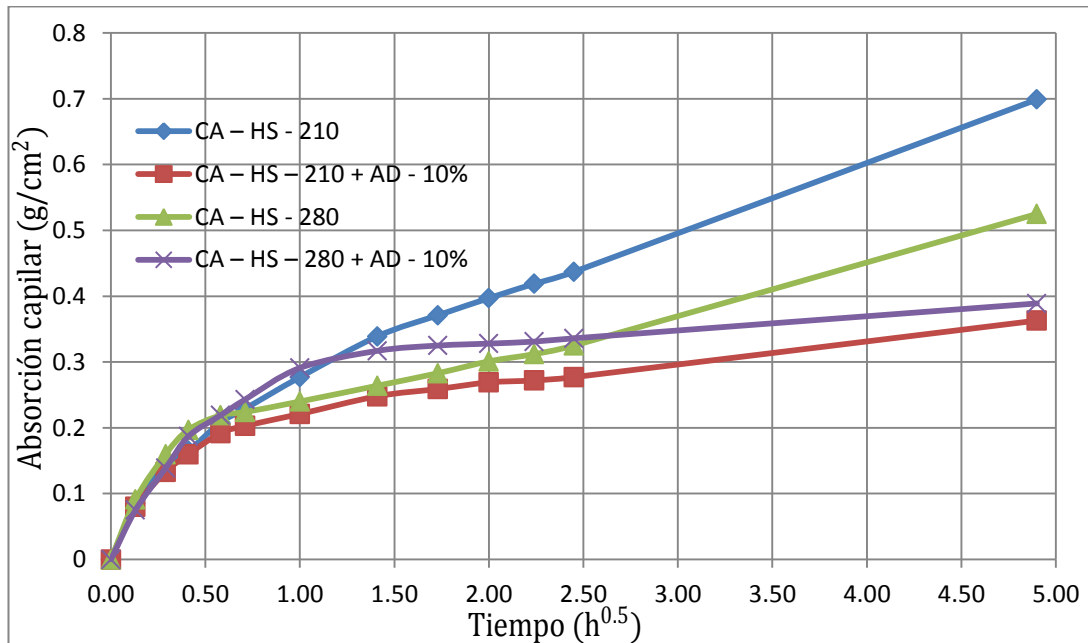
En las mezclas por el método de combinación de agregados, debido a que en éstos diseños el porcentaje de agregado fino es mayor, será mayor el requerimiento de agua por su mayor superficie específica del agregado, por lo tanto es menor la cantidad de agua que quedara sin mezclarse, reduciendo la cantidad de poros capilares, de esa manera tambien se reduce la capilaridad del concreto en estado endurecido.

Tabla 129 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.

Tiempo (h ^{0.5})	Absorción capilar (gr/cm ²)			
	CA – HS - 210	CA – HS – 210 + AD - 10%	CA – HS - 280	CA – HS – 280 + AD - 10%
0.00	0	0	0	0
0.13	0.085	0.08	0.091	0.075
0.29	0.144	0.133	0.16	0.139
0.41	0.165	0.16	0.197	0.187
0.58	0.208	0.192	0.219	0.219
0.71	0.229	0.203	0.224	0.243
1.00	0.277	0.221	0.24	0.291
1.41	0.339	0.248	0.264	0.317
1.73	0.371	0.259	0.283	0.325
2.00	0.397	0.269	0.301	0.328
2.24	0.419	0.272	0.312	0.331
2.45	0.437	0.277	0.325	0.336
4.90	0.699	0.363	0.525	0.389

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 60 Comparación de absorción capilar, método de combinación de agregados y tipo de cemento HS.



Fuente: Elaboración propia.

Los diseños de mezcla mediante el método de combinación de agregados y utilizando el cemento HS, también dieron buenos resultados respecto a la capilaridad del concreto endurecido y los diseños que se redujeron el 10% de la cantidad de agua presentaron aun una menor capilaridad. Comprobando la reducción de poros capilares interconectados.

6.2.6. RESISTENCIA A LOS SULFATOS.

Los sulfatos pueden estar presentes en los agregados, en el suelo como residuo de algún producto químico, locales de industria y en las zonas costeras. Estos al entrar en contacto con el concreto atacan a los aluminatos y el hidróxido de calcio de la pasta, produciendo la expansión del concreto además de su deterioro y produciendo la reducción de su resistencia.

Este ensayo se realizó sumergiendo las muestras de concreto en sulfato de sodio y magnesio, siendo el último el más perjudicial para el concreto.

Tabla 130 Comparación de diferencia de volumen por ataque de sulfatos, método ACI 211.1.

Diseño de mezcla	Sulfato de sodio (%)	Sulfato de magnesio (%)
ACI – IP - 210	0.235 %	0.276 %
ACI – IP – 210 + AD	0.146 %	0.160 %
ACI – IP - 280	0.156 %	0.178 %
ACI – IP – 280 + AD	0.141 %	0.156 %
ACI – HS - 210	0.151 %	0.159 %
ACI–HS–210+AD-10%	0.085 %	0.110 %
ACI – HS - 280	0.136 %	0.143 %
ACI–HS–280+AD-10%	0.070 %	0.106 %

Fuente: Elaboración propia.

La durabilidad del concreto ante el ataque de sulfatos no esta relacionado con su resistencia, sino con la relacion de agua/cemento y los mecanismo de penetración de agua en el concreto.

Tabla 131 Comparación de diferencia de volumen por ataque de sulfatos, método de combinación de agregados.

Diseño de mezcla	Sulfato de sodio (%)	Sulfato de magnesio (%)
CA – IP – 210	0.158 %	0.177 %
CA – IP – 210 – AD	0.151 %	0.162 %
CA – IP – 280	0.146 %	0.164 %
CA – IP – 280 – AD	0.152 %	0.158 %
CA – HS – 210	0.135 %	0.148 %
CA – HS – 210 – AD + 10%	0.117 %	0.128 %
CA – HS – 280	0.129 %	0.143 %
CA – HS – 280 – AD + 10%	0.107 %	0.115 %

Fuente: Elaboración propia.

Los mejores resultados a la resistencia de ataques se sulfatos se obtuvieron de los diseños con menor relación agua/cemento, además de los que se redujeron en % la cantidad de agua. Así mismo los diseños que se realizaron con cemento tipo HS, que este ofrece una alta resistencia a los sulfatos.

Al final del ensayo se notó el deterioro que sufrió la pasta del concreto, quedando asentando en el fondo del recipiente ensayado.

6.3. RESUMEN DE RESULTADOS.

A partir de los resultados anteriores obtenidos se puede seleccionar diseños de mezcla que hayan tenido un mejor desempeño, sea por la resistencia a la compresión obtenido o los resultados en ensayo de durabilidad, así mismo nos da valores iniciales para diseñar concretos a diferentes resistencias los cuales no estén expuestos a ataque de sulfatos.

Tabla 132 Diseños seleccionados de mejores resultados.

DISEÑOS SELECCIONADOS
ACI – HS – 210 + AD – 10%
CA – HS – 210 + AD – 10%

Fuente: Elaboración propia.

Los diseños seleccionados son los que mejores resultados dieron, principalmente por la reducción de agua en la mezcla, lo que hace que estos no sean afectados de manera considerable por la corrección de la cantidad de agua por los agregados.

Además de su muy buen desempeño ante los ataques a sulfatos ya que se explicó que éste no depende de su resistencia a la compresión sino de los resultados de los ensayos de penetración de agua, pudiendo exponerse a ataques moderados y severos.

La reducción de la cantidad de agua de 10%, representaría la disminución de la relación de agua cemento que representaría una relación de 0.4 para ambos diseños, lo cual representaría una resistencia a sulfatos muy severa.

Así mismo los diseños de mezcla seleccionados se podrían considera utilizarse en la construcción, según el asentamiento que estos tengan y según lo que recomiende la norma ACI.

También se tiene la ventaja de que estos diseños tengan un peso específico ligero, permitiendo aligerar la estructura.

Además de destacar las características físicas del agregado fino y agregado grueso de roca ignimbrita que permitieron obtener mejores resultados en los ensayos.

A continuación, se realizó el análisis de precio por metro cubico de cada diseño seleccionado utilizando roca ignimbrita y la comparación de precio con un diseño de concreto utilizando un agregado normal.

CAPITULO VII

7. PROPUESTA ECONOMICA.

Actualmente los precios de los materiales para la construcción tienen un precio alto debido a la alta demanda del mercado, imposibilitando a más personas la capacidad de adquirir materiales de calidad para construir sus viviendas.

De la misma manera es importante la investigación utilizando recursos disponibles en la naturaleza para el desarrollo de materiales de buena calidad y con las características necesarias para que se desempeñen satisfactoriamente y abrir nuevas oportunidades en el mercado de la construcción. Priorizando que estos provengan de fuentes que no generen más contaminación al ambiente, ni la explotación de la naturaleza.

7.1. RESUMEN DE LA CANTIDAD DE MATERIALES DE LOS DISEÑOS SELECCIONADOS POR m³.

De los resultados obtenidos de los diseños de mezcla realizados se seleccionaron los que tuvieron mejores resultados y se puedan emplear en la construcción, además de las propuestas de diseños de mezcla que se plantean según sus propiedades físicas del concreto.

Aprovechando las propiedades del agregado grueso de roca ignimbrita, como su bajo peso específico y las características que le da al concreto.

Se calculó el precio por m³ de concreto de los diseños que sean resistente al ataque por sulfatos y se planteó diseños de mezclas que no sean resistentes al ataque de sulfatos pero que tengan la resistencia a la compresión necesaria para ser aplicada.

