

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



“COMPARACIÓN E INFLUENCIA DE LA PUZOLANA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE CON UN CONCRETO CURADO EN CONDICIONES NORMALES.”

Tesis presentada por el Bachiller:

Gómez Sánchez, Carlos Frank

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Díaz Galdós, Miguel Renato

AREQUIPA - PERÚ

2018

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

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

"COMPARACION E INFLUENCIA DE LA PIZOLANA EN LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO CURADO EN
AUTOCLAVE CON UN CONCRETO CURADO EN CONDICIONES NORMALES"

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

CARLOS FRANK GÓMEZ SÁNCHEZ

Nuestro DICTAMEN es:

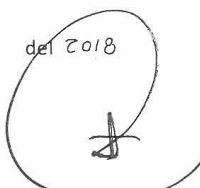
APROBADO

OBSERVACIONES:

Arequipa, 20 de Abril

del 2018


1938


1949


2778

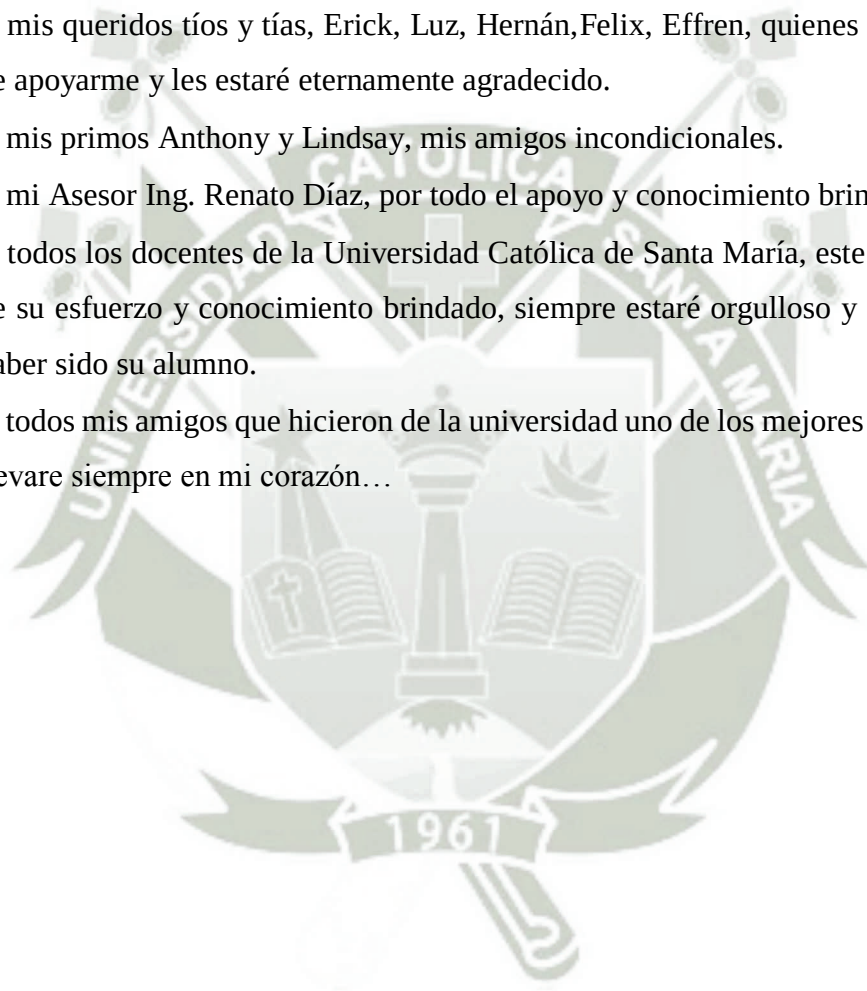
DEDICATORIA

A mi abuelita Antonia, quien desde el cielo me cuida y sé que hizo posible este logro. A mi madre María, las palabras no alcanzarían para demostrarle mi cariño y gratitud.



AGRADECIMIENTOS

- En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme vivir este maravilloso logro, no solo mío, sino de todos aquellos que confiaron en mí.
- A mis queridos padres, María Elena y Juan Carlos, por todo el apoyo y cariño brindado
- A mi alma mater, la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA DE AREQUIPA, la llevare siempre presente.
- A mi abuelita Antonia quien tanto amor me dio.
- A mis queridos tíos y tías, Erick, Luz, Hernán, Felix, Effren, quienes nunca dejaron de apoyarme y les estaré eternamente agradecido.
- A mis primos Anthony y Lindsay, mis amigos incondicionales.
- A mi Asesor Ing. Renato Díaz, por todo el apoyo y conocimiento brindado.
- A todos los docentes de la Universidad Católica de Santa María, este logro es fruto de su esfuerzo y conocimiento brindado, siempre estaré orgulloso y agradecido de haber sido su alumno.
- A todos mis amigos que hicieron de la universidad uno de los mejores recuerdos que llevare siempre en mi corazón...



RESUMEN

El presente trabajo lleva como título “COMPARACIÓN E INFLUENCIA DE LA PUZOLANA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE CON UN CONCRETO CURADO EN CONDICIONES NORMALES.” la investigación tiene como objetivo experimentar con dos distintos diseños de mezcla, uno con adición de puzolana(microsílice), y el otro sin la presencia de esta adición, para posteriormente someterlos al curado en autoclave en distintas cantidades de tiempo, con el fin de poder compararlos y así determinar la influencia de la puzolana en un concreto curado en autoclave con un concreto curado en condiciones normales.

Este trabajo presenta los resultados de una investigación elaborada en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente, Escuela Profesional de Ingeniería Civil y el curado en autoclave se realizó en un equipo de elaboración propia, en las instalaciones de la empresa Gomez Ingenieros.

Se elaboró un equipo de curado en autoclave en base a las recomendaciones de distintos autores y reportes del America Concret Institute (ACI), para el curado de especímenes de concreto de dos diseños de mezcla. Se realizaron curados de 2, 4 y 8 horas de exposición al autoclave, los cuales se ensayaron a compresión a las edades de 1, 7, 14, 21 y 28 días.

Finalmente se procedió al análisis de resultados y determinación de la influencia de un curado en autoclave y la reacción de la puzolana en este tipo de curado.

Palabras Clave: Autoclave, Puzolana, Concreto, Curado acelerado

ABSTRACT

The present work is titled "COMPARISON AND INFLUENCE OF THE PUZOLANA IN THE RESISTANCE TO THE COMPRESSION OF A CONCRETE CURED IN AUTOCLAVE WITH A CURED CONCRETE IN NORMAL CONDITIONS." The research aims to experiment with two different mix designs, one with addition of pozzolana (microsilica), and the other without the presence of this addition, to subsequently subject them to curing in autoclave in different amounts of time, in order to be able to compare them and determine the influence of the pozzolan in a concrete cured in an autoclave with a concrete cured under normal conditions.

This work presents the results of a research developed in the Civil Engineering Laboratory of the Catholic University of Santa Maria, Faculty of Architecture and Civil Engineering and Environment, Professional School of Civil Engineering and the autoclave curing was carried out in a processing team own, in the facilities of the company Gomez Ingenieros.

An autoclave curing equipment was developed based on the recommendations of different authors and reports of the America Concret Institute (ACI), for the curing of concrete specimens from two mixing designs. Curing of 2, 4 and 8 hours of autoclave exposure was carried out, which were tested in compression at the ages of 1, 7, 14, 21 and 28 days.

Finally we proceeded to the analysis of results and determination of the influence of an autoclave curing and the reaction of the pozzolan in this type of curing.

Keywords: Autoclave, Pozzolana, Concrete, Accelerated Curing.

INTRODUCCION

El concreto en el mundo de la construcción es el material de mayor uso, por su gran versatilidad, resistencia a la compresión y buen comportamiento en general, sin embargo, cada vez es de mayor conocimiento que las exigencias de construcción como el tiempo de colocación y operación del concreto en obra demandan mayor velocidad, por lo que se requiere resistencias especificadas en el menor tiempo posible.

El concreto curado en autoclave se muestra como una solución al requerimiento de estas altas resistencias iniciales, ya que en menos de un día pueden obtenerse resistencias similares o iguales a la especificada a 28 días.

Sumado a esto, la zona geográfica en la que se encuentra la ciudad de Arequipa y distintas partes del mundo poseen una riqueza en materiales puzolánicos, esto sin mencionar los materiales puzolánicos resultantes de la actividad industrial, materiales que presentan un comportamiento ligante en combinación con el concreto. Estos materiales puzolánicos presentan un plus al ser sometidos en autoclave, ya que mejoran sus propiedades ligantes a la exposición de altas temperaturas y presiones de vapor elevadas.

Es por estos motivos que resulta importante ahondar en las investigaciones del curado en autoclave y la influencia de la puzolana al ser sometida a este tipo de condiciones de curado.

INDICE

RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCION	V
LISTADO DE GRÁFICOS	X
LISTADO DE TABLAS	XI
LISTADO DE ILUSTRACIONES	XII
LISTADO DE FIGURAS	XIII
1. CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1. PROBLEMA	1
1.1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
1.3. ALCANCE	2
1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	3
1.5. HIPOTESIS	3
1.6. VARIABLES O INDICADORES	4
1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	4
1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES	4
2. CAPITULO II: MARCO TEORICO	4
2.1. DEFINICIONES PREVIAS	4
2.2. CURADO EN AUTOCLAVE	6
2.2.1. TIPOS DE CURADO	6
2.2.2. VENTAJAS DEL CURADO EN AUTOCLAVE	7
2.2.3. DESVENTAJAS DEL CURADO EN AUTOCLAVE	7
2.2.4. ORIGEN Y EVOLUCION HISTORICA DEL CURADO EN AUTOCLAVE	8
2.2.5. DESEMPEÑO MEDIO AMBIENTAL	10
2.2.6. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA	10
2.3. APLICACIONES DEL CURADO EN AUTOCLAVE	13
2.3.1. INTRODUCCION	13
2.3.2. CONCRETO LIGERO CURADO EN AUTOCLAVE	13

2.3.3.	PARA ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.....	15
2.3.4.	SISTEMAS Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	16
3.	CAPITULO III: EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE	17
3.1.	EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE.....	17
3.1.1.	ESTRUCTURA	17
3.1.2.	ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINA.....	20
3.2.	PROCEDIMIENTO Y CONDICIONES PARA CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE	23
3.2.1.	CONDICIONES DE CURADO:	23
3.2.2.	PROCEDIMIENTO DE CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN AUTOCLAVE.	25
4.	CAPITULO IV: MATERIALES DEL CONCRETO A UTILIZAR	29
4.1.	AGREGADO FINO: PROPIEDADES.....	29
4.1.1.	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN:.....	29
4.1.2.	PESO ESPECIFICO	29
4.1.3.	PESO UNITARIO COMPACTADO:	30
4.1.4.	PESO UNITARIO SUELTO:	31
4.1.5.	CONTENIDO DE HUMEDAD:.....	31
4.1.6.	GRANULOMETRÍA:.....	32
4.2.	CEMENTO, MICROSILICE Y AGUA.....	42
4.2.1.	CEMENTO	42
4.2.1.1.	CEMENTO TIPO I	42
4.2.2.	PUZOLANA, MICROSILICE Y ADITIVO REDUCTOR DE AGUA.	43
4.2.2.1.	PUZOLANA	43
4.2.3.	MICROSILICE.....	47
4.2.4.	ADITIVO REDUCTOR DE AGUA O PLASTIFICANTE	48
4.2.5.	AGUA	49
4.2.6.	VAPOR DE AGUA Y PRESION DE VAPOR	49
4.2.6.1.	VAPOR DE AGUA.....	49
4.2.6.2.	PRESION DE VAPOR	50
4.2.6.3.	REACCION CONCRETO PUZOLANICO – PRESION Y VAPOR	50
5.	CAPITULO V: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PARA CURADO EN AUTOCLAVE.	53
5.1.	DISEÑOS DE MEZCLAS POR EL METODO DE TANTEOS	53
5.2.	DISEÑO DE MEZCLAS SIN PUZOLANA (MICROSILICE)	56
5.3.	DISEÑO DE MEZCLAS CON PUZOLANA (MICROSILICE)	56
5.4.	PROCEDIMIENTO DE MEZCLA	57
6.	CAPITULO VI: ENSAYOS EN EL CONCRETO	58
6.1.	ESTADO FRESCO.	58

6.1.1.	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP)	58
6.1.1.1.	METODO	59
6.1.1.2.	EQUIPO	59
6.1.1.3.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	60
6.1.1.4.	CLASES DE MEZCLAS SEGÚN SU ASENTAMIENTO	61
6.1.1.5.	RESULTADOS	61
6.1.2.	PESO UNITARIO O PESO ESPECÍFICO.	61
6.1.2.1.	METODO Y PROCEDIMIENTO	62
6.1.2.2.	RESULTADOS	62
6.1.3.	CONTROL DE TEMPERATURA	63
6.1.3.1.	METODO	63
6.1.3.2.	EQUIPO	63
6.1.3.3.	PROCEDIMIENTO	63
6.1.3.4.	RESULTADOS	64
6.2.	ESTADO ENDURECIDO.	64
6.2.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESION	64
6.2.1.1.	METODO	65
6.2.1.2.	EQUIPO	65
6.2.1.3.	PROBETAS	65
6.2.1.4.	PROCEDIMIENTO	65
6.2.1.5.	CÁLCULOS	66
6.2.1.6.	RESULTADOS	67
6.2.2.	PESO UNITARIO	68
6.2.2.1.	METODO	68
6.2.2.2.	RESULTADOS	68
7.	CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
7.1.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL AGREGADO	69
7.1.1.	RESUMEN DE RESULTADOS	69
7.2.	COMPARACIÓN DEL CONCRETO CURADO HUMEDO CON EL CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE	69
7.2.1.	APARIENCIA	69
7.2.1.1.	COLOR	69
7.2.1.2.	TEMPERATURA	70
7.2.1.3.	DUREZA Y FRAGILIDAD	70
7.2.1.4.	POROSIDAD	70
7.2.2.	DENSIDAD	71
7.2.3.	RESISTENCIA	71
7.2.3.1.	INFLUENCIA DEL CURADO EN AUTOCLAVE EN EL CONCRETO	73
7.3.	INFLUENCIA DE LA PUZOLANA EN UN CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE	94

7.3.1.1.	COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO SUMERGIDO EN AGUA - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/0H VS SP/0H)	94
7.3.1.2.	COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO EN AUTOCLAVE 2 HORAS - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/2H VS SP/2H)	95
7.3.1.3.	COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO EN AUTOCLAVE 4 HORAS - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/4H VS SP/4H)	97
7.3.1.4.	COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO EN AUTOCLAVE 8 HORAS - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/8H VS SP/8H)	99
7.3.1.5.	COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 0 DÍAS CURADO SUMERGIDO - CON PUZOLANA Y SIN PUZOLANA - (EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CURADO EN AUTOCLAVE DENTRO DE LA MAQUINA)	100
7.3.1.6.	COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 14 DÍAS CURADO SUMERGIDO - CON PUZOLANA Y SIN PUZOLANA	102
7.3.1.7.	COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 28 DÍAS CURADO SUMERGIDO - CON PUZOLANA Y SIN PUZOLANA	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		105
CONCLUSIONES.....		105
RECOMENDACIONES.....		108
ANEXOS.....		112
ANEXO A: DATOS DE ROTURA.....		113
ANEXO B: DICHA TECNICA CEMENTO TIPO I.....		119
ANEXO C: FICHA TECNICA ADITIVO PLASTIFICANTE.....		121
ANEXO D: FICHA TECNICA MICROSILICE.....		124

LISTADO DE GRÁFICOS

GRAFICA 1: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°01 (ELABORACIÓN PROPIA)	34
GRAFICA 2: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°02 (ELABORACIÓN PROPIA)	36
GRAFICA 3: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°03 (ELABORACIÓN PROPIA)	38
GRAFICA 4: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°04 (ELABORACIÓN PROPIA)	40
GRAFICA 5: DIAS VS F'C - DISEÑO: SIN PUZOLANA)/SIN AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	73
GRAFICA 6: DIAS VS F'C - DISEÑO: SIN PUZOLANA / 2H AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	74
GRAFICA 7: DÍAS VS F'C - DISEÑO: SIN PUZOLANA /4H AUTOCLAVE(ELABORACIÓN PROPIA)	75
GRAFICA 8: DIAS VS F'C - DISEÑO: SIN PUZOLANA /8H AUTOCLAVE(ELABORACIÓN PROPIA)	76
GRAFICA 9: DIAS VS F'C - DISEÑO : SIN PUZOLANA - EVOLUCIÓN DE LAS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN LUEGO DEL CURADO EN AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	77
GRAFICA 10: DIAS VS F'C - DISEÑO: SIN PUZOLANA / 0 DÍAS DE CURADO SUMERGIDO (ELABORACIÓN PROPIA)	79
GRAFICA 11: DIAS VS F'C - DISEÑO: SIN PUZOLANA / 28 DÍAS DE CURADO SUMERGIDO (ELABORACIÓN PROPIA)	81
GRAFICA 12: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS DISTINTAS HORAS DE CURADO EN AUTOCLAVE A DISTINTAS EJEMPLARES (ELABORACIÓN PROPIA)	83
GRAFICA 13: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA/SIN AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	84
GRAFICA 14: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA / 2H AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	85
GRAFICA 15: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA / 4H AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	86
GRAFICA 16: DÍAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA / 8H AUTOCLAVE(ELABORACIÓN PROPIA)	87
GRAFICA 17: DÍAS VS F'C - DISEÑO : CON PUZOLANA - EVOLUCIÓN DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN LUEGO DEL CURADO EN AUTOCLAVE(ELABORACIÓN PROPIA)	88
GRAFICA 18: DÍAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA/ 0 DÍAS CURADO SUMERGIDO (EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CURADO EN AUTOCLAVE DENTRO DE LA MAQUINA) (ELABORACIÓN PROPIA)	90
GRAFICA 19: HORAS VS F'C - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA - EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISTINTAS HORAS DE CURADO, A LA EDAD DE 28 DIAS (ELABORACIÓN PROPIA)	91
GRAFICA 20: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS DISTINTAS HORAS DE CURADO EN AUTOCLAVE A DISTINTAS EJEMPLARES (ELABORACIÓN PROPIA)	92
GRAFICA 21: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA/SIN AUTOCLAVE - SIN PUZOLANA/SIN AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	94
GRAFICA 22: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA/2H AUTOCLAVE - SIN PUZOLANA/2H AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	95
GRAFICA 23: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA/4H AUTOCLAVE - SIN PUZOLANA/4H AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	97
GRAFICA 24: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA/8H AUTOCLAVE - SIN PUZOLANA/8H AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	99
GRAFICA 25: DIAS VS F'C - DISEÑO: CON PUZOLANA/ 0 DÍAS CURADO SUMERGIDO - SIN PUZOLANA/ 0 DÍAS CURADO SUMERGIDO (ELABORACIÓN PROPIA)	100

GRAFICA 26: EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISTINTAS HORAS DE CURADO, A LA EDAD DE 14 DÍAS

(ELABORACIÓN PROPIA) 102

GRAFICA 27: EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISTINTAS HORAS DE CURADO, A LA EDAD DE 28 DIAS

(ELABORACIÓN PROPIA) 103

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ELABORACIÓN PROPIA)	29
TABLA 2: PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO (ELABORACIÓN PROPIA).....	30
TABLA 3: PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO (ELABORACIÓN PROPIA).....	31
TABLA 4: CONTENIDO DE HUMEDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	32
TABLA 5: LÍMITES DEL AGREGADO FINO (ASTM C33)	32
TABLA 6: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°01 (ELABORACIÓN PROPIA)	33
TABLA 7: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°02 (ELABORACIÓN PROPIA).....	35
TABLA 8: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°03 (ELABORACIÓN PROPIA).....	37
TABLA 9: ENSAYO GRANULOMÉTRICO N°04 (ELABORACIÓN PROPIA).....	39
TABLA 10: CLASIFICACIÓN DE LAS PUZOLANAS (FUENTE: DR. F. BLANCO).....	46
TABLA 11: DISEÑO DE MEZCLAS SIN PUZOLANA (MICROSILICE) (ELABORACIÓN PROPIA).....	56
TABLA 12: DISEÑO DE MEZCLAS CON PUZOLANA (MICROSÍLICE) (ELABORACIÓN PROPIA).....	56
TABLA 13: TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO (FUENTE: TECNOLOGÍA DEL CONCRETO – FLAVIO ABANTO CASTILLO)	61
TABLA 14: SLUMP DEL CONCRETO (ELABORACIÓN PROPIA)	61
TABLA 15: PU DEL CONCRETO (ELABORACIÓN PROPIA)	62
TABLA 16: TEMPERATURA DEL CONCRETO (ELABORACIÓN PROPIA)	64
TABLA 17: RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (SIN MICROSILICE) (ELABORACIÓN PROPIA).....	67
TABLA 18: RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (CON PUZOLANA) (ELABORACIÓN PROPIA).....	67
TABLA 19: PU ESTADO SÓLIDO (ELABORACIÓN PROPIA).....	68
TABLA 20: RESUMEN ENSAYO DE LOS AGREGADOS (ELABORACIÓN PROPIA)	69
TABLA 21: DENSIDAD DEL CONCRETO AUTOCLAVEADO (ELABORACIÓN PROPIA).....	71

LISTADO DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: AISLAMIENTO DE BASE DE EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE.	17
ILUSTRACIÓN 2: TAPA DE EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE	18
ILUSTRACIÓN 3: CILINDRO PROTECTOR DE EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE	19
ILUSTRACIÓN 4: PANEL DE EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE	19
ILUSTRACIÓN 5: PANEL EXTERNO DE EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE.....	20
ILUSTRACIÓN 6: EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO DEL EQUIPO DE CURADO	26
ILUSTRACIÓN 7: SWICH DE ENCENDIDO.....	27
ILUSTRACIÓN 8: TEMPERATURA DE CURADO MÁXIMA	27
ILUSTRACIÓN 9: PRESIÓN DE CURADO	28
ILUSTRACIÓN 10: EXPULSIÓN DEL VAPOR DE AGUA DEL EQUIPO DE CURADO	28
ILUSTRACIÓN 11: PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO	30
ILUSTRACIÓN 12: EQUIPO PARA ENSAYO GRANULOMÉTRICO.....	41
ILUSTRACIÓN 13: MUESTRAS DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO	41
ILUSTRACIÓN 14: TEMPERATURA VAPOR Y AGUA	52
ILUSTRACIÓN 15: MEZCLADO DEL CONCRETO.....	57
ILUSTRACIÓN 16: MEDIDAS CONO DE ABRAMS.....	59
ILUSTRACIÓN 17: CONO DE ABRAMS	60
ILUSTRACIÓN 18: PRENSA HIDRÁULICA (LABORATORIOS UCSM)	66
ILUSTRACIÓN 19: PROBETA CURADA EN AUTOCLAVE VS PROBETA CURADA EN AGUA	69
ILUSTRACIÓN 20: POROS DEL CONCRETO	71

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1: FLUJO DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO AIREADO EN AUTOCLAVE – VAN BOGGLEN (2011) (FUENTE: RAMÓN JIMÉNEZ)	11
FIGURA 2: ENERGÍA PRIMARIA REQUERIDA PARA PRODUCCIÓN EN MJ/M3 BUNDEVERS BAND PORENEBTON (2008)-(FUENTE: RAMÓN JIMÉNEZ)	12
FIGURA 3: DIMENSIONES COMERCIALES PARA BLOQUES DE CONCRETO LIGERO CURADO EN AUTOCLAVE (RAMÓN JIMÉNEZ).....	14
FIGURA 4: DIMENSIONES COMERCIALES PARA BLOQUES DE GRAN FORMATO DE CONCRETO LIGERO CURADO EN AUTOCLAVE (RAMÓN JIMÉNEZ)	14
FIGURA 5: PANELES Y DINTELES DE CONCRETO LIGERO CURADO EN AUTOCLAVE (RAMÓN JIMÉNEZ)	15
FIGURA 6: PLANO EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	21
FIGURA 7: PLANO DETALLE EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE. (ELABORACIÓN PROPIA)	22
FIGURA 8: GRADIENTE DE TEMPERATURA PARA CURADO EN AUTOCLAVE (ELABORACIÓN PROPIA)	24
FIGURA 9: CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PUZOLÁNICOS (FUENTE DR. F. BLANCO).....	44
FIGURA 10: RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN DE VAPOR SATURADO(ACI 516)	50
FIGURA 11: CURADOS PARA DISEÑOS DE MEZCLAS (ELABORACIÓN PROPIA)	72

1. CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. PROBLEMA

Existe un escaso conocimiento acerca del comportamiento del concreto sometido a un curado en autoclave, así como los parámetros de ganancia de resistencias aceleradas en comparación con el concreto curado convencionalmente, así mismo no existe mucha investigación de la influencia de la puzolana en este tipo de curado.