Los precios de los materiales del cemento, agregado fino y agua, son corresponden a los del mercado en el mes de noviembre del año 2019. El precio del agregado de roca ignimbrita se utilizará el propuesto en el trabajo de investigación titulada “Concreto Estructural Liviano con Escoria y Ceniza Volcánicas del distrito de Yura”.

7.1.1. PRECIO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA.

Los valores de la cantidad de cada uno de los materiales por m^3 de concreto, se obtuvieron de los diseños realizados por el método ACI 211.1 y del método del módulo de fineza de la combinación de agregados.

El precio de concreto con resistencia a exposición muy severa sería el siguiente.

Tabla 133 Precio de metro cúbico del diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.

Diseño de mezcla ACI – HS – 210 + AD – 10% (relación a/c = 0.4)				
Materiales	Unid.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento HS	Bls.	8.42	20.90	175.99
Agregado fino	m^3	0.2375	68.00	16.15
Roca ignimbrita	m^3	0.4406	94.23	41.52
Agua	m^3	0.337	0.72	0.24
Aditivo Plastiment HE98	kg	2.69	9.98	26.85
Total (S/.)				260.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 134 Precio de metro cúbico del diseño CA - HS - 210 + AD - 10%.

Diseño de mezcla CA – HS – 210 + AD – 10% (relación a/c = 0.4)				
Materiales	Unid.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento HS	Bls.	8.42	20.90	175.99
Agregado fino	m^3	0.2723	68.00	18.52
Roca ignimbrita	m^3	0.4338	94.23	40.88
Agua	m^3	0.336	0.72	0.24
Aditivo Plastiment HE98	kg	2.69	9.98	26.85
Total (S/.)				262.48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 135 Precio de metro cúbico del diseño de concreto tradicional ($a/c = 0.40$)

Diseño de mezcla concreto tradicional (relación $a/c = 0.4$)				
Materiales	Unid.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento V	Bls.	12.05	21.5	259.08
Agregado fino	m ³	0.190	68.00	12.92
Agregado grueso	m ³	0.4101	80.00	32.81
Agua	m ³	0.194	0.72	0.14
			Total (S/.)	304.95

Fuente: Elaboración propia.

Ambos diseños de concreto con roca ignimbrita tiene un precio por metro cubico muy similar representando un 17% y 16% más económico respectivamente, comparándolo con el precio de un concreto tradicional con similar característica de relación agua/cemento de 0.4.

Con respecto a concreto con roca ignimbrita que soporte a la exposición moderada de sulfatos, según la norma recomienda con un valor máximo de relación de 0.5, el precio sería el siguiente.

Tabla 136 Precio de metro cúbico del diseño ACI – HS + AD - 10% con relación a/c de 0.5.

Diseño de mezcla ACI – HS + AD – 10% (relación $a/c = 0.5$)				
Materiales	Unid.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento HS	Bls.	6.58	20.90	137.52
Agregado fino	m ³	0.2655	68.00	18.05
Roca ignimbrita	m ³	0.4406	94.23	41.52
Agua	m ³	0.338	0.72	0.24
Aditivo Plastiment HE98	kg	2.1	9.98	20.91
			Total (S/.)	218.24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 137 Precio de metro cúbico del diseño de concreto tradicional ($a/c = 0.50$)

Diseño de mezcla concreto tradicional (relación $a/c = 0.5$)				
Materiales	Unid.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento V	Bls.	9.64	19.90	191.84
Agregado fino	m ³	0.2260	68.00	15.37
Agregado grueso	m ³	0.4101	80.00	32.81
Agua	m ³	0.195	0.72	0.14
			Total (S/.)	240.16

Fuente: Elaboración propia.

En este caso el concreto con roca ignimbrita para exposiciones moderadas de sulfatos representaría un 10% más económico que un concreto tradicional de similares características.

Los precios por metro cubico descrito anteriormente se tomaron en cuenta respecto a un concreto el cual se exponga a ataques por sulfatos, pero en la presente investigación se plantea la posibilidad según la resistencia a la compresión del concreto con roca ignimbrita y los datos estadísticos que se obtuvieron, se pueda diseñar concretos que puedan ser utilizados en estructuras que no requieran alta durabilidad, bajas resistencias a compresión y utilizando cemento tipo IP.

Tabla 138 Precio de metro cúbico del diseño ACI - HS + AD - 10% ($f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$)

Diseño de mezcla ACI – HS + AD – 10% ($f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$)				
Materiales	Unid.	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Cemento HS	Bls.	5.26	19.90	104.67
Agregado fino	m ³	0.2869	68.00	18.05
Roca ignimbrita	m ³	0.4406	94.23	41.52
Agua	m ³	0.339	0.72	0.24
Aditivo Plastiment HE98	kg	1.68	9.98	20.91
			Total (S/.)	185.39

Fuente: Elaboración propia.

Los métodos de diseño ACI 211.1 y de combinación de agregados, nos indica la mayor relación de agua/cemento de 0.8, la cual representa a la resistencia a la compresión de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

CONCLUSIONES.

1. Realizado el diseño de concreto con residuos de la roca ignimbrita como agregado grueso, el mejor resultado promedio obtenido de resistencia a la compresión es de 140 kg/cm^2 mediante el método del ACI 211.1, utilizando cemento tipo HS, con una relación agua/cemento de 0.5, incorporación de aditivo al 0.75% del peso de cemento y la reducción del 10% de la cantidad de agua del diseño de mezcla.
 2. El concreto diseñado con residuos de la producción de bloques de sillar como agregado grueso han demostrado ser durable ante la exposición moderada y severa de sulfatos de sodio y magnesio.
 3. Según los resultados obtenidos del diseño de concreto con roca ignimbrita, estos tienen las propiedades necesarias para poder ser aplicadas en proyectos de construcción.
- **SOBRE EL PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION.**
4. Se realizó la clasificación de los diseños por cada método de diseño, en cada uno de estos se realizó diseños por los tipos de cemento IP y tipo HS, además de la relación agua/cemento según la exposición de sulfatos. Además del uso de aditivo plastificante e impermeabilizante de marca Sika Plastiment HE-98.
 5. Se realizó los diseños de mezcla según su durabilidad recomendada por el comité ACI 211, se escogieron relaciones agua/cemento de 0.5 para una exposición moderada y de 0.465 cercana a una exposición severa.
 6. Cada uno de los diseños realizados se realizó su exposición a ataque de sulfatos, sumergiendo cada uno de las muestras en soluciones de sulfato de sodio y sulfato de magnesio y analizar durante 28 días para analizar su durabilidad.
- **SOBRE LOS AGREGADOS.**
7. El agregado grueso de roca ignimbrita se genera de manera involuntaria, produciendo partículas de roca de diversos tamaños, las cuales al hacer el análisis granulométrico el tamaño nominal máximo es de 1" y su módulo de fineza promedio de 7.21, la cual es cercana al valor recomendado que es 7.30.
 8. Según su peso específico de masa de la roca ignimbrita clasifica como una roca ligera, con un alto porcentaje de absorción de 32.51%, además de un alto porcentaje de desgaste por la Máquina de los Ángeles.

9. La roca ignimbrita presenta una cantidad aceptable de partículas finas, de 0.7%, las cuales producen un mayor requerimiento de agua y una menor adherencia de la pasta con el agregado.
10. El agregado grueso supera la cantidad recomendada de agregado “confitillo”, que corresponden a tamaños de 3/8” y 3/16”, de 10% y 5% respectivamente, los cuales producen un mayor requerimiento de agua y reducción de la trabajabilidad.
11. Según el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de Vivienda realizó el análisis de las propiedades mecánicas de la roca ignimbrita, concluyendo que el valor de la resistencia a la compresión de la roca es de 87.86 kg/cm².
12. El agregado fino que se utilizó en los diseños de mezcla, según los ensayos de propiedades físicas se obtuvieron resultados dentro lo recomendando, la cantidad de partículas menores a la malla N° 200 fueron de 3.92%, menor al 5% que es lo recomendado.
13. El módulo de fineza del agregado fino resulto 2.63, el cual está dentro los valores recomendados de 2.2 y 2.8, las cuales producen buena trabajabilidad y reducida segregación.
14. Los resultados de los ensayos a los agregados tanto fino y grueso, estuvieron dentro de los valores de dispersión recomendado, por tal motivo se considera que el valor de las propiedades físicas son correctas.
- **SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.**
15. La reducción del 10% de la cantidad de agua en algunos diseños que se incorporaron aditivo, muestra una mejora considerable de los resultados, respecto a los diseños que no se les realizó la reducción de la cantidad de agua del diseño de mezcla.
16. En el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, los diseños presentan una considerable mayor cantidad de agregado fino, debido a la ligereza del agregado grueso de roca ignimbrita utilizado.
17. El tamaño máximo nómima del agregado de ignimbrita de 1”, si el TMN sería menor requeriría una mayor cantidad de agua, debido a la mayor superficie del agregado.
18. El volumen de cemento en los diseños de mezcla es muy similar entre los cementos de tipo IP y tipo HS, debido a que los pesos específicos de ambos son similares.