1.1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El concreto como material de mayor uso en la industria de la construcción requiere mantenerse a la vanguardia de los requerimientos tecnológicos, económicos y funcionales.

Cada vez es de mayor conocimiento que en los últimos años debido a diversos factores, el tiempo de colocación y operación del concreto en obra es más exigente, por lo que se empieza a hablar del desarrollo de resistencias a corto plazo y se busca maneras de desarrollar resistencias especificadas en el menor tiempo posible.

El curado de concreto en autoclave se muestra como una solución al requerimiento del curado acelerado, esto sin necesidad de implementar algún tipo de aditivo acelerante.

Adicionalmente en algunas investigaciones como es la del Dr. José Calleja en “Cementos Puzolánicos” menciona “Las puzolanas fijan cal a la temperatura ordinaria, como reza en su definición. Pero a temperaturas superiores la fijan en mayor medida y con mayor velocidad.” ... “a temperaturas (y presiones) elevadas la capacidad y la velocidad de reacción aumentan considerablemente, y las reacciones se producen de forma completa.” Por lo que debería ampliarse el conocimiento en esta área.

Por ello esta investigación pretende incrementar el escaso conocimiento acerca del comportamiento de la estructura del concreto sometido a un curado en autoclave, sus parámetros de incremento de resistencia a la compresión en comparación a un curado convencional, determinar la ganancia de resistencia en el tiempo (en horas) del

concreto en un curado en autoclave así como determinar el efecto de la puzolana en el concreto cuando se es sometida al curado en autoclave.

1.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar la resistencia a la compresión y la influencia de la puzolana en un concreto curado en autoclave con un concreto curado en condiciones normales.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un equipo de curado en autoclave.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado
- Realizar el diseño de mezcla
- Elaborar probetas de concreto para curarlas en autoclave y en agua.
- Determinar relaciones de la resistencia a la compresión entre el concreto curado en autoclave y curado convencional.
- Determinar la influencia de la puzolana en la resistencia a compresión en el concreto curado en autoclave
- Analizar los resultados encontrados

1.3. ALCANCE

La presente investigación pretende determinar el tiempo óptimo de curado en autoclave así como la influencia de la puzolana en la resistencia al concreto para este tipo de curado.

Para efectos de esta investigación se considerará un único diseño de mezclas, se usará únicamente cemento portland tipo I, utilizando los mismos materiales y con una sola

cantera para agregados y puzolana, con el propósito de mantener constante dichos parámetros.

1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

- La presente investigación se encuentra limitada por el diseño de mezclas, en el cual se mantuvieron constantes todas las variables a excepción de la adición de puzolana (microsílice), esto para hacer más sencillas las comparaciones en cuanto al curado.
- Solo se realizaron curados a 2, 4 y 8 horas en autoclave, debido al alcance de la investigación y distintas opiniones de diversos autores, en cuanto a los tiempos de curado. También debido a la poca cantidad de datos que existen de estos tiempos de curado en autoclave, y poder obtener la curva de incremento de resistencia a la compresión desde 0 horas.
- El objetivo principal de la investigación es la comparación de la puzolana en el curado en autoclave pero ya que en la actualidad el concreto ligero es su mayor aplicación se buscó replicar ciertas condiciones consideradas como necesarias, como es la ausencia de la piedra en el diseño (esto reduce significativamente el peso específico, además de proporcionar mayor volumen de matriz de concreto para el reemplazo de la puzolana en lugar del cemento) y otras que no fueron consideradas, como es el caso de la adición de aireadores por que no se consideraron relevantes para el objetivo de la investigación (puesto que este no afecta las proporciones de puzolana) . Esto sin mencionar que algunas investigaciones ya realizadas tampoco utilizan piedra en sus diseños, por lo que resulta más fácil realizar comparaciones en condiciones similares .Es por este motivo que se considera como principal aplicación de los concretos curados en autoclave los elementos prefabricados y más específicamente los concretos ligeros.

1.5. HIPOTESIS

- La resistencia a la compresión de un concreto curado en autoclave, en un tiempo aproximado de 8 horas, es mayor que la de un concreto curado en condiciones normales a los 28 días.

- La puzolana posee una mayor relevancia en la resistencia en un concreto curado en autoclave que en uno curado convencionalmente.

1.6. VARIABLES O INDICADORES

1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Puzolana
- Tiempo de curado en Autoclave

1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Resistencia a la compresión del concreto ($f'c$)

2. CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. DEFINICIONES PREVIAS

CEMENTO:

El ing. Flavio Abanto Castillo define el cemento como un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas.

El cemento portland se clasifica básicamente en cinco tipos cuyas propiedades se encuentran normalizadas sobre la base de la especificación ASTM de normas para cemento Portland (C 150), se clasifican en TIPO I, TIPO II, TIPO III, TIPO IV Y TIPO V.

El cemento a utilizar en la presente investigación es el cemento TIPO I, debido a ser el más común además de no encontrarse adicionado, ya que la adición de un tipo de puzolana (Microsilice) será parte de la investigación.

ADITIVO:

El ing. Flavio Abanto Castillo define el aditivo como sustancias añadidas a los componentes fundamentales del concreto con el propósito de modificar alguna de sus propiedades y hacerlo mejor para el fin a que se destine.

Para la presente investigación se está haciendo uso de un aditivo plastificante.

PUZOLANA

Una puzolana puede ser un material natural o artificial que contiene fundamentalmente silicio o silicio y aluminio, lo cual le da un carácter ácido y por ende poseen una gran afinidad por la cal, este último es liberado al momento de la hidratación del cemento.

MICROSÍLICE:

Según el Comité 116 del ACI lo defino como: Sílice no cristalina muy fina producida en los hornos de arco eléctrico como subproducto de la producción de silicio elemental o aleaciones que contienen silicio; también se conoce como vapores de sílice condensados. La microsíllice es un elemento con elevada actividad puzolánica que al reaccionar con el Hidroxido de Calcio da como resultado material cementante

Ventajas de la Microsíllice:

- Proporciona elevada resistencia a todas las edades del concreto adicionado.
- Baja permeabilidad
- Buena resistencia a la abrasión
- Proporciona buena manejabilidad al concreto, reduciendo costos de colocación.
- Aumenta la adherencia al acero.

Desventajas de la Microsíllice.

- Requiere muy buenas condiciones de curado.
- Requiere el uso de aditivos para compensar su alta demanda de agua.

CURADO:

El curado, según el ACI 308 R, es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor

Según esta definición notamos que los factores para el endurecimiento y ganancia de resistencia del concreto son el agua y el calor.

Entonces mientras exista agua disponible el cemento se seguirá hidratando hasta que todos los poros se llenen con los productos de hidratación o hasta que no haya más cemento por hidratar.

Retomando la definición de curado, se nota que en el proceso de curado también influye el calor. Es sabido que a bajas temperaturas el proceso de fragua y endurecimiento se retrasa, las temperaturas de la mezcla deben ser mayores a 5°C para este fin; y que a mayores temperaturas de mezcla estos procesos se aceleran.

AUTOCLAVE:

Según el Comité 116 del ACI lo define como recipiente de presión en el cual se puede producir un ambiente de vapor a presión elevada; se utiliza para el curado de productos de hormigón.

2.2. CURADO EN AUTOCLAVE

2.2.1. TIPOS DE CURADO

Existen tres maneras generales del curado del concreto:

- Métodos que suministran humedad adicional a la superficie.
- Métodos que impiden la pérdida de humedad mediante impermeabilización o sellado.
- Métodos que aceleran el endurecimiento del concreto suministrándole calor y humedad.

Dentro de los tipos de curado que aceleran el endurecimiento del concreto se encuentran los siguientes:

- Curado por el método de Agua caliente,
- Curado por el método de Agua hirviendo
- Curado por el método de Vapor de Agua
- Curado por el método de Autoclave

El método utilizado para la presente investigación es el curado en autoclave.

El curado en autoclave suele ser confundido con el curado a vapor. La diferencia radica en que el curado a vapor de agua no posee condiciones de presiones superiores a la atmosférica, mientras que, en un curado en autoclave, los especímenes de concreto deben de encontrarse debidamente aislados de la temperatura atmosférica, por lo que a condiciones de temperatura aproximadamente de 180°C alcanza presiones de hasta 10 bar.

2.2.2. VENTAJAS DEL CURADO EN AUTOCLAVE

- Incremento considerablemente más veloz de la resistencia del concreto debido a las elevadas temperaturas
- En presencia de elementos silicios, desarrolla mayores resistencias a la previstas
- Menor contracción por secado
- Mayor resistencia al ataque de sulfatos

2.2.3. DESVENTAJAS DEL CURADO EN AUTOCLAVE

- Existe muy poca investigación acerca del curado en autoclave, por lo que se desconoce ciertos tipos de reacciones frente algunos materiales, aditivos o tiempos de curado, lo que muchas veces lo hace complicado predecir su comportamiento.
- Actualmente debido a las condiciones de curado, no existe una solución para el curado de autoclave en obra (in-situ)
- Requiere equipo especial para la realización del curado debido a las condiciones necesarias.

En 1944 el Comité 716 del ACI publicó un informe con respecto al curado en autoclave en el que se señaló las siguientes condiciones.

- El curado con vapor de alta presión se verifica sin agrietamientos y sin cambios fundamentales de forma o tamaño
- Las unidades curadas con vapor de alta presión terminan siendo más secas y de color más claro que con curado húmedo, dando un sonido nítido cuando se las golpea
- La resistencia de los elementos curados un día con vapor de alta presión es igual a la que se obtiene a los 28 días con el curado húmedo.
- El curado a vapor de alta presión desarrolla un incremento en la resistencia a los sulfatos
- El curado de alta presión en presencia de sílice elimina prácticamente la percolación y la eflorescencia.

2.2.4. ORIGEN Y EVOLUCION HISTORICA DEL CURADO EN AUTOCLAVE

Tanto en la actualidad como anteriormente, la principal aplicación del curado en autoclave es en el concreto celular, por lo que el origen del curado en autoclave se encuentra estrechamente ligado al curado del concreto ligero.

Fue a partir de 1880 cuando el químico alemán W. Micheleis sometió el cemento a base de calcio a elevadas temperaturas mediante la introducción de vapor.

Suecia a partir de la finalización de la Primera Guerra Mundial, se encontraba en una crisis energética, debido a la deforestación que había mermado el proceso de expansión industrial, lo que provoco un aumento en los requerimientos técnicos de aislamiento térmico. En la búsqueda de un material inorgánico con propiedades similares al de la madera y a la vez mejorar su aspecto negativo. El inventor Sueco J. Axel Erickson presenta una primera patente en el desarrollo del CAA mediante un método de aireación de una mezcla de cal viva y pizarra conocida como la fórmula de cal para suplir y salvaguardar las reservas de madera. Posteriormente se realizaron diversas investigaciones en la búsqueda de mejorar el aislamiento térmico del concreto.

Fue en 1923 cuando Erikson realizando unas muestras como parte de sus investigaciones en busca de mejorar la composición del concreto para el aislamiento térmico. Debido al corto tiempo con el que contaba para realizar sus ensayos decide acelerar el proceso de curado mediante la introducción al autoclave del laboratorio, permaneciendo las muestras allí toda la noche. A la mañana siguiente Erikson se percató de que las muestras obtenidas poseían un mejor estado de cristalinidad y las propiedades a la resistencia habían aumentado considerablemente, “los componentes silíceos y calcáreos se habían fusionado en una especie de silicato hidratado con cierta similitud a la roca volcánica natural conocida como tobermorita“(CONCRETO AEREADO EN AUTOCLAVE , Ramón Emilio Jiménez)

La invención fue explotada comercialmente a partir de 1929 cuando el industrial Karl August Carlen construye una fábrica de bloques en la localidad de Yxhult bajo el nombre de Stenhuggeri

Ya a finales de 1930 el concreto curado en autoclave empezaba a tener un impacto en la industria de la construcción sueca. Las primeras aplicaciones se pueden observar en viviendas particulares y edificios de apartamentos, el material empezó a ser empleado como un sustituto del ladrillo en los muros de fachada, eventualmente ganó terreno en su utilización para la construcción de áticos en viviendas unifamiliares. (CONCRETO AEREADO EN AUTOCLAVE, Ramón Emilio Jiménez)

A partir de ese momento el concreto aireado en autoclave tomó fuerza principalmente para la producción de bloques de albañilería y posteriormente para paneles de concreto.

Para 1945 Josef Hebel ya se encontraba produciendo elementos reforzados que habían aumentado considerablemente su precisión en el corte mediante la tecnología de corte con la incorporación de hilos de acero tensados. La producción por este en 1948, destacan la incorporación de procesos de mecanización de elevación, limpieza y embalaje del material. (CONCRETO AEREADO EN AUTOCLAVE, Ramón Emilio Jiménez)

Durante las siguientes dos décadas el material experimenta éxito comercial que garantizó su expansión en un primer lugar por el resto de Europa y luego hacia otros continentes a partir de 1960. (CONCRETO AEREADO EN AUTOCLAVE, Ramón Emilio Jiménez)

El panorama varía a partir de 1980 que debido a una variación de producción del material a escala global obliga a los mayores fabricantes terminen unificándose bajo una misma

compañía. Sin embargo, la aplicación del producto se mantenía en ascenso, por otro lado, el material ganaba importancia frente a su buen encaje con la reciente conciencia ambiental.

2.2.5. *DESEMPEÑO MEDIO AMBIENTAL*

En la actualidad los desempeños medios ambientales de los distintos materiales de construcción pasan a formar parte esencial del criterio de calidad técnica. Las industrias se han visto en la necesidad, cada vez más, a orientar soluciones que permitan reducir el impacto sobre el medio ambiente, principalmente reduciendo las emisiones de CO₂.

Un análisis del ciclo de vida busca establecer la dimensión ecológica de un material en todas sus etapas, desde su formación o fabricación, hasta su desecho, reciclaje o reutilización.

2.2.6. *ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA*

Es necesario mencionar que el presente análisis del Ciclo de Vida se realizará para el material de concreto ligero curado en autoclave, debido a que, en la actualidad, se presenta como la mayor aplicación práctica del curado en autoclave y del cual se tiene la mayor recopilación de datos para un análisis del ciclo de vida.

Según Ramón Jiménez en su libro CONCRETO AIREADO EN AUTOCLAVE menciona que:

La Asociación Federal Alemana de Concreto Aireado en Autoclave (Bundesverband Porenbeton e. V) Realizo un análisis de ciclo de vida para 1m³ del material, con el objetivo de cuantificar los flujos de materiales y energía que con llevan los productos realizados en cada una de sus etapas y establecer su grado de impacto.

Se determinó que para la producción de 1m³ de concreto aireado en autoclave se hace un consumo total de energía de 1596 Mj/m³ de las cuales la cuota de energía renovable asciende a 110 Mj/m³ y la no renovable a 1486Mj/m³

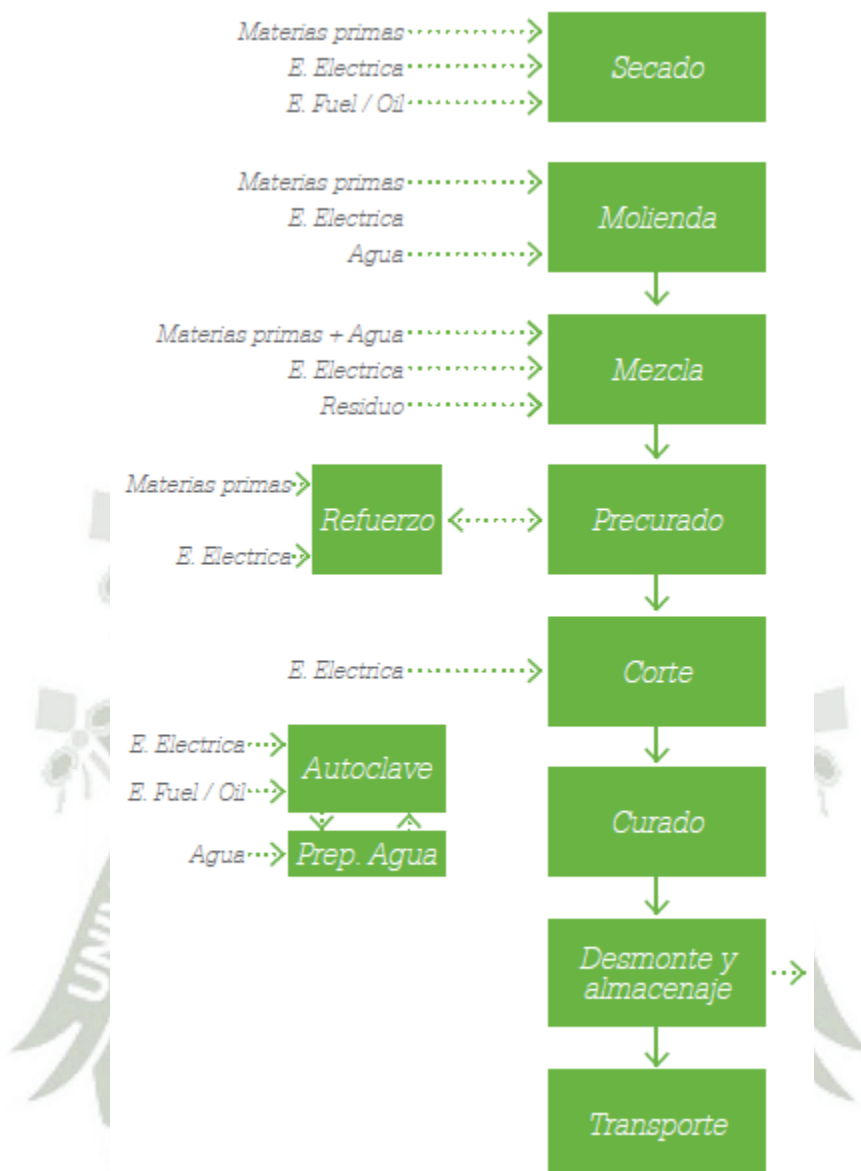


Figura 1: Flujo de energía y materias primas en la producción de concreto aireado en autoclave – Van Bogglen (2011)
(Fuente: Ramón Jiménez)

En las primeras etapas correspondiente a la extracción y preparación de materias primas el mayor consumo de energía se produce por el empleo del cemento como material base para la producción del concreto, esto debido a sus procesos para la elaboración de Clinker, requiriendo fases de moliendo y hornos rotativos.

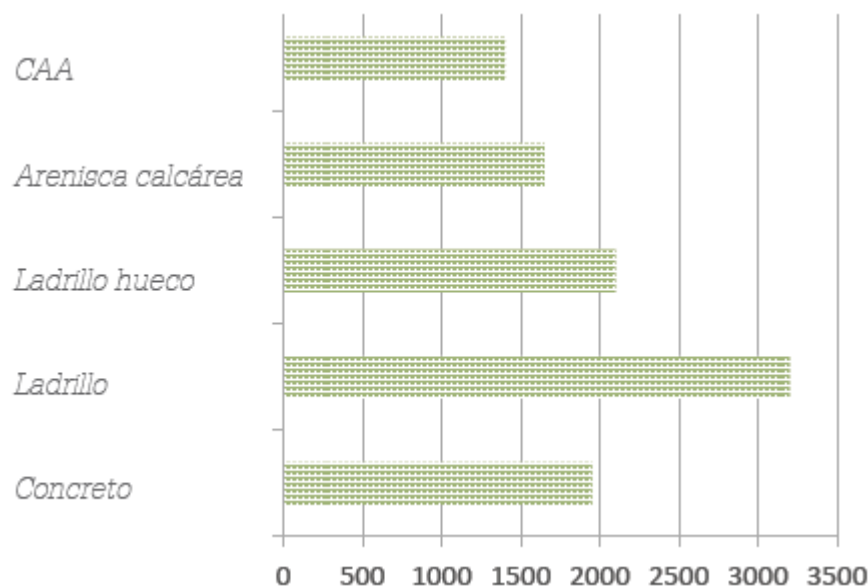


Figura 2: Energía primaria requerida para producción en MJ/m³ Bundesverband Porenebeton (2008)-(Fuente: Ramón Jiménez)

Según el Bundesverband Porenebeton el consumo de energía para la producción de concreto aireado en autoclave es de un 40% del total de la energía del ciclo.

Etapas en obra y construcción:

En la etapa de puesta en obra el material de concreto curado en autoclave presenta ventajas, ya que la adición de elementos de bloques a pesar de su gran tamaño es bastante adaptable, pues posee una manera sencilla de colocación, lo que significa ahorros de tiempo considerable de puesta en obra

Operatividad y uso del edificio:

Debido a sus propiedades de aislamiento térmico que posee este material, significa un aspecto positivo para el ahorro de energía en la edificación, esto debido al ahorro de hasta un 80% en el consumo de energía para calefacción.

Etapas de desmontaje y reciclado.

Esta etapa resulta bastante ambigua en cuanto al tiempo a considerar como vida útil, ya que muchas veces las fases finales del ciclo de vida del material no conllevan una utilización completa de los elementos constructivos, debido al desfase en cuanto al ciclo de vida de otras partes del edificio como instalaciones u otros materiales.

2.3.APLICACIONES DEL CURADO EN AUTOCLAVE

2.3.1. INTRODUCCION

Debido a las condiciones de curado la aplicación general de este tipo de curado es para elementos prefabricados.

Como ya se mencionó anteriormente la principal aplicación del concreto curado en autoclave era para la fabricación de bloques de concreto ligero en autoclave, por lo menos en los primeros 40 años de desarrollo del material, posterior a esto, el material como concreto ligero en autoclave sigue siendo el que mayor relevancia tiene en el mercado, pero los elementos reforzados a base de paneles empiezan a tener una mayor cuota en el mercado, sin embargo los bloques de concreto ligero en autoclave siempre mantuvieron mayor relevancia en el mercado, “esto puede deberse a la sencillez de fabricación de bloques, caso contrario a la tecnología de fabricación de elementos reforzados, que se encuentra ocluida entre los grandes fabricantes” (Boggelen, 2014)

2.3.2. CONCRETO LIGERO CURADO EN AUTOCLAVE

El concreto ligero curado en autoclave es un material de construcción perteneciente a la gama de concreto celulares cuya composición se basa en el empleo de áridos de granulometría fina. (Ramón Jiménez – Concreto aireado en autoclave)

Debido a su baja densidad este material por si mismo no alcanza altas resistencias, por lo que se somete al proceso de curado en autoclave, el cual le brinda propiedades de resistencia mecánica, aislamiento térmico y resistencia al fuego.

Ramón Emilio Jiménez menciona las principales aplicaciones de este material:

Bloques:

Para la construcción de muros portantes de aspecto masivo y con aislamiento térmico, se aprovecha su baja densidad y mejorando los tiempos de colocación en obra. Otra ventaja es su facilidad de adaptación ya que estos pueden ser cortados en obra de manera rápida

Se puede utilizar para muros portantes, tabiquería o rellenos de pórticos.

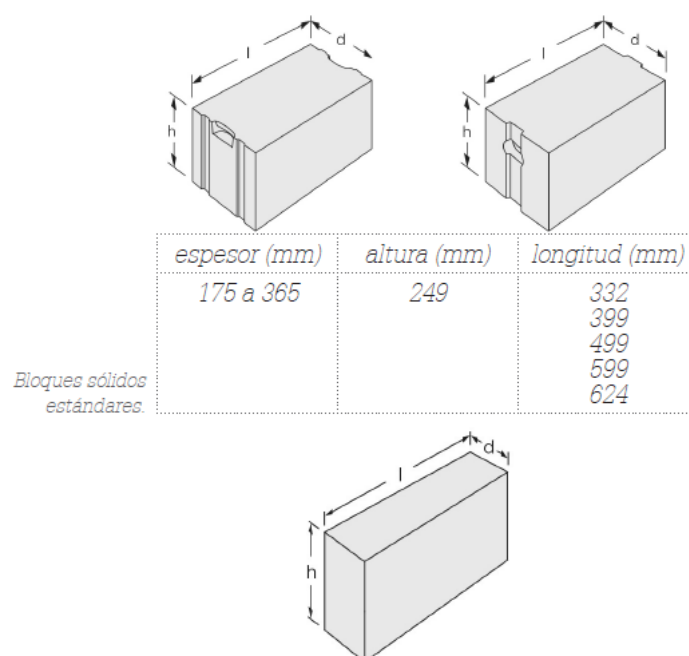


Figura 3: Dimensiones comerciales para bloques de concreto ligero curado en autoclave (Ramón Jiménez)

Bloques de gran formato

Se emplean de igual manera que los bloques, pero se encuentran diseñados para que su colocación en obra sea realizada entre dos operarios, adecuado para edificaciones de construcción rápida.