- **SOBRE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.**
 19. El valor del peso unitario de las mezclas en estado fresco se considera ligero, el cual se reducirá con el fraguado y la evaporación del agua. El método de ACI211.1, presenta un menor peso unitario, debido a que en el diseño tiene menor cantidad de agregado fino que el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.
 20. Los diseños de mezcla que se les incorporo aditivo plastificante, tienen un mayor rendimiento, así como un mayor asentamiento respecto a los que no se le incorporo aditivo, debido a la cantidad de aire que este incorpora a la mezcla.
 21. La temperatura de la mezcla de concreto es menor en los diseños que se incorporó aditivo debido a que este retrasa la reacción entre el cemento y el agua que produce calor, alargando el tiempo de fraguado del concreto, reduciendo por lo menos en 1°C.
 22. Uno de los problemas del exceso de agua en la mezcla es que hay agua que no reacciona con el cemento, los cuales cuando el concreto fragüe formaran poros capilares que son perjudiciales para la resistencia del concreto y su durabilidad.
 23. Debido a la forma angular del agregado grueso de roca ignimbrita queda una mayor cantidad de aire atrapado en la mezcla, un promedio de 4.5%, mayor a 1.5% que se consideró en el diseño de mezcla.
 24. Las mezclas de concreto en estado fresco, no presentan exudación debido a la correcta granulometría del agregado fino utilizado.
- **SOBRE LOS RESULTADOS EN ESTADO ENDURECIDO.**
 25. Los diseños que se incorporaron aditivo sin reducción de agua, presentaron una alta resistencia inicial, pero variable resistencia a la compresión a los 28 días, esto debido a que se ve afectado directamente por el retardo del fraguado del concreto y la gran cantidad de agua presente en la mezcla. Presentándose los mismos resultados en ambos métodos de diseños planteados.
 26. El factor más importante en la resistencia a la compresión del concreto es que si el agregado grueso falla, por ende, fallada el concreto por completo, a pesar de tener una menor relación agua/cemento.

27. Los mejores resultados se obtuvieron de las mezclas que se incorporó aditivo y se redujo la cantidad de agua de la mezcla.

Diseños de mezcla	Resistencia a la compresión $f'c$ (28 días)	Desviación estándar.
ACI – HS – 210 + AD – 10%	140.28 kg/cm ²	10.05 kg/cm ²
ACI – HS – 280 + AD – 10%	131.91 kg/cm ²	6.07 kg/cm ²
CA – HS – 280 + AD – 10%	138.88 kg/cm ²	9.50 kg/cm ²
CA – HS – 280 + AD – 10%	133.02 kg/cm ²	6.17 kg/cm ²

Se obtuvo mejores resultados a la resistencia a la compresión con el método de ACI 211.1, por su menor cantidad de agregado fino en la mezcla. El método del módulo de fineza de la combinación de agregados (CA), presenta una mayor cantidad de agregado fino, de modo que se reduce la cantidad de pasta por unidad de mortero, reduciendo la resistencia a la compresión del concreto.

28. Según el resultado a resistencia a compresión obtenida en los diseños de mezcla de concreto se pudo aumentar en un 60% la resistencia a la compresión de la roca ignimbrita en forma de “sillar”.
29. Respecto a los diseños que no se incorporó aditivo, tiene un mayor porcentaje de porosidad, en algunos diseños superiores al 25%, comprobando que se formaron una gran cantidad de poros capilares. A diferencia que de los agregados en que se incorporó aditivo, se redujo el porcentaje, menor al 20%, debido a que se producen poros de aire incorporado de menor tamaño, además que el concreto se acomoda de mejor manera.
30. Los diseños de mezcla que se redujeron la cantidad de agua, presentaron la menor tasa de absorción capilar, debido a que se redujeron la cantidad de poros capilares que se encuentran interconectados ayudando al movimiento del agua, reemplazándolo por poros de aire incorporado que impiden el paso del agua, además por la propiedad de la roca ignimbrita que el agua queda absorbido por el agregado.
31. En el ensayo de permeabilidad del concreto a presión constante, los diseños que se obtuvo los mejores resultados son los que se redujo la cantidad de agua de la mezcla, teniendo corta profundidad de penetración, teniendo valores entre 5.1 cm y 5.73 cm.

32. El ensayo más importante de durabilidad, la exposición al ataque de sulfatos estos casi todos los diseños planteados cumplieron con no aumentar más de 0.2% el largo se la muestra ensayado. El resultado de este ensayo no depende de la resistencia a la compresión, sino de la relación agua/cemento y de las propiedades del agregado. Los diseños con reducción de agua, podrían soportar exposiciones muy severas de ataque de sulfatos.

• **RESPECTO A LA PROPUESTA ECONÓMICA.**

33. Según los resultados obtenidos el diseño de mezcla ACI – HS – 210 + AD – 10% y el diseño CA – HS – 210 + AD – 10%, son los que presenta un mejor desempeño a la durabilidad, pudiendo exponerse a ataques muy severos de sulfatos, el precio por metro cúbico de concreto es de S/.260.75 y S/. 262.48 respectivamente, el precio de un concreto tradicional con las mismas características con relación a/c de 0.4, es de S/. 304.95, representando los diseños con roca ignimbrita una reducción de 17% y 16% del precio respectivamente.

34. De manera similar para el diseño de concreto (ACI – HS + AD - 10%,) para exposición de sulfatos moderados el metro cubico de concreto con roca ignimbrita es de S/. 218.24 y de un concreto tradicional con similares características (relación a/c 0.5), es de S/. 240.16, representando una reducción de 10% en el precio.

35. Considerando las resistencias máximas obtenidas del concreto y la posibilidad de ser empleada para que sea no sea resistente al ataque de sulfatos, se puede diseñar un concreto con una relación a/c de 0.8 que representaría una resistencia a la compresión de 150 kg/cm² (relación mínima que muestra el método de diseño), siendo el valor por metro cubico de S/. 161.65.

• **CONCLUSIONES FINALES.**

36. El diseño de mezcla planteado (ACI-HS-210+AD-10%) cumpliendo con la relación mínima a/c de 0.5 que nos indica la norma, nos permite emplear en elementos que estén en contacto con el suelo que tengan presencia de sulfatos, además se requiera baja resistencia a la compresión y un asentamiento de 4”.

- Pisos de concreto.
- Banquetas y firmes de concreto.
- Vigas de cimentación.
- Veredas.

37. Se puede diseñar el concreto de roca ignimbrita realizando la reducción de la cantidad de agua de 10% para poder emplearla cuando no se necesiten resistencia al ataque de sulfatos, además de todas las posibilidades anteriores.
- Dalas y trabes.
 - Muros reforzados de pequeña altura.
 - Viviendas modulares.
 - Losas aligeradas.
38. El tamaño máximo nominal del agregado de roca ignimbrita es de 1", según la recomendación del comité ACI, en caso de un vaciado la distancia entre caras del encofrado el TMN será mínimo 1/5 de la longitud, de esa manera el espesor tendrá que ser mínimo de 13 cm.
39. El tiempo que debe permanecer el concreto en el encofrado deberá ser mayor al que permanecería un concreto tradicional, por lo menor de unas 24 horas extras.
40. Como se puede observar en los resultados el precio por metro cúbico de este concreto es menor al de uno tradicional, obtenido concreto con buenas características que nos permitan ser utilizadas de diferentes maneras, según sea o no necesario que sea durable. Así mismo se abre la posibilidad de que más gente pueda acceder al precio de este concreto y pueda construir sus viviendas utilizando residuos de roca ignimbrita.

RECOMENDACIONES.

1. El investigador recomienda el uso de aditivo plastificante para concretos que no requieran resistencia al ataque de sulfatos, si se encontrara expuesto se debe utilizar un aditivo plastificante-impermeabilizante, en ambos casos con reducción de agua de 10% del diseño de la mezcla.
2. Utilizar agregado de roca ignimbrita de menor tamaño máximo nominal significaría el aumento del volumen unitario de agua en el diseño de mezcla, así mismo afectaría en la resistencia a la compresión del concreto y su durabilidad.
3. Se recomienda sobre el tiempo que las probetas de concreto se mantengan en las pozas de curado, debe ser un máximo de 14 días, debido a las propiedades de los agregados y su corrección de la cantidad de agua en la mezcla, este debe tener el tiempo necesario para que pueda secar y ser ensayados.
4. Se debe dejar por un tiempo más prolongado las probetas de concreto en el molde para que se desmolde en buenas condiciones, debido al volumen de agua de la mezcla y el uso del aditivo plastificante retardan el tiempo de fraguado.
5. A pesar que se diseñe la mezcla de concreto con una menor relación agua/cemento, cuando la naturaleza del agregado grueso falla esta será la resistencia máxima a compresión que se pueda obtener del concreto con roca ignimbrita.
6. Sería importante investigar la adherencia del agregado grueso con el mortero de la mezcla y como afecta en sus propiedades del concreto, así mismo la posibilidad de eliminar el polvo de roca lavando previamente el agregado grueso.
7. Se podría realizar el análisis de características térmicas del concreto con roca ignimbrita, propiedades como la expansión térmica, conductividad térmica y la difusión térmica. Estos valores se encuentran relaciones directamente con el tipo de agregado.
8. Realizar el análisis de durabilidad del concreto con roca ignimbrita ante diferentes ataques que pueden afectar al concreto como son el ataque por ácidos, sales, la reacción álcali-agregado, la reacción álcali-sílice y la carbonatación.
9. Se observó que algunos de las probetas ensayadas a compresión contenían partículas de agregado grueso de características duras, siendo el resultado de estas probetas mayores, se recomienda realizar la investigación combinando agregados gruesos de

diferentes relaciones entre roca ignimbrita y roca dura para obtener concreto con mayores resistencias y se puedan utilizar estructuralmente.

10. Se recomienda realizar el análisis del módulo de elasticidad del concreto con agregado de roca ignimbrita, debido a que este tiene una relación de Poisson diferente a los agregados tradicionales con los que se han realizado estudios anteriores.
11. Sería importante investigar el diseño de concreto estructural con menor peso específico que nos permitan reducir el peso de la estructura, así mismo se disminuiría la cortante basal y por ende elementos estructurales de menor tamaño, permitiendo el ahorro de dinero.