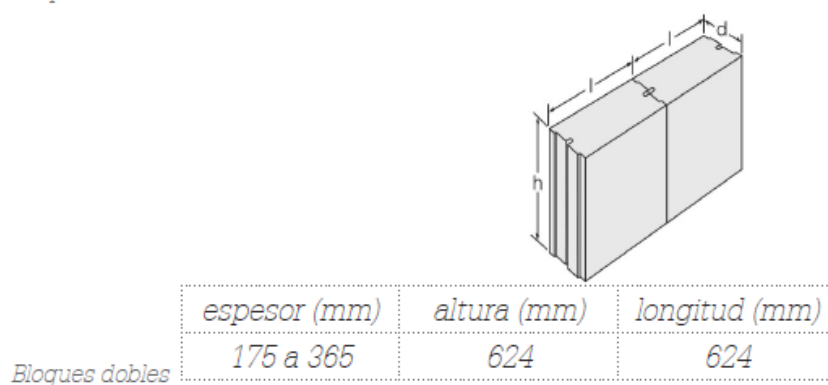


Figura 4: Dimensiones comerciales para bloques de gran formato de concreto ligero curado en autoclave (Ramón Jiménez)

Paneles

Existen dos tipos básicos de paneles, los paneles horizontales y los paneles verticales.

Los paneles verticales pueden resistir tanto cargas horizontales como verticales, utilizado también para cerramientos de grandes superficies.

Los paneles horizontales son empleados para la construcción de losas aligeradas y cubiertas, no existen dimensionamientos definidos, ya que suelen ser fabricados a medida.

Como elementos portantes también existen otras variedades de elementos como dinteles, placas de forjado y cubiertas

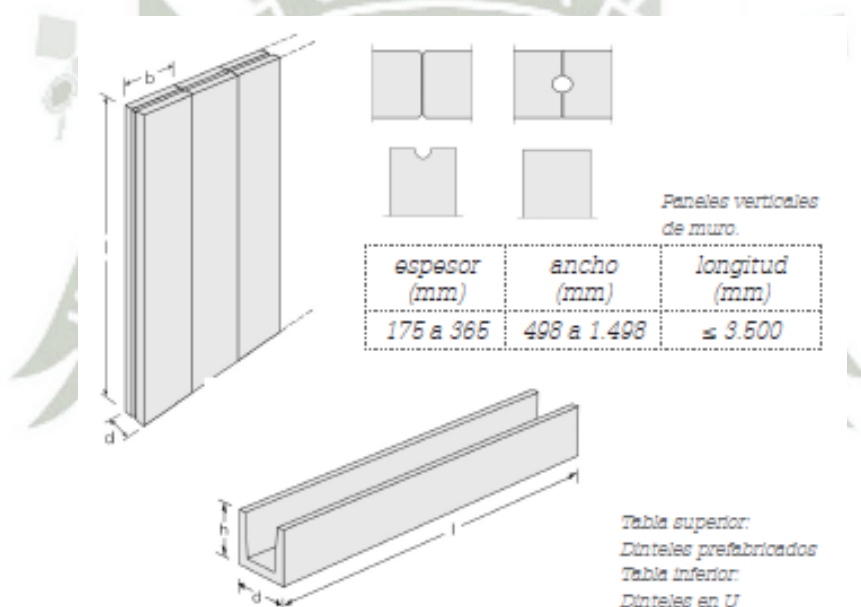


Figura 5: Paneles y dinteles de concreto ligero curado en autoclave (Ramón Jiménez)

2.3.3. PARA ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Los elementos no portantes, casi en su totalidad son de concreto aireado en autoclave, esto debido a su baja densidad y poco peso, sus principales aplicaciones se encuentran en tabiques, dinteles no portantes y en sistemas de construcción aporticados se usa como elementos de distribución interior y cerramiento, ya que la ligereza que posee la gran gama de productos permite que las cargas impuestas estructurales de la edificación debido a peso propio de la estructura sean reducidas considerablemente.

2.3.4. *SISTEMAS Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS*

El bundesverband Porenbeton e. V Alemán (Asociación Federal de Concreto Aireado), establece tres sistemas constructivos de acuerdo al ámbito de aplicación de los productos de concreto ligero curado en autoclave: residencial, comercial y rehabilitación.

En el sistema constructivo residencial entran a tallar mayormente los elementos de mampostería como sistema de muros

En el sistema comercial debido a la ejecución de obras de mayor escala, se usan mayormente revestimientos de fachada y elementos portantes como paneles

En el sistema de rehabilitación, se enfoca básicamente en el desarrollo de soluciones para revestimientos, a partir de productos de forrado y para la distribución interior con productos de poco espesor para tabiquería.

Como elementos constructivos el concreto ligero curado en autoclave encontramos, cimentaciones, elementos verticales como mampostería, tabiquería interior, paneles portantes, paneles no portantes, elementos horizontales como placas o paneles, losas aligeradas y cubiertas que trabajan como diafragma rígido, también encontramos elementos de acabados que pueden ser revestimientos sobre muros exteriores, estos para mejorar su resistencia térmica y resistencia a la abrasión además de un acabado estético, así como también para el uso de impermeabilización.

3. CAPITULO III: EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE

3.1. EQUIPO DE CURADO EN AUTOCLAVE

3.1.1. ESTRUCTURA

El Equipo de curado en Autoclave, consta de tres partes: El cilindro de curado, la cubierta protectora y el tablero de control externo.

El cilindro de curado:

Es la parte principal del equipo, donde se ubican las probetas para ser curadas, también acá se encuentran los manómetros en la parte de la tapa, la tapa debe de encontrarse herméticamente sellada al momento del curado, el interior del cilindro debe de llenarse con agua hasta una altura de 14cm aproximadamente, con el fin de que esta agua se convierta en vapor para el curado de las probetas. En la parte inferior del cilindro hay una resistencia de calor la cual será la encargada de calentar el agua para su evaporación, en la parte inferior también se encuentra un termómetro el cual medirá la temperatura del agua. Las probetas irán ubicadas dentro de una superficie separada del agua y como base una rejilla para permitir el acceso del vapor a la base de la probeta.

Este cilindro debe de encontrarse aislado de la tierra, esto con el fin de que si contacto con esta no retrase su calentamiento, además debe de encontrarse empotrada en el piso con el propósito de facilitar su manipulación, sobre todo al momento de la colocación y torqueo de los pernos de la tapa de la máquina.



Ilustración 1: Aislamiento de base de equipo de curado en autoclave.

La tapa del cilindro, posee dos manómetros, uno de ellos servirá como contingencia en caso falle el otro, además de asegurar la correcta medición de la presión, esta tapa, también posee una válvula de alivio de presión, para liberar la presión del interior del tanque al final del curado, así como por seguridad en caso se produzca un desperfecto del equipo que pueda producir un exceso de presión y una posible explosión.



Ilustración 2: Tapa de equipo de curado en Autoclave

La cubierta protectora:

Está cubierta, también es un cilindro de menor espesor que básicamente sirve para crear un espacio entre el cilindro de curado y el operador del equipo, esto con fines de seguridad, ya que el cilindro de curado llega a calentarse hasta temperaturas de 180°C y un simple contacto con la piel humana puede causar quemaduras de severidad, además, el espacio de aire entre el cilindro de curado y el cilindro protector, sirve como disipador de calor del entorno de trabajo.



Ilustración 3: Cilindro protector de equipo de curado en autoclave

La cubierta protectora también sirve para la ubicación del panel de control de temperatura.

El panel de control de temperatura, posee los indicadores de temperatura tanto del agua como del vapor. Así como los paneles para la programación del termostato de la resistencia de calor, de manera que aquí se programa la temperatura máxima a alcanzar del equipo de curado.



Ilustración 4: Panel de equipo de curado en autoclave

El tablero de control externo:

Este tablero de control se encuentra ubicado lejos de la máquina, esto por seguridad, en caso exista un posible riesgo de explosión no sea necesario acercarse al equipo para su apagado.

En este tablero podemos encontrar el switch principal de prendido o apagado de la resistencia, además del temporizador del equipo, por el cual se puede controlar el tiempo de funcionamiento del curado. También acá se encuentra el switch de poder del equipo, el cual cierra el paso de energía a todo el equipo.

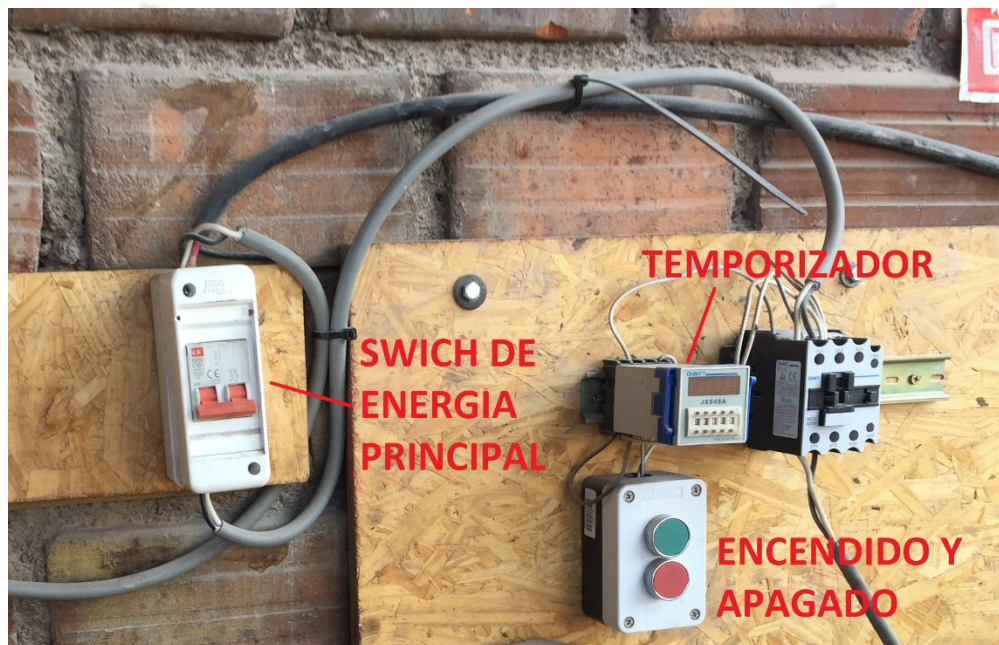


Ilustración 5: Panel externo de equipo de curado en autoclave.

3.1.2. ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINA

A continuación, se presentarán los planos con las dimensiones de la máquina construida para la presente investigación.

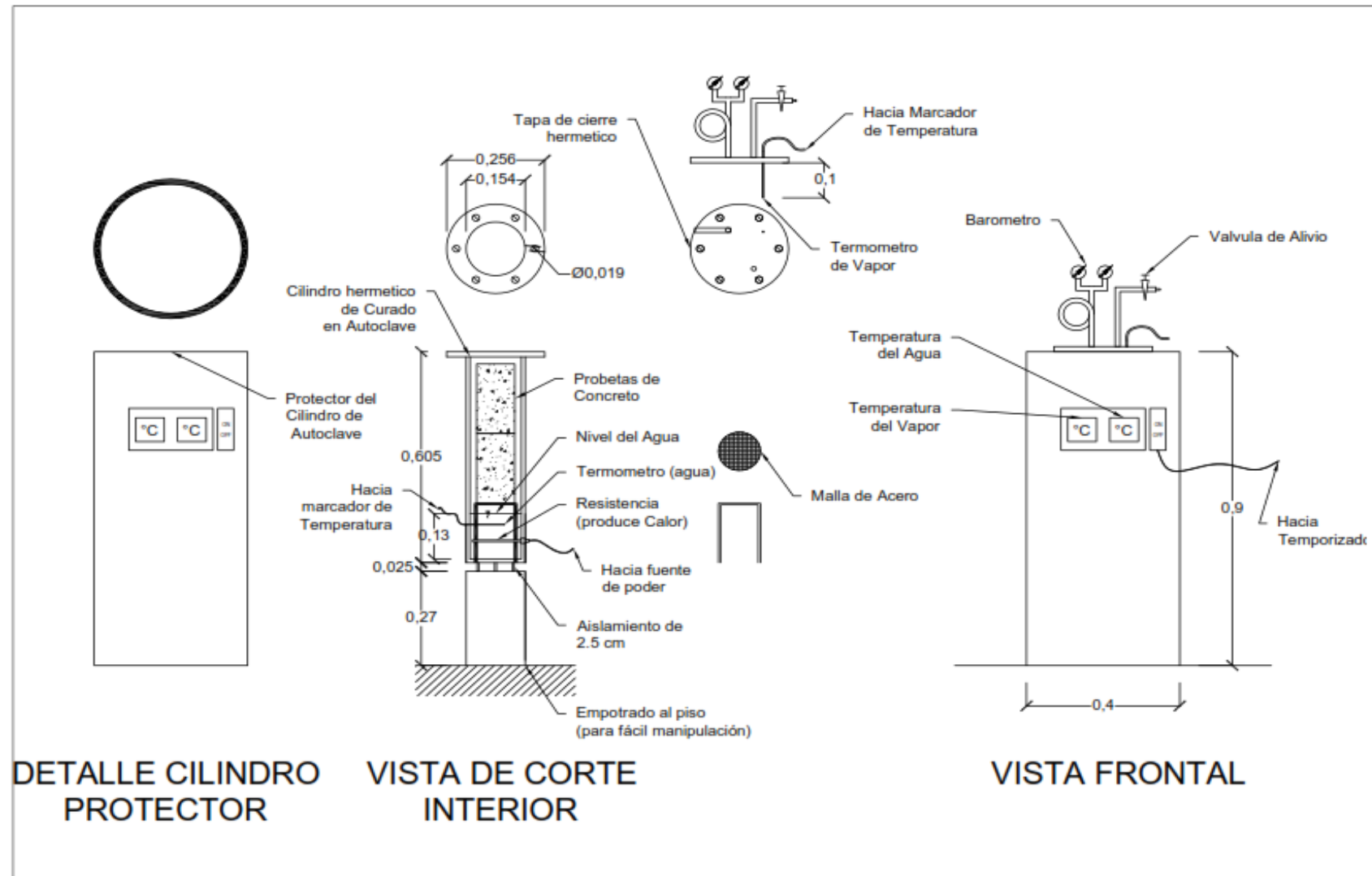
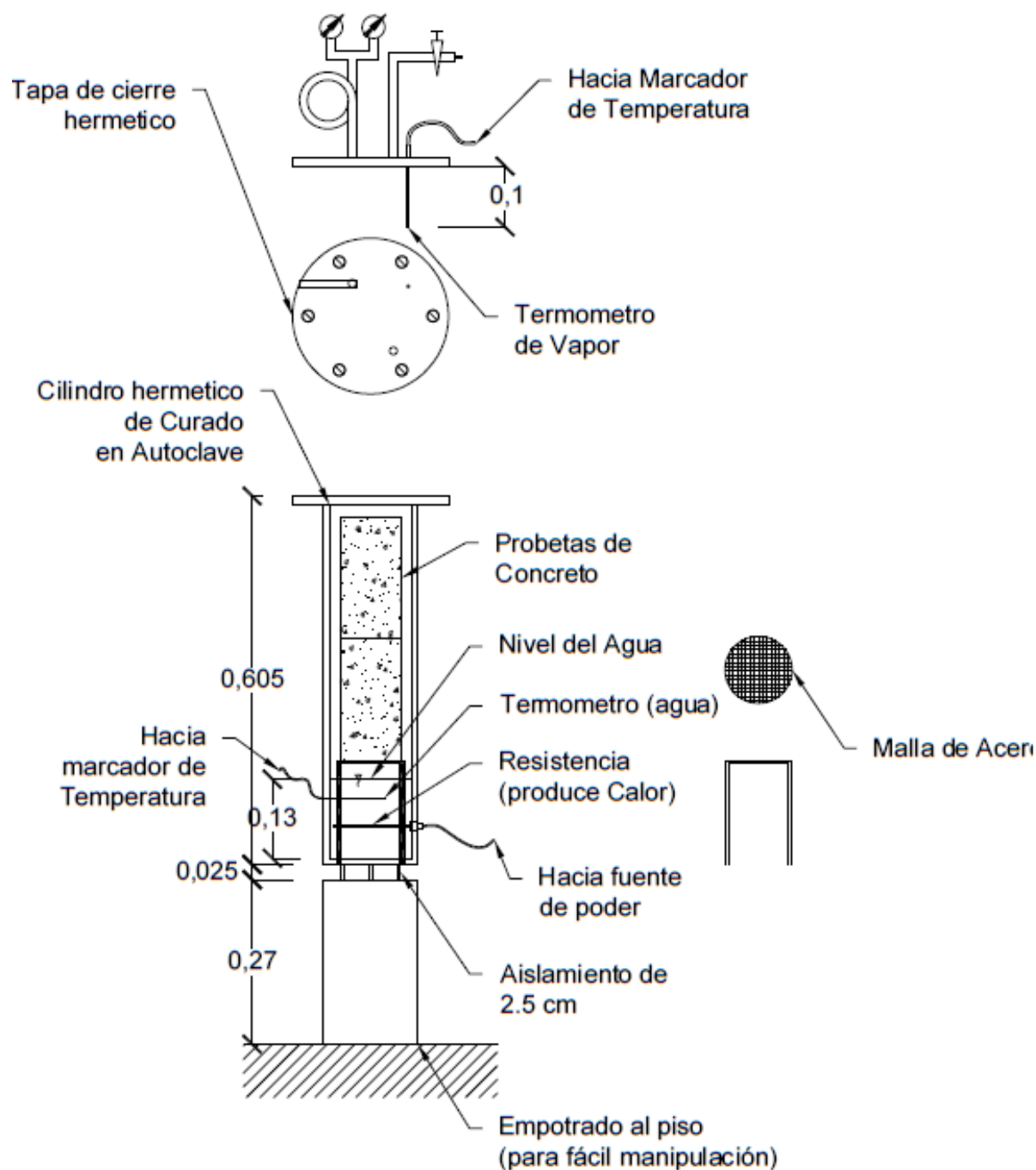


Figura 6: Plano Equipo de Curado en autoclave (Elaboración Propia)



VISTA DE CORTE INTERIOR

Figura 7: Plano detalle equipo de curado en autoclave. (Elaboración Propia)

3.2. PROCEDIMIENTO Y CONDICIONES PARA CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE

En el presente acápite se indicará el proceso utilizado en la investigación para el curado de los especímenes de concreto en autoclave.

Es importante mencionar que no existe una normativa para el curado de concreto en autoclave ni para las especificaciones de la máquina de curado, más si existen ciertas recomendaciones de diversos autores en cuanto a las condiciones de curado como temperatura, presión y tiempos de curado.

3.2.1. *CONDICIONES DE CURADO:*

Las condiciones de curado en autoclave implican variables como la temperatura, la presión y el tiempo de curado, Ramón Jiménez indica que los tiempos de curado en autoclave oscilan entre 10 y 12 horas, otros autores sugieren que el tiempo de curado en autoclave oscila entre 6 y 24 horas mientras que otros ensayos para predicciones del concreto a altas temperaturas y presiones mecánicas como es el ensayo ASTM C-684 indican curados de solo 5 horas, incluso llegan a mencionar que las máximas resistencias de los especímenes de concreto se obtienen luego de un curado de 24 horas, por lo que no se llega a un consenso entre distintas investigaciones. En la presente investigación se decidió realizar ensayos con 2, 4 y 8 horas de curado, esto a fin de observar las curvas de incremento de resistencia en el tiempo.

Para las condiciones de temperatura y presión de curado también existen distintas opiniones según los estudios realizados por diversos investigadores, Jose Calleja en su libro Cementos puzolánicos indica que las reacciones químicas producidas en autoclave se dan a temperaturas mayores a 100°C , pero va mejorando con el aumento de esta temperatura, Ramón Jiménez en su libro concreto ligero curado en autoclave, indica que las temperaturas de curado en autoclave deben oscilar cerca de los 190°C y 12 atmosferas de presión, otros autores sugieren presiones de 8 atmosferas y temperaturas de 180°C . En la presente investigación se eleva la temperatura de curado hasta 185°C y una presión de 10 Atmosferas, es importante mencionar que dichas variables son dependientes entre sí.

Los gradientes de elevación de temperatura también deben ser controlados, diversos autores coinciden en mencionar que el gradiente de aumento de temperatura, así como el de descompresión de la maquina no debe de ser brusca, debido a que puede originar interferencias en el proceso de fraguado y endurecimiento, especialmente mientras menos

tiempo tenga de fraguado el espécimen de concreto, para el caso de la presente investigación, debido a que se estandarizó el tiempo de fraguado a un día para garantizar su correcto fraguado y que las probetas mantengan su forma cilíndrica al ser desmoldadas y tomando en cuenta un gradiente de temperatura no muy brusco se estandarizo alcanzar la temperatura de 100° (punto donde empieza el curado en autoclave según Jose Calleja), donde empiezan las condiciones de temperatura y presión, en un lapso de 20 a 30 minutos, es decir a una velocidad aproximada de $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ($240^{\circ}\text{C} / \text{h}$), es entonces que a partir de alcanzado los 100°C se contabilizan las horas de curado especificadas líneas arriba. Se llega a alcanzar la temperatura máxima de 85°C , aproximadamente a los 45 minutos de iniciado el curado.

Para la descompresión de la máquina y disminución de la temperatura, al no poseer un sistema de enfriamiento, se debe esperar al enfriamiento de la máquina y a la condensación del agua hasta valores seguros para la apertura de la válvula de alivio, el gradiente que se presenta en la disminución de temperatura es de aproximadamente $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ hasta obtener una presión de aproximadamente 4 atmosferas o transcurrido 40 minutos de finalizado el curado, donde se procede a abrir de manera controlada la válvula de alivio de la máquina de curado.

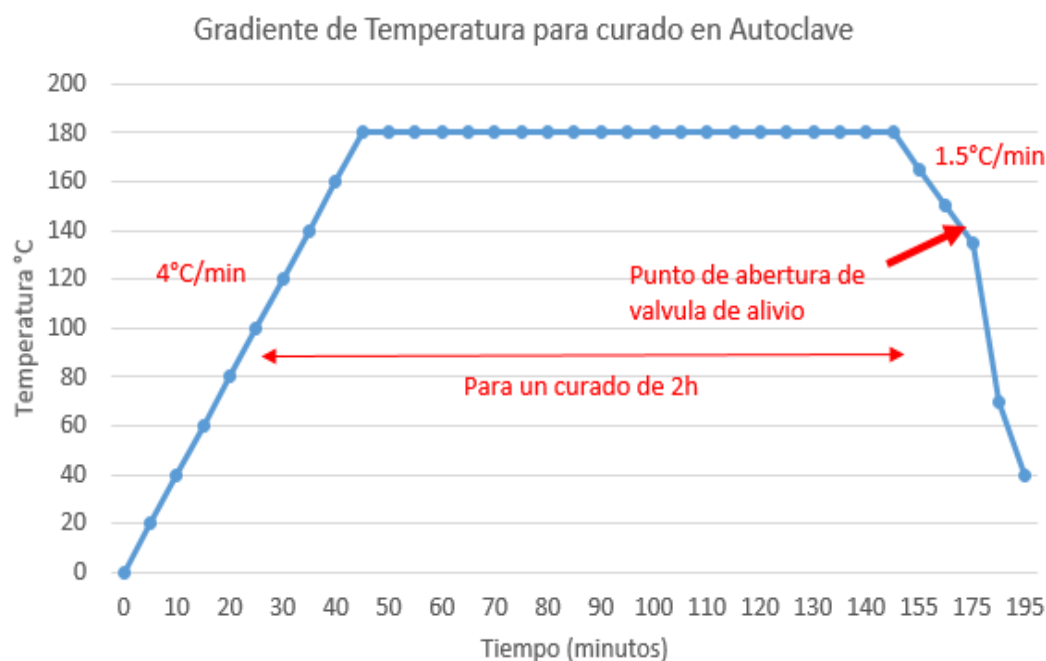


Figura 8: Gradiente de Temperatura para curado en autoclave (Elaboración Propia)

3.2.2. *PROCEDIMIENTO DE CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN AUTOCLAVE.*

A continuación, se describirá el proceso utilizado para la realización de curado en autoclave.

Previamente cabe indicar que los tiempos de curado, tiempos de ascenso y descenso de temperatura no son necesariamente los óptimos, ya que según lo indicado en el reporte del comité 516 del ACI, los factores como el tipo de cemento, tipo de agregado, tipo y cantidad de material silíceo reactiva, proporciones de mezcla, detalles de fabricación, etc podrían tener influencia considerable en la determinación del ciclo de curado en autoclave más satisfactorio.

Posterior al vaciado de los especímenes de concreto en los moldes para probetas, se procede a la espera del fraguado del mismo, alrededor de un día, previo a su introducción a las condiciones de autoclave, esto con la finalidad de que los especímenes de concreto hayan alcanzado la estabilidad volumétrica necesaria para soportar las condiciones de temperatura y presión anteriormente indicadas.