REFERENCIAS.

- 211, A. C. (2002). ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. ACI COMMITTEE.
- 318, C. A. (2005). Requisito de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318R-05). Michigan: American Concrete Institute.
- Alfono, A. U. (2015). Características físicas de las canteras de sillar. *Proyecto: Desarrollo inclusivo de la ruta turística del sillar.*
- Calderon Cahuana, D. (2014). *Mecánica de rocas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Canoba, C. A., & Fraga, H. R. (2004). *Propiedades elásticas de las rocas*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.
- Castillo, F. A. (2009). Tecnología del concreto. Lima: San Marcos.
- Enrique, R. L. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima: ACI Perú.
- G. Salas Alvarez, N. V.-P. (1995). El sillar de Arequipa: Características de los depositos de flujo piroclasticos de la quebrada Añashuayco. *Universidad Nacional de San Agustin*, 334.
- Galindo, J. C. (1988). Ensayos de Albañilería en Sillar. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gonzales De La Cotera, M. (1991). Corrosión En Estructuras De Concreto. Lima: Capitulo Peruano ACI.
- INDECOPI. (1999). *NTP 400.017 Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*. Lima.
- INDECOPI. (2001). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.012*. Lima, Perú.
- INDECOPI. (2001). *NTP 339.042 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinacion de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilindricas*. Lima.
- INDECOPI. (2013). *NTP 339.185 Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregado por secado*. Lima.
- INDECOPI. (2014). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigon (concreto)*. Lima. Perú: NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.037.

- INDECOPI. (2014). *NTP 400.019 Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Lima.
- Internacional, A. (2004). *Standard Specifications for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*. Pennsylvania, EEUU.: American Society for Testing Materials.
- L., I. G. (1999). *Concreto Simple*. Universidad del Cauca.
- Lara Galindo, J. (1988). *Proyecto de investigación en albañilería "Ensayos de albañilería en sillar"*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Le Maitre, R. (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*.
- Lefèvre, C. (1979). *Un exemple de volcanisme de marge active dans les Andes du Pérou*. Montpellier: Universidad de Montpellier.
- Neyra Neyra, J. M., & Santos Espinoza, R. S. (2018). *Análisis Comparativo Del Grado De Permeabilidad Y Resistencia A Los Sulfatos Entre Concretos Convencionales Y Un Concreto*. Arequipa: Universidad Católica De Santa María.
- Patiño, O., & Méndez, R. (2012). *Control De Calidad Del Concreto*. Universidad Tecnológica de Panamá.
- Peruana, N. T. (2002). *NTP 400.021 Metodo de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso*. Lima: INDECOPI.
- Powers, T. (1958). *Materiales de construccion*.
- Rivvas Lopez, E. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima: Hozlo.
- Sakurai, C. (2009). *Absorción Por Succión Capilar Del Hormigon*. La Plata: Centro de Investigación Viales.
- SENCICO. (2014). *Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto*. En S. N. Construcción. Lima: SENCICO.
- Sika. (2018). *Sika Plastiment HE-98 Ficha tecnica*. Lima.
- Yura, C. (2014). *Cemento Portland Puzolánico Yura IP - Alta Durabilidad. Ficha Tenica*. Arequipa.
- Yura, C. (2014). *Cemento Yura Tipo HS Anti salitre - Ficha tecnica*. Arequipa.

ANEXOS.

Tabla 139 Tabla de roturas diseño ACI - IP - 210.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO ACI - TIPO IP - RESISTENCIA 210 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.20	20.87	8896	81.66	108.94	103.69	27.57	6.47	Excelente
2		10.31	20.73	7840	83.48	93.91		95.66		
3		10.31	21.29	8221	83.48	98.47		27.21		
4		10.39	21.43	9008	84.84	106.18		6.18		
5		10.26	20.91	9167	82.62	110.95		52.70		
6	14	10.28	20.87	11422	83.05	137.53	143.97	41.59	18.75	Muy bueno
7		10.30	21.16	11078	83.32	132.95		121.49		
8		10.40	21.18	11356	84.95	133.68		105.97		
9		10.23	20.84	11037	82.14	134.37		92.31		
10		10.38	21.12	15346	84.62	181.35		1396.70		
11	28	10.19	20.78	8601	81.50	105.53	107.08	2.40	10.80	Excelente
12		10.39	21.18	8132	84.73	95.97		123.43		
13		10.40	21.28	8071	84.95	95.01		145.78		
14		10.26	20.73	8657	82.62	104.78		5.32		
15		10.46	21.08	8686	85.88	101.14		35.28		
16		10.32	21.09	7527	83.65	89.99		292.37		
17		10.17	20.90	9468	81.29	116.48		88.23		
18		10.37	21.23	8120	84.46	96.14		119.75		
19		10.33	21.05	10795	83.75	128.89		475.40		
20		10.28	21.22	8220	83.05	98.97		65.80		
21		10.36	21.43	9961	84.24	118.24		124.50		
22		10.28	20.40	9402	83.05	113.20		37.45		
23		10.24	20.82	9931	82.30	120.67		184.47		
24		10.46	21.13	9207	85.93	107.14		0.00		
25		10.47	21.23	9830	86.15	114.10		49.25		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 140 Tabla de roturas diseño ACI - IP - 210 + AD.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO ACI - TIPO IP - RESISTENCIA 210 kg/cm ² + AD							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.16	20.80	6081	81.13	74.96	78.35	11.52	2.64	Excelente
2		10.28	21.21	6837	83.05	82.32		15.76		
3		10.36	21.23	6434	84.24	76.37		3.90		
4		10.18	20.61	6529	81.39	80.22		3.48		
5		10.22	20.91	6385	81.98	77.88		0.22		
6	14	10.22	20.61	9468	82.09	115.34	112.80	6.48	1.91	Excelente
7		10.25	21.14	9028	82.46	109.48		10.99		
8		10.30	21.00	9460	83.38	113.46		0.44		
9		10.44	21.06	9692	85.55	113.29		0.25		
10		10.22	20.76	9215	81.98	112.41		0.15		
11	28	10.22	20.64	6248	81.98	76.21	80.29	16.58	9.37	Excelente
12		10.34	21.02	5115	84.03	60.87		376.80		
13		10.11	20.46	6272	80.33	78.08		4.88		
14		10.35	21.26	5323	84.13	63.27		289.60		
15		10.38	21.49	6838	84.62	80.81		0.27		
16		10.39	21.17	7307	84.73	86.24		35.42		
17		10.31	20.94	7386	83.43	88.53		67.94		
18		10.26	20.82	7115	82.62	86.11		33.97		
19		10.30	21.13	6965	83.27	83.64		11.28		
20		10.18	20.56	6895	81.45	84.66		19.11		
21		10.17	20.41	6174	81.23	76.00		18.34		
22		10.31	20.93	7865	83.43	94.27		195.55		
23		10.17	20.48	7670	81.18	94.48		201.53		
24		10.14	20.88	6065	80.70	75.15		26.34		
25		10.31	21.41	6337	83.43	75.96		18.75		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 141 Tabla de rotura diseño ACI - IP - 280.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO ACI - TIPO IP - RESISTENCIA 280 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(f _{ci} - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.22	20.49	11555	82.09	140.77	127.84	167.06	9.48	Excelente
2		10.17	20.56	11194	81.23	137.80		99.23		
3		10.48	21.28	10177	86.26	117.98		97.23		
4		10.16	20.51	9761	81.02	120.48		54.22		
5		10.29	21.15	10167	83.22	122.18		32.07		
6	14	10.22	21.12	13422	82.09	163.51	141.29	493.82	11.35	Excelente
7		10.19	20.52	11078	81.50	135.93		28.73		
8		10.18	20.86	11356	81.45	139.43		3.45		
9		10.18	20.96	11037	81.45	135.51		33.34		
10		10.29	21.32	10982	83.16	132.06		85.20		
11	28	10.22	21.24	8695	82.09	105.92	100.88	25.44	10.34	Excelente
12		10.24	21.11	9156	82.35	111.18		106.03		
13		10.21	20.63	8812	81.82	107.70		46.52		
14		10.16	20.76	7563	81.07	93.29		57.67		
15		10.42	21.09	9710	85.22	113.94		170.53		
16		10.34	20.89	9717	83.97	115.72		220.17		
17		10.17	20.44	7268	81.29	89.41		131.50		
18		10.30	20.83	6965	83.27	83.64		297.06		
19		10.16	20.92	8340	81.02	102.94		4.23		
20		10.37	20.85	9258	84.46	109.61		76.30		
21		10.35	21.05	7275	84.19	86.41		209.27		
22		10.17	21.15	8291	81.18	102.13		1.57		
23		10.34	21.28	9140	83.92	108.92		64.59		
24		10.24	20.99	7375	82.30	89.61		127.02		
25		10.19	20.76	7566	81.55	92.77		65.70		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 142 Tabla de roturas diseño ACI - IP - 280 + AD.