Desmoldadas las probetas se procede a la introducción en la máquina de curado en autoclave, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

- Uso de los EPPs adecuados para la manipulación de la máquina, como guantes térmicos, lentes de seguridad y chaleco de seguridad o camisa térmica.
- Verificar la temperatura de la máquina, en los paneles de temperatura, estos deben encontrarse por debajo de los 50°C para evitar quemaduras al momento de la manipulación.
- Extracción de la tapa superior de la máquina.
- Colocación de agua hasta una altura de aproximadamente 14cm dentro del cilindro (esta cantidad de agua fue estandarizada mediante ensayo y error para la correcta vaporización del agua y evitar el sobrecalentado del vapor, diversos autores indican usar abundante agua para evitar este efecto, además de asegurar un gradiente de elevación de temperatura adecuado), esta altura de agua es aproximadamente igual a la altura a la que se encuentra la rejilla de base de los testigos de concreto.
- Seguidamente se colocan las dos probetas de 4" x 8" dentro de la máquina de curado una encima de otra.



Ilustración 6: Extracción de especímenes de concreto del equipo de curado

- Se procede a colocar la tapa del cilindro empernándolo herméticamente y con cuidado de no dañar los aparatos de medición ubicados en la parte superior de este.
- Una vez introducidas las probetas en el equipo de curado en autoclave y sellada la tapa superior se procede a encender la maquina con el switch de encendido ubicado en el tablero de control del cilindro.
- Se procede a indicar la temperatura máxima a alcanzar en el panel de control del cilindro, indicando 185°C como temperatura máxima (las presiones de curado a alcanzar dentro de la maquina son dependientes de la temperatura máxima).
- En el panel de control del tiempo de curado se digitará el tiempo de curado requerido.

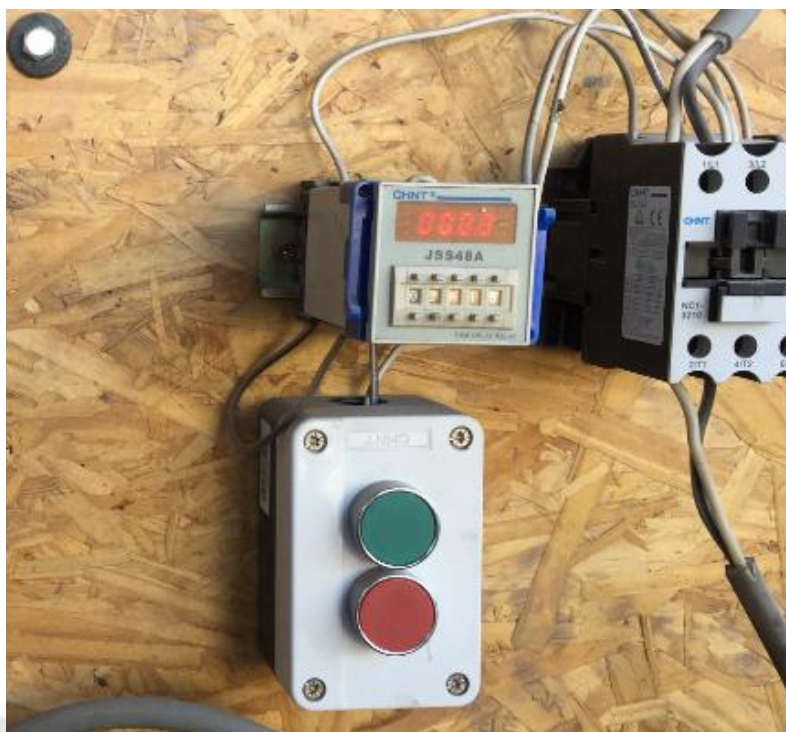


Ilustración 7: Swich de encendido

- Una vez programadas las condiciones de curado se procede a iniciar el curado encendiendo la resistencia, esto presionando el botón verde del panel externo.
- Encendida la maquina e iniciado el proceso de curado se debe esperar al apagado automático de la maquina según el tiempo programado.



Ilustración 8: Temperatura de curado máxima

- Apagada la máquina de curado en autoclave se debe esperar al enfriamiento de esta, así como la disminución de presión interna, antes de abrirla, ya que puede resultar peligroso la manipulación del equipo, tanto por las altas temperaturas a la que se encuentra como la presión interna que mantiene.



Ilustración 9: Presión de curado

- Aproximadamente 30 minutos luego de apagada la maquina o habiendo esperado por lo menos a que la temperatura descienda a 140°C y presiones de 4atm puede procederse a abrir gradualmente la válvula de alivio de vapor.



Ilustración 10: Expulsión del vapor de agua del equipo de curado

- Finalmente, a presión atmosférica y a temperaturas menores a 50°C se puede proceder a abrir la máquina de curado y extraer los testigos de concreto.

4. CAPITULO IV: MATERIALES DEL CONCRETO A UTILIZAR

4.1. AGREGADO FINO: PROPIEDADES

Definición:

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan por el tamiz 9.5mm (3/8”) y que cumple con algunos límites establecidos.

4.1.1. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN:

Consideraremos para una muestra de 500 gr. En condición Saturado con Superficie Seca (SSS)

Donde:

W_a = Peso de la muestra seca.

DATOS	Peso (kg)
Peso Saturado Superficialmente Seco (Muestra)	0.500
Fiola + Arena(500g)	0.658
Fiola	0.158
Fiola + Arena + Agua	0.948
Arena Seca (W_a)	0.488

Tabla 1: Porcentaje de absorción del agregado fino (Elaboración propia)

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500 - W_a}{W_a} \times 100$$

4.1.2. PESO ESPECIFICO

$$\text{Peso Especifico} = \frac{W_a}{V - V_a} \times 100$$

$$\text{Peso especifico Saturado con Superficie Seca (Pe SSS)} = \frac{500}{V - V_a} \times 100$$

$$\text{Peso Especifico Aparente (Pea)} = \frac{W_a}{(V - V_a) - (500 - W_a)} \times 100$$

ENSAYO PESO ESPECIFICO	
Volumen de Agua Adicionado (Va)	290 cm ³
Volumen total (V)	500 cm ³
Peso Arena Seca (Wa)	488 gr
Peso Específico	2.32 gr/cm ³
Absorción	2.459%
PeSSS	2.381 gr/cm ³
Peso Específico Aparente (Pea)	2.465 gr/cm ³

Tabla 2: Peso específico del agregado fino (Elaboración propia)



Ilustración 11: Peso específico del agregado fino

4.1.3. PESO UNITARIO COMPACTADO:

Según la norma ASTM C29 y NTP 400.017

Donde:

PUC= Peso unitario suelto del Agregado Fino.

Wmc= Peso de muestra compactada.

V= Volumen interno del recipiente.

$$PUC = \frac{Wmc}{V}$$

4.1.4. PESO UNITARIO SUELTO:

_Se determina de esta manera al peso que alcanza un determinado volumen unitario, sin varillar, tratando de loras se formen la mayor cantidad de vacíos entre las muestras de agregado.

Donde:

PUS= Peso unitario suelto del Agregado Fino.

Wms=Peso de muestra suelta.

V= Volumen interno del recipiente.

$$PUS = \frac{Wms}{V}$$

ENSAYO PESO UNITARIO					
Nº Ensayo	Volumen (cm3)	Peso Suelto (gr)	Peso Compactado (gr)	PU suelto	PU compactado
1	2817.395	3760.500	4385.000	1.335	1.556
2	2817.395	3766.000	4325.000	1.337	1.535
3	2817.395	3763.000	4331.000	1.336	1.537
			Prom	1.336	1.543

Tabla 3: Peso específico del agregado fino (Elaboración propia)

4.1.5. CONTENIDO DE HUMEDAD:

En los agregados existen poros, los cuales encuentran en la intemperie y pueden estar llenos con agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él podríamos saber si nos aporta agua a la mezcla.

Este método consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total.

Según la norma ASTM C566 y NTP 339.185

Contenido de Humedad			
1	Peso seco	2	kg
	Peso húmedo	1.9781	kg
	Humedad	1.095	%
2	Peso seco	2	kg
	Peso húmedo	1.978	kg
	Humedad	1.1	%
3	Peso seco	2	kg
	Peso húmedo	1.9789	kg
	Humedad	1.055	%
Promedio		Humedad	1.08 %

Tabla 4: Contenido de humedad (Elaboración propia)

4.1.6. GRANULOMETRÍA:

Según la ASTM C- 33 y NTP 400.012, el agregado deberá tener ciertos límites establecidos en la Norma. La denominación en unidades inglesas (tamices ASTM) se hace según el tamaño de la abertura en pulgadas para los tamaños grandes y los números de aberturas por pulgada lineal para tamices menores de 3/8”.

Tamiz	Porcentaje pasante
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (N°. 4)	95-100
2.36 mm (N°. 8)	80-100
1.18 mm (N°. 16)	50-85
600 µm (N°. 30)	25-60
300 µm (N°. 50)	5-30
150 µm (N°. 100)	0-10

Tabla 5: Límites del agregado fino (ASTM C33)

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

Según la norma NTP 400.012

Ensayo granulométrico N°01

MALLA	Abertura mm	PESO	% RETENIDO	% RETENIDO CUMULAD	% PASANTE	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PSASANTE ACUMUL.
2 1/2"	63.50	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.000	0.00	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.005	1.00	1.00	99.00	10.0	1.00	1.00	99.00
# 4	4.76	0.017	3.39	4.39	95.61	33.9	3.39	4.39	95.61
# 8	2.38	0.051	10.18	14.57	85.43	101.8	10.18	14.57	85.43
# 16	1.19	0.108	21.56	36.13	63.87	215.6	21.56	36.13	63.87
# 30	0.59	0.138	27.54	63.67	36.33	275.4	27.54	63.67	36.33
# 50	0.30	0.110	21.96	85.63	14.37	219.6	21.96	85.63	14.37
# 100	0.15	0.045	8.98	94.61	5.39	89.8	8.98	94.61	5.39
# 200	0.07	0.017	3.39	98.00	2.00	33.9	3.39	98.00	2.00
Fondo		0.010	2.00	100.00	0.00	20.0	2.00	100.00	0.00
TOTAL		0.501	100			1000		MODULO FINEZA	2.99

Tabla 6: Ensayo granulométrico N°01 (Elaboración propia)