4DISEÑO DE MEZCLA - METODO ACI - TIPO IP - RESISTENCIA 280 kg/cm ² + AD							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.38	20.90	8579	84.62	101.38	101.48	0.01	4.61	Excelente
2		10.26	21.03	8087	82.62	97.88		12.98		
3		10.24	20.84	8661	82.30	105.24		14.10		
4		10.35	21.13	8006	84.13	95.16		39.97		
5		10.14	20.58	8707	80.81	107.75		39.31		
6	14	10.35	21.44	11482	84.13	136.47	139.13	7.08	5.89	Excelente
7		10.17	21.08	11781	81.29	144.93		33.63		
8		10.29	21.08	11389	83.22	136.86		5.16		
9		10.26	20.89	10808	82.68	130.73		70.70		
10		10.38	21.17	12404	84.57	146.68		56.87		
11	28	10.38	21.29	6890	84.57	81.47	91.53	101.17	9.05	Excelente
12		10.35	20.98	6732	84.13	80.02		132.61		
13		10.24	21.05	8795	82.30	106.86		235.08		
14		10.30	19.02	8453	83.27	101.51		99.66		
15		10.29	20.84	8089	83.16	97.27		32.92		
16		10.37	20.76	7297	84.51	86.34		26.94		
17		10.21	20.73	7380	81.82	90.20		1.78		
18		10.38	21.05	7447	84.62	88.00		12.45		
19		10.39	21.21	8217	84.73	96.98		29.66		
20		10.19	21.12	7002	81.61	85.80		32.82		
21		10.17	21.05	6782	81.29	83.43		65.57		
22		10.35	21.18	7103	84.13	84.43		50.50		
23		10.29	21.08	9269	83.11	111.53		399.97		
24		10.19	20.94	7256	81.50	89.03		6.25		
25		10.13	20.69	7256	80.54	90.09		2.08		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 143 Tabla de roturas diseño ACI - HS - 210.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO ACI - TIPO HS - RESISTENCIA 210 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(f _{ci} - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.24	20.91	6590	82.35	80.02	88.43	70.81	4.80	Excelente
2		10.17	20.64	7090	81.29	87.22		1.47		
3		10.27	20.71	7487	82.84	90.38		3.79		
4		10.19	20.51	7340	81.50	90.06		2.65		
5		10.39	21.12	8011	84.79	94.49		36.62		
6	14	10.25	20.80	11531	82.57	139.65	106.74	1083.16	16.57	Muy bueno
7		10.34	21.20	8264	84.03	98.35		70.38		
8		10.20	20.63	8297	81.66	101.60		26.37		
9		10.21	20.60	8065	81.82	98.57		66.75		
10		10.24	20.58	7872	82.41	95.52		125.81		
11	28	10.17	20.61	9067	81.29	111.54	118.13	43.35	8.61	Excelente
12		10.22	20.57	9695	81.98	118.26		0.02		
13		10.18	20.52	9067	81.39	111.40		45.29		
14		10.15	20.43	8907	80.97	110.01		65.94		
15		10.20	20.45	10189	81.71	124.69		43.09		
16		10.16	20.50	9393	81.13	115.78		5.50		
17		10.40	21.18	10916	84.89	128.58		109.31		
18		10.17	20.51	10012	81.23	123.25		26.24		
19		10.10	20.54	10844	80.17	135.26		293.50		
20		10.21	20.53	8985	81.93	109.67		71.52		
21		10.13	20.63	8742	80.60	108.47		93.32		
22		10.19	20.49	9304	81.55	114.09		16.34		
23		10.21	20.65	9191	81.82	112.33		33.59		
24		10.15	20.59	10848	80.97	133.98		251.30		
25		10.21	20.77	9377	81.82	114.61		12.41		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 144 Tabla de rotura diseño ACI - HS - 210 + AD - 10%.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO ACI - TIPO HS - RESISTENCIA 210 kg/cm ² +AD - 10%										
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS					Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.37	20.96	9254	84.51	109.50	103.26	38.92	4.91	Excelente
2		10.30	20.79	8515	83.27	102.26		1.00		
3		10.35	21.21	9123	84.19	108.36		26.07		
4		10.22	20.64	7980	81.98	97.34		35.02		
5		10.28	20.77	8203	83.00	98.83		19.60		
6	14	10.14	20.33	9336	80.70	115.69	115.16	0.28	2.06	Excelente
7		10.19	21.19	9625	81.55	118.02		8.21		
8		10.38	21.26	9437	84.57	111.59		12.72		
9		10.21	20.48	9433	81.82	115.29		0.02		
10		10.31	21.06	9611	83.43	115.20		0.00		
11	28	10.30	21.11	10650	83.38	127.73	140.28	157.36	10.05	Excelente
12		10.30	20.87	10645	83.38	127.67		158.86		
13		10.19	20.90	11702	81.50	143.58		10.93		
14		10.17	21.22	10806	81.18	133.11		51.34		
15		10.34	20.99	11783	83.97	140.32		0.00		
16		10.31	21.08	12342	83.43	147.93		58.58		
17		10.27	20.65	11850	82.89	142.96		7.18		
18		10.23	21.00	11429	82.19	139.05		1.51		
19		10.20	20.69	10536	81.66	129.02		126.65		
20		10.21	20.64	13145	81.82	160.66		415.37		
21		10.32	20.90	11538	83.70	137.85		5.90		
22		10.29	21.05	12998	83.22	156.20		253.45		
23		10.21	21.02	10485	81.82	128.15		147.13		
24		10.33	21.00	11626	83.75	138.81		2.15		
25		10.33	21.12	12673	83.86	151.12		117.46		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 145 Tabla de rotura diseño ACI - HS - 280.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO ACI - TIPO HS -RESISTENCIA 280 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.20	20.59	8298	81.66	101.62	97.01	21.22	3.86	Excelente
2		10.11	20.55	7829	80.22	97.59		0.33		
3		10.40	21.38	8507	84.95	100.14		9.81		
4		10.13	20.70	7644	80.54	94.91		4.43		
5		10.21	20.63	7429	81.82	90.80		38.61		
6	14	10.17	20.65	8280	81.18	102.00	111.11	83.10	8.23	Excelente
7		10.36	21.01	8907	84.24	105.73		28.96		
8		10.19	20.51	8685	81.50	106.57		20.67		
9		10.20	20.55	9571	81.71	117.13		36.21		
10		10.13	20.94	10005	80.60	124.14		169.70		
11	28	10.32	21.11	9288	83.70	110.97	108.52	5.99	9.26	Excelente
12		10.34	20.87	8977	83.97	106.91		2.61		
13		10.22	20.75	8537	82.03	104.07		19.83		
14		10.33	20.94	8061	83.81	96.18		152.20		
15		10.26	20.90	10566	82.62	127.88		374.88		
16		10.35	20.91	8210	84.19	97.52		121.00		
17		10.18	21.04	8762	81.34	107.72		0.64		
18		10.11	20.55	8955	80.22	111.62		9.64		
19		10.28	20.93	10733	83.05	129.23		428.91		
20		10.22	20.80	8327	82.09	101.44		50.11		
21		10.22	20.63	8970	82.09	109.27		0.57		
22		10.14	20.93	8778	80.70	108.77		0.06		
23		10.33	21.16	8452	83.81	100.85		58.85		
24		10.17	20.41	8306	81.29	102.18		40.17		
25	10.17	20.46	9188	81.18	113.18	21.73				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 146 Tabla de rotura diseño ACI - HS - 280 + AD - 10%.

DISEÑO - METODO ACI - TIPO HS - RESISTENCIA 280 kg/cm ² + ADITIVO - 10%										
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS					Promedio por edad kg/cm ²	(f _{ci} - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.35	21.07	8149	84.19	96.80	101.77	24.71	7.45	Excelente
2		10.19	20.63	9309	81.50	114.22		155.15		
3		10.42	21.34	8100	85.28	94.99		45.97		
4		10.35	21.22	8960	84.13	106.50		22.38		
5		10.27	20.88	7985	82.89	96.33		29.55		
6	14	10.34	21.21	10416	84.03	123.96	119.84	16.97	4.74	Excelente
7		10.22	20.63	9462	81.98	115.42		19.58		
8		10.22	20.75	9378	82.09	114.24		31.35		
9		10.42	21.45	10779	85.22	126.48		44.08		
10		10.19	20.93	9720	81.61	119.11		0.54		
11	28	10.16	20.66	10356	81.13	127.65	131.91	18.09	6.07	Excelente
12		10.22	20.70	12161	82.03	148.24		266.96		
13		10.22	20.47	10442	82.09	127.21		22.08		
14		10.25	21.24	11285	82.46	136.85		24.45		
15		10.21	20.75	10793	81.82	131.91		0.00		
16		10.18	20.67	10930	81.45	134.20		5.26		
17		10.34	21.34	11733	83.92	139.82		62.58		
18		10.28	21.14	10410	83.05	125.34		43.09		
19		10.18	20.55	11045	81.39	135.70		14.40		
20		10.15	20.42	10320	80.86	127.63		18.30		
21		10.16	20.59	10061	81.02	124.18		59.69		
22		10.22	20.49	10768	82.09	131.18		0.53		
23		10.18	21.10	10591	81.34	130.21		2.88		
24		10.22	20.76	10592	81.98	129.20		7.31		
25		10.16	20.35	10473	81.02	129.26		6.97		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 147 Tabla de rotura diseño CA - IP - 210.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO CA - TIPO IP - RESISTENCIA 210 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.13	20.57	9926	80.54	123.24	126.82	12.84	12.60	Excelente
2		10.14	20.48	11692	80.75	144.78		322.64		
3		10.20	20.42	8946	81.66	109.55		298.25		
4		10.16	20.66	11122	81.13	137.09		105.52		
5		10.44	21.11	10218	85.55	119.44		54.49		
6	14	10.35	21.03	7621	84.19	90.52	86.73	14.39	2.97	Excelente
7		10.30	21.03	6866	83.32	82.40		18.73		
8		10.29	21.04	6999	83.11	84.22		6.32		
9		10.11	20.44	7077	80.22	88.22		2.21		
10		10.34	21.14	7414	83.97	88.29		2.44		
11	28	10.19	20.36	7785	81.55	95.46	92.79	7.13	7.76	Excelente
12		10.21	20.58	7567	81.87	92.42		0.13		
13		10.21	20.64	6732	81.87	82.22		111.60		
14		10.32	21.24	7698	83.65	92.03		0.58		
15		10.30	21.05	7356	83.38	88.23		20.82		
16		10.25	21.02	8288	82.52	100.44		58.56		
17		10.33	21.00	6966	83.75	83.17		92.50		
18		10.20	20.56	8224	81.77	100.58		60.69		
19		10.14	20.50	6682	80.75	82.74		100.88		
20		10.17	20.65	7375	81.18	90.85		3.77		
21		10.20	20.70	7822	81.71	95.73		8.62		
22		10.14	20.50	8339	80.70	103.33		111.15		
23		10.31	21.16	9126	83.48	109.31		273.06		
24		10.20	20.69	7088	81.66	86.80		35.87		
25		10.22	20.62	7261	82.03	88.51		18.29		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 148 Tabla de rotura diseño CA - IP - 210 + AD.

DISEÑO - METODO CA - TIPO IP - RESISTENCIA 210 kg/cm ² + AD							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.26	20.88	10924	82.73	132.04	131.77	0.07	2.69	Excelente
2		10.27	21.00	10993	82.84	132.70		0.87		
3		10.18	20.99	10335	81.34	127.06		22.20		
4		10.33	20.98	11353	83.86	135.38		12.98		
5		10.27	21.13	10908	82.84	131.68		0.01		
6	14	10.16	20.65	5952	81.02	73.46	79.74	39.35	7.42	Excelente
7		10.14	20.75	7551	80.75	93.51		189.61		
8		10.13	20.66	5918	80.60	73.43		39.78		
9		10.13	20.50	6519	80.60	80.89		1.32		
10		10.14	20.58	6246	80.70	77.40		5.47		
11	28	10.25	20.78	6975	82.46	84.58	98.37	190.05	10.86	Excelente
12		10.17	21.08	6562	81.29	80.73		311.27		
13		10.26	21.13	7993	82.68	96.68		2.87		
14		10.25	20.71	7592	82.52	92.01		40.50		
15		10.14	20.44	8343	80.81	103.25		23.77		
16		10.36	21.23	8872	84.30	105.25		47.30		
17		10.34	21.21	9146	83.92	108.99		112.75		
18		10.18	20.46	8428	81.34	103.62		27.51		
19		10.20	20.65	8020	81.77	98.08		0.08		
20		10.20	20.59	10262	81.66	125.67		745.19		
21		10.30	20.49	7756	83.38	93.02		28.59		
22		10.09	20.47	8522	79.91	106.65		68.54		
23		10.15	20.31	7649	80.86	94.59		14.25		
24		10.34	21.19	8093	83.97	96.38		3.97		
25		10.35	21.23	7236	84.08	86.06		151.51		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 149 Tabla de rotura diseño CA - IP - 280.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO CA - TIPO IP - RESISTENCIA 280 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.18	20.80	6329	81.39	77.76	77.15	0.37	2.86	Excelente
2		10.23	20.57	6030	82.14	73.41		13.99		
3		10.32	21.25	6424	83.70	76.75		0.16		
4		10.25	21.27	6254	82.57	75.74		1.99		
5		10.28	21.07	6814	83.00	82.10		24.45		
6	14	10.14	20.82	7718	80.81	95.51	92.01	12.24	2.64	Excelente
7		10.35	21.26	7723	84.19	91.74		0.08		
8		10.20	20.53	7701	81.77	94.18		4.71		
9		10.29	20.97	7327	83.22	88.05		15.71		
10		10.24	20.65	7455	82.30	90.58		2.05		
11	28	10.22	21.26	9390	82.03	114.47	110.79	13.54	4.72	Excelente
12		10.30	20.93	9649	83.32	115.80		25.17		
13		10.30	21.00	8907	83.38	106.83		15.66		
14		10.38	21.09	8944	84.68	105.63		26.62		
15		10.15	21.13	8480	80.91	104.80		35.79		
16		10.22	20.49	8965	82.03	109.28		2.25		
17		10.41	21.23	8806	85.11	103.46		53.61		
18		10.36	21.20	10144	84.35	120.26		89.77		
19		10.21	20.73	8898	81.87	108.68		4.43		
20		10.24	20.90	8784	82.35	106.66		17.02		
21		10.18	20.95	9345	81.39	114.81		16.23		
22		10.32	21.10	9538	83.70	113.95		10.04		
23		10.22	20.87	8986	82.03	109.54		1.55		
24		10.18	20.52	9384	81.34	115.37		21.01		
25		10.37	20.93	9485	84.51	112.23		2.09		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 150 Tabla de rotura diseño CA - IP - 280 + AD.

DISEÑO - METODO CA - TIPO IP - RESISTENCIA 280 kg/cm ² + AD							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.33	21.53	5677	83.86	67.69	68.30	0.36	2.57	Excelente
2		10.19	20.89	5524	81.61	67.69		0.37		
3		10.28	21.04	5338	83.00	64.31		15.86		
4		10.29	21.18	5994	83.11	72.12		14.65		
5		10.17	20.89	5655	81.18	69.66		1.86		
6	14	10.34	21.33	8603	84.03	102.39	89.96	154.52	7.73	Excelente
7		10.23	20.74	6743	82.14	82.09		61.84		
8		10.12	20.72	7038	80.44	87.50		6.04		
9		10.15	20.59	7687	80.91	95.00		25.48		
10		10.19	20.84	6748	81.50	82.80		51.22		
11	28	10.28	21.01	8492	83.05	102.25	96.63	31.57	7.05	Excelente
12		10.31	21.08	8797	83.54	105.30		75.27		
13		10.19	20.44	7139	81.61	87.48		83.67		
14		10.15	20.55	7820	80.91	96.65		0.00		
15		10.19	20.60	8442	81.50	103.58		48.37		
16		10.22	20.67	7617	82.09	92.79		14.72		
17		10.19	20.61	7499	81.50	92.01		21.30		
18		10.13	20.67	7521	80.60	93.32		10.96		
19		10.16	20.79	7639	81.13	94.16		6.09		
20		10.19	20.99	9135	81.50	112.09		238.95		
21		10.37	21.12	7465	84.40	88.44		67.01		
22		10.29	20.12	7712	83.11	92.80		14.69		
23		10.30	21.02	7437	83.38	89.20		55.22		
24		10.20	20.72	8582	81.66	105.10		71.68		
25		10.32	21.08	7890	83.70	94.26		5.59		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 151 Tabla de rotura diseño CA - HS - 210.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO CA - TIPO HS - RESISTENCIA 210 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.36	21.25	6999	84.30	83.03	79.14	15.14	3.27	Excelente
2		10.11	20.81	6630	80.28	82.59		11.91		
3		10.34	21.17	6279	83.92	74.82		18.61		
4		10.30	21.33	6577	83.38	78.88		0.07		
5		10.20	20.76	6236	81.66	76.37		7.68		
6	14	10.21	20.85	7091	81.87	86.61	89.80	10.18	5.69	Excelente
7		10.19	20.73	7465	81.55	91.54		3.01		
8		10.40	21.35	6972	84.95	82.07		59.72		
9		10.21	20.81	8129	81.93	99.22		88.78		
10		10.21	21.10	7328	81.82	89.56		0.06		
11	28	10.10	20.68	8538	80.17	106.50	113.70	51.87	7.87	Excelente
12		10.15	20.45	9223	80.91	113.99		0.08		
13		10.37	21.12	9694	84.46	114.78		1.16		
14		10.26	20.67	8252	82.68	99.81		192.89		
15		10.14	20.64	9735	80.75	120.55		46.95		
16		10.18	20.54	8926	81.39	109.67		16.26		
17		10.16	20.58	8843	81.07	109.07		21.39		
18		10.18	20.64	9298	81.39	114.24		0.29		
19		10.20	21.10	10930	81.71	133.76		402.50		
20		10.27	21.18	9697	82.84	117.06		11.29		
21		10.33	20.98	9481	83.75	113.20		0.25		
22		10.13	20.70	9194	80.54	114.15		0.20		
23		10.22	21.04	8559	82.09	104.27		88.95		
24		10.13	20.59	9928	80.60	123.18		89.96		
25		10.42	21.00	9494	85.33	111.26		5.94		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 152 Tabla de roturas CA - HS - 210 + AD - 10%.

DISEÑO - METODO CA - TIPO HS -RESISTENCIA 210 kg/cm ² + AD - REDUCCIÓN 10 %										
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS					Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.19	20.69	7567	81.55	92.79	96.01	10.42	5.33	Excelente
2		10.17	20.40	7940	81.18	97.81		3.21		
3		10.30	21.09	8702	83.32	104.44		70.94		
4		10.18	20.42	7200	81.39	88.46		57.07		
5		10.22	21.10	7923	82.03	96.58		0.32		
6	14	10.16	20.64	8704	81.13	107.29	108.06	0.60	4.39	Excelente
7		10.33	21.34	9366	83.86	111.68		13.09		
8		10.28	20.99	8433	83.00	101.60		41.75		
9		10.18	20.72	9275	81.34	114.03		35.57		
10		10.29	21.17	8786	83.11	105.72		5.50		
11	28	10.32	21.30	13218	83.70	157.92	138.88	362.68	9.50	Excelente
12		10.19	20.53	11534	81.61	141.34		6.06		
13		10.17	20.78	12731	81.23	156.72		318.51		
14		10.23	20.58	11610	82.25	141.16		5.21		
15		10.19	20.91	10762	81.61	131.88		48.97		
16		10.22	21.12	10519	81.98	128.31		111.59		
17		10.20	20.56	10568	81.71	129.33		91.10		
18		10.29	21.06	11174	83.11	134.45		19.56		
19		10.40	21.18	10785	85.00	126.88		143.95		
20		10.21	20.60	10526	81.93	128.48		108.05		
21		10.31	21.04	11984	83.54	143.45		20.97		
22		10.18	20.69	10756	81.39	132.15		45.24		
23		10.14	20.69	11506	80.81	142.39		12.34		
24		10.17	20.65	11722	81.29	144.21		28.42		
25		10.36	21.13	12170	84.24	144.46		31.24		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 153 Tabla de roturas diseño CA - HS - 280.

DISEÑO DE MEZCLA - METODO CA - TIPO HS - RESISTENCIA 280 kg/cm ²							Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS								
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.30	21.10	7379	83.38	88.50	86.88	2.64	3.02	Excelente
2		10.27	20.93	7083	82.89	85.45		2.04		
3		10.36	21.20	7086	84.30	84.06		7.94		
4		10.20	19.04	6892	81.71	84.34		6.42		
5		10.19	19.55	7501	81.50	92.04		26.62		
6	14	10.30	20.92	8585	83.27	103.10	101.40	2.90	2.37	Excelente
7		10.14	20.95	8398	80.75	103.99		6.75		
8		10.15	20.66	8315	80.91	102.76		1.87		
9		10.24	20.65	8148	82.30	99.00		5.73		
10		10.30	20.74	8181	83.38	98.12		10.73		
11	28	10.19	20.78	10461	81.50	128.36	125.59	7.67	6.49	Excelente
12		10.18	20.90	10407	81.34	127.95		5.56		
13		10.29	20.88	11242	83.16	135.18		92.09		
14		10.14	20.71	9458	80.81	117.04		72.99		
15		10.18	20.84	9797	81.45	120.29		28.08		
16		10.33	21.20	10879	83.75	129.89		18.52		
17		10.28	21.11	10654	82.95	128.45		8.17		
18		10.30	21.01	11478	83.27	137.84		150.20		
19		10.25	21.02	10125	82.46	122.78		7.86		
20		10.23	21.43	10979	82.14	133.66		65.19		
21		10.29	21.14	10110	83.16	121.57		16.13		
22		10.15	20.90	9873	80.91	122.02		12.73		
23		10.27	21.14	9511	82.89	114.74		117.66		
24		10.31	21.57	10069	83.43	120.69		24.01		
25		10.15	20.89	9987	80.97	123.35		5.02		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 154 Tabla de rotura CA - HS - 280 + AD - 10%.

DISEÑO - METODO CA - TIPO HS - RESISTENCIA 280 kg/cm ² + AD - REDUCCION 10%										
Muestra	Edad (días)	TOMA DE DATOS					Promedio por edad kg/cm ²	(fci - f'co) ²	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	CLASIFICACION
		Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Fuerza (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)				
1	7	10.30	21.09	8350	83.38	100.15	95.48	21.74	4.71	Excelente
2		10.18	20.65	7345	81.34	90.30		26.87		
3		10.20	20.75	7779	81.66	95.26		0.05		
4		10.19	20.30	7359	81.50	90.30		26.93		
5		10.21	20.62	8298	81.82	101.42		35.21		
6	14	10.38	21.08	9552	84.68	112.81	123.36	111.34	7.80	Excelente
7		10.21	20.67	9842	81.87	120.21		9.90		
8		10.27	20.84	10340	82.78	124.90		2.39		
9		10.18	21.16	9940	81.39	122.12		1.52		
10		10.16	20.72	11079	81.02	136.74		179.20		
11	28	10.25	21.15	11093	82.52	134.43	133.02	2.00	6.17	Excelente
12		10.18	20.72	10114	81.39	124.26		76.71		
13		10.15	20.58	11458	80.86	141.70		75.36		
14		10.21	21.02	10320	81.82	126.13		47.46		
15		10.30	21.28	10999	83.32	132.00		1.03		
16		10.22	20.56	10926	82.09	133.10		0.01		
17		10.30	21.19	11899	83.32	142.81		95.77		
18		10.25	20.90	10757	82.46	130.45		6.62		
19		10.33	21.03	10140	83.75	121.07		142.86		
20		10.15	20.92	10798	80.97	133.36		0.12		
21		10.18	20.62	11385	81.45	139.79		45.78		
22		10.19	20.60	11123	81.55	136.39		11.36		
23		10.14	20.30	11292	80.81	139.74		45.15		
24		10.12	20.54	10358	80.49	128.69		18.76		
25		10.28	20.71	10897	82.95	131.37		2.71		

Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO DE CAPILARIDAD.

Tabla 155 Resultados ensayos de capilaridad método ACI 211.1 - cemento IP.

		ACI – IP - 210			ACI – IP – 210 + AD		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.455	187.48	2921	15.46	187.12	32154
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{(t^2)}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	2925	0	0.000	3157	0	0.000
0.02	0.13	2952	27	0.144	3176	19	0.101
0.08	0.29	2978	53	0.283	3191	34	0.181
0.17	0.41	2989	64	0.341	3200	43	0.229
0.33	0.58	2999	74	0.395	3205	48	0.256
0.5	0.71	3005	80	0.427	3210	53	0.283
1	1.00	3018	93	0.496	3213	56	0.299
2	1.41	3040.5	115.5	0.616	3220	63	0.336
3	1.73	3053	128	0.683	3223.5	66.5	0.355
4	2.000	3065	140	0.747	3226.5	69.5	0.371
5	2.24	3075	150	0.800	3229	72	0.384
6	2.45	3088	163	0.869	3233	76	0.405
24	4.90	3187	262	1.398	3255	98	0.523
		ACI – IP - 280			ACI – IP – 280 + AD		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.43	186.99	3063	15.33	184.58	2921
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{(t^2)}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	3068	0	0.000	2981	0	0.000
0.02	0.13	3089	21	0.112	2998	17	0.091
0.08	0.29	3108	40	0.213	3014	33	0.176
0.17	0.41	3117	49	0.261	3022	41	0.219
0.33	0.58	3125	57	0.304	3026	45	0.240
0.5	0.71	3130	62	0.331	3032	51	0.272
1	1.00	3135	67	0.357	3038.5	57.5	0.307
2	1.41	3143.5	75.5	0.403	3049	68	0.363
3	1.73	3149	81	0.432	3055	74	0.395
4	2.000	3155	87	0.464	3059.5	78.5	0.419
5	2.24	3158.5	90.5	0.483	3063	82	0.437
6	2.45	3164	96	0.512	3068	87	0.464
24	4.90	3208	140	0.747	3106	125	0.667

Fuente: Elaboración propia

Tabla 156 Resultados ensayo de capilaridad método ACI 211.1 - cemento HS.

		ACI - HS - 210			ACI - HS - 210 + AD - 10%		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.35	185.06	3332	15.35	185.06	3340
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{(t^2)}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	3337	0	0.000	3345	0	0.000
0.02	0.13	3354	17	0.091	3356	11	0.059
0.08	0.29	3371	34	0.181	3366	21	0.112
0.17	0.41	3378	41	0.219	3371	26	0.139
0.33	0.58	3384	47	0.251	3375	30	0.160
0.5	0.71	3388	51	0.272	3377	32	0.171
1	1.00	3393.5	56.5	0.301	3379	34	0.181
2	1.41	3400.5	63.5	0.339	3381	36	0.192
3	1.73	3406.5	69.5	0.371	3382	37	0.197
4	2.000	3412	75	0.400	3383	38	0.203
5	2.24	3417	80	0.427	3384	39	0.208
6	2.45	3422	85	0.453	3385	40	0.213
24	4.90	3478	141	0.752	3392.5	47.5	0.253
		ACI - HS - 280			ACI - HS - 280 + AD - 10%		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.49	188.45	3014	15.39	186.02	3250
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{(t^2)}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	3020	0	0.000	3256	0	0.000
0.02	0.13	3041	21	0.112	3270	14	0.075
0.08	0.29	3061	41	0.219	3280	24	0.128
0.17	0.41	3072	52	0.277	3285	29	0.155
0.33	0.58	3084	64	0.341	3289	33	0.176
0.5	0.71	3090	70	0.373	3291	35	0.187
1	1.00	3094.5	74.5	0.397	3296	40	0.213
2	1.41	3099.5	79.5	0.424	3297.5	41.5	0.221
3	1.73	3102	82	0.437	3298	42	0.224
4	2.000	3105	85	0.453	3298.5	42.5	0.227
5	2.24	3107	87	0.464	3299.5	43.5	0.232
6	2.45	3110	90	0.480	3300.5	44.5	0.237
24	4.90	3141.5	121.5	0.648	3305	49	0.261

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 157 Resultados ensayos de capilaridad método de combinación de agregados - cemento IP.

		CA - IP - 210			CA - IP - 210 + AD		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.53	189.42	3141	15.44	187.23	3097
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{t^2}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	3146	0	0.000	3102	0	0.000
0.02	0.13	3164	18	0.096	3121	19	0.101
0.08	0.29	3175	29	0.155	3137	35	0.187
0.17	0.41	3182	36	0.192	3149	47	0.251
0.33	0.58	3187	41	0.219	3159	57	0.304
0.5	0.71	3193	47	0.251	3165	63	0.336
1	1.00	3197.5	51.5	0.275	3171	69	0.368
2	1.41	3205.5	59.5	0.317	3177	75	0.400
3	1.73	3210.5	64.5	0.344	3180.5	78.5	0.419
4	2.000	3214	68	0.363	3182.5	80.5	0.429
5	2.24	3216	70	0.373	3185	83	0.443
6	2.45	3221	75	0.400	3188	86	0.459
24	4.90	3243.5	97.5	0.520	3207	105	0.560
		CA - IP - 280			CA - IP - 280 + AD		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.86	197.56	3133	15.55	189.91	3032
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{t^2}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	3139	0	0.000	3038	0	0.000
0.02	0.13	3157	18	0.096	3054	16	0.085
0.08	0.29	3167	28	0.149	3067	29	0.155
0.17	0.41	3173	34	0.181	3074	36	0.192
0.33	0.58	3178	39	0.208	3083	45	0.240
0.5	0.71	3182	43	0.229	3090	52	0.277
1	1.00	3185.5	46.5	0.248	3095.5	57.5	0.307
2	1.41	3192	53	0.283	3102.5	64.5	0.344
3	1.73	3197	58	0.309	3106.5	68.5	0.365
4	2.000	3200	61	0.325	3110	72	0.384
5	2.24	3202.5	63.5	0.339	3112.5	74.5	0.397
6	2.45	3204	65	0.347	3115	77	0.411
24	4.90	3233.5	94.5	0.504	3141	103	0.549

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 158 Resultados ensayos de capilaridad método de combinación de agregados - cemento HS.

		CA – HS - 210			CA – HS – 210 + AD - 10%		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.33	184.58	3198	15.32	184.33	3382
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{t^2}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	3203	0	0.000	3387	0	0.000
0.02	0.13	3219	16	0.085	3402	15	0.080
0.08	0.29	3230	27	0.144	3412	25	0.133
0.17	0.41	3234	31	0.165	3417	30	0.160
0.33	0.58	3242	39	0.208	3423	36	0.192
0.5	0.71	3246	43	0.229	3425	38	0.203
1	1.00	3255	52	0.277	3428.5	41.5	0.221
2	1.41	3266.5	63.5	0.339	3433.5	46.5	0.248
3	1.73	3272.5	69.5	0.371	3435.5	48.5	0.259
4	2.000	3277.5	74.5	0.397	3437.5	50.5	0.269
5	2.24	3281.5	78.5	0.419	3438	51	0.272
6	2.45	3285	82	0.437	3439	52	0.277
24	4.90	3334	131	0.699	3455	68	0.363
		CA – HS - 280			CA – HS – 280 + AD - 10%		
		Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Peso inicial (g)
		15.40	186.27	2968	15.55	189.91	3268
Tiempo de ensayo (h)	Tiempo $\frac{1}{t^2}$	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)	Masa (g)	Delta masa (g)	Absorción capilar (g/cm ²)
0.00	0.00	2972	0	0.000	3273	0	0.000
0.02	0.13	2989	17	0.091	3287	14	0.075
0.08	0.29	3002	30	0.160	3299	26	0.139
0.17	0.41	3009	37	0.197	3308	35	0.187
0.33	0.58	3013	41	0.219	3314	41	0.219
0.5	0.71	3014	42	0.224	3318.5	45.5	0.243
1	1.00	3017	45	0.240	3327.5	54.5	0.291
2	1.41	3021.5	49.5	0.264	3332.5	59.5	0.317
3	1.73	3025	53	0.283	3334	61	0.325
4	2.000	3028.5	56.5	0.301	3334.5	61.5	0.328
5	2.24	3030.5	58.5	0.312	3335	62	0.331
6	2.45	3033	61	0.325	3336	63	0.336
24	4.90	3070.5	98.5	0.525	3346	73	0.389

Fuente: Elaboración propia.

PANEL FOTOGRÁFICO.



Fotografía 1 Recolección del agregado grueso de roca ignimbrita.



Fotografía 2 Ensayo de granulometría agregado grueso.



Fotografía 3 Ensayo de la máquina de los ángeles.



Fotografía 4 Ensayo de peso específico del agregado fino.



Fotografía 5 Asentamiento (slump) del concreto.



Fotografía 6 Fraguado del concreto en moldes.



Fotografía 7 Diferencia de concreto endurecido con aditivo plastificante.



Fotografía 8 Acabado superficial de concreto con y sin incorporación de aditivo plastificante.



Fotografía 9 Secado del concreto con roca ignimbrita.



Fotografía 10 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto.



Fotografía 11 Probeta ensayada de concreto con roca ignimbrita.



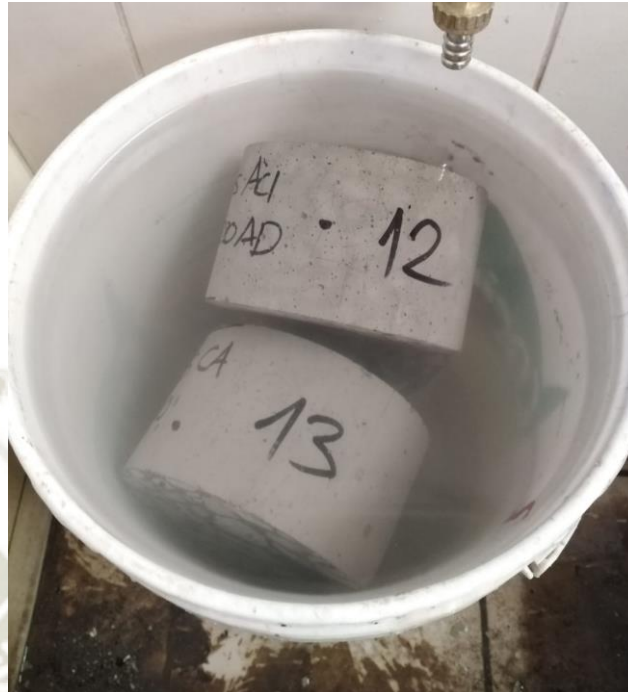
Fotografía 12 Muestras de concreto sumergido en solución de sulfatos.



Fotografía 13 Muestras secando después de 28 días de sumergidos en solución de sulfato.



Fotografía 14 Restos de motero desprendidos por el ataque de sulfatos.



Fotografía 15 Saturación de concreto para el cálculo de la cantidad de poros.



Fotografía 16 Cálculo del peso sumergido del concreto.



Fotografía 17 Ensayo de capilaridad del concreto.



Fotografía 18 Ensayo de permeabilidad del concreto a presión constante de 1 MPa.



Fotografía 19 Ensayo de corte brasilero.



Fotografía 20 Profundidad de penetración del concreto.



Arequipa - Perú

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONSTANCIA

El que suscribe, **Dr. Ing. Alejandro Hidalgo Valdivia** Coordinador de Laboratorio de Suelos y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

HACE CONSTAR

Que el Señor Bachiller en Ingeniería Civil:

JUAN DIEGO QUITO COILA

(COD – 2012802401)

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Suelos y Concreto correspondiente a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

"USO DE RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE BLOQUES DE SILLAR DE LA CANTERA DE AÑASHUAYCO EN EL DISEÑO DE CONCRETO DE RESISTENCIAS CONVENCIONALES Y SU ANALISIS DE DURABILIDAD ANTE LA ACCION QUIMICA, EN LA CIUDAD DE AREQUIPA"

Los ensayos efectuados por el Bachiller fueron los siguientes:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
TTI-02	Análisis Granulométrico de Agregado Fino	3	S/13.00	S/39.00
TTI-08	Peso Unitario Suelto	3	S/6.00	S/18.00
TTI-09	Peso Unitario Compactado	3	S/9.00	S/27.00
TTI-07	Peso Específico y Absorción de Agregado Fino	3	S/11.00	S/33.00
TTI-01	Contenido de Humedad de Agregados	3	S/5.00	S/15.00
TTI-02	Análisis Granulométrico de Agregado Grueso	3	S/13.00	S/39.00
TTI-08	Peso Unitario Suelto	3	S/6.00	S/18.00
TTI-09	Peso Unitario Compactado	3	S/9.00	S/27.00
TTI-06	Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso	3	S/11.00	S/33.00
TTI-01	Contenido de Humedad de Agregados	3	S/5.00	S/15.00
TTI-10	Abrasión Los Angeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores a 1 1/2"	3	S/28.00	S/84.00
	Asentamiento de Concreto Fresco	16	S/0.00	S/0.00
	Contenido de Aire de Concreto en Estado Fresco	16	S/0.00	S/0.00
TTI-24	Compresión de Probetas de Concreto de 4" y 6 "	400	S/3.00	S/1,200.00
	Cantidad de Finos de los Agregados	6	S/10.00	S/60.00



Arequipa - Perú

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

	Peso Específico del Concreto	16	S/6.00	S/96.00
	Permeabilidad del Concreto	16	S/8.00	S/128.00
	Capilaridad y Porosidad del Concreto	16	S/0.00	S/0.00
	TOTAL:			S/1,832.00

El costo cancelado por dichos ensayos es de: S/ 641.00* (Comprobante BO17-00002733)

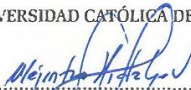
*Según descuento opción "C" por derecho de uso de laboratorio por tesis, de acuerdo a tarifario 2019 aprobado por el Consejo de Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente.

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, se llevaron a cabo entre el 15/05/2019 y el 17/10/2019

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para continuidad en el trámite de titulación.

Arequipa, 7 de Noviembre del 2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA


.....
Dr. Ing. ALEJANDRO VICTOR HIDALGO VALDIVIA
COORDINADOR DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA CIVIL
EPIC- FAICA - CAMPUS-PARQUE INDUSTRIAL