Ensayo granulométrico N°01

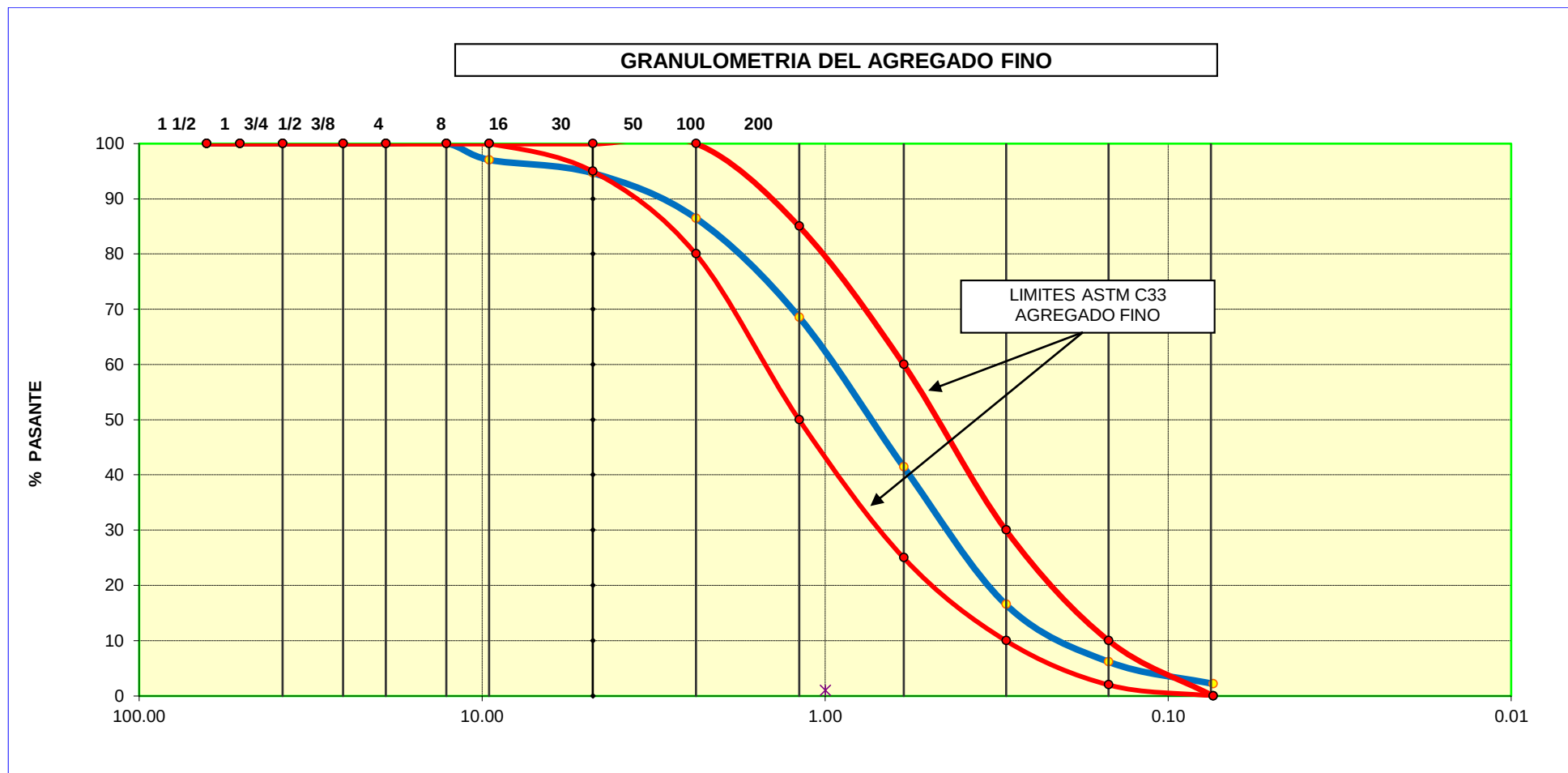
Ensayo granulométrico N°02

MALLA	Abertura mm	PESO	% RETENIDO	% RETENIDO CUMULAD	% PASANTE	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PSASANTE ACUMUL.
2 1/2"	63.50	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.000	0.00	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.015	2.99	2.99	97.01	29.9	2.99	2.99	97.01
# 4	4.76	0.012	2.39	5.38	94.62	23.9	2.39	5.38	94.62
# 8	2.38	0.041	8.17	13.55	86.45	81.7	8.17	13.55	86.45
# 16	1.19	0.090	17.93	31.47	68.53	179.3	17.93	31.47	68.53
# 30	0.59	0.136	27.09	58.57	41.43	270.9	27.09	58.57	41.43
# 50	0.30	0.125	24.90	83.47	16.53	249.0	24.90	83.47	16.53
# 100	0.15	0.052	10.36	93.82	6.18	103.6	10.36	93.82	6.18
# 200	0.07	0.020	3.98	97.81	2.19	39.8	3.98	97.81	2.19
Fondo		0.011	2.19	100.00	0.00	21.9	2.19	100.00	0.00
TOTAL		0.502	100			1000		MODULO FINEZA	2.86

Tabla 7: Ensayo granulométrico N°02 (Elaboración Propia)

)

Ensayo granulométrico N°02



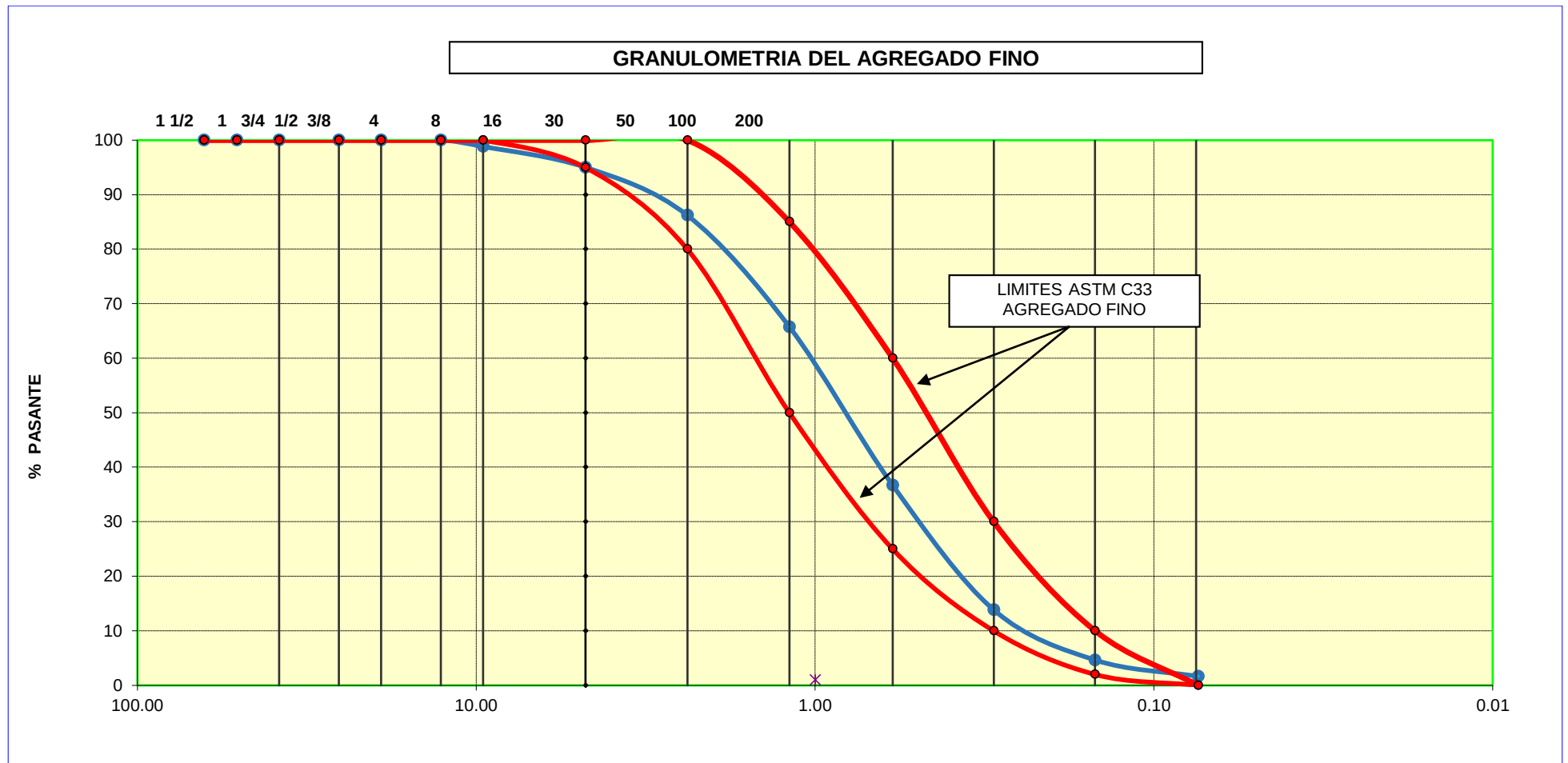
Grafica 2: Ensayo granulométrico N°02 (Elaboración Propia)

Ensayo granulométrico N°03

MALLA	Abertura mm	PESO	% RETENIDO	% RETENIDO CUMULAD	% PASANTE	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PSASANTE ACUMUL.
2 1/2"	63.50	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.000	0.00	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.006	1.20	1.20	98.80	12.0	1.20	1.20	98.80
# 4	4.76	0.019	3.81	5.01	94.99	38.1	3.81	5.01	94.99
# 8	2.38	0.044	8.82	13.83	86.17	88.2	8.82	13.83	86.17
# 16	1.19	0.102	20.44	34.27	65.73	204.4	20.44	34.27	65.73
# 30	0.59	0.145	29.06	63.33	36.67	290.6	29.06	63.33	36.67
# 50	0.30	0.114	22.85	86.17	13.83	228.5	22.85	86.17	13.83
# 100	0.15	0.046	9.22	95.39	4.61	92.2	9.22	95.39	4.61
# 200	0.07	0.015	3.01	98.40	1.60	30.1	3.01	98.40	1.60
Fondo		0.008	1.60	100.00	0.00	16.0	1.60	100.00	0.00
TOTAL		0.499	100			1000		MODULO FINEZA	2.98

Tabla 8: Ensayo granulométrico N°03 (Elaboración Propia)

Ensayo granulométrico N°03



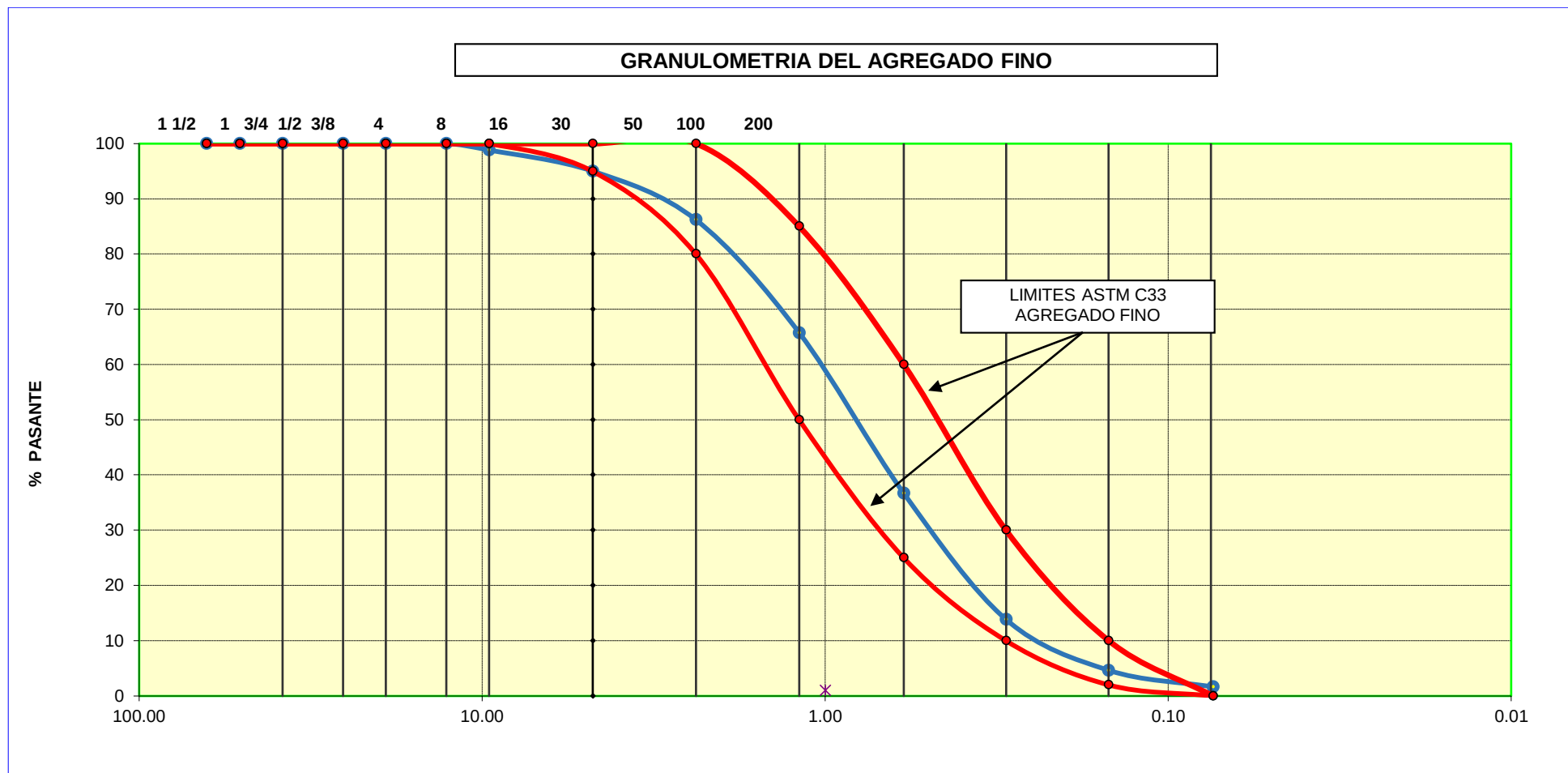
Grafica 3: Ensayo granulométrico N°03 (Elaboración Propia)

Ensayo granulométrico N°04

MALLA	Abertura mm	PESO	% RETENIDO	% RETENIDO CUMULAD	% PASANTE	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.
2 1/2"	63.50	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.000	0.00	0.00	100.00	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.003	0.61	0.61	99.39	6.1	0.61	0.61	99.39
# 4	4.76	0.012	2.43	3.04	96.96	24.3	2.43	3.04	96.96
# 8	2.38	0.040	8.11	11.16	88.84	81.1	8.11	11.16	88.84
# 16	1.19	0.110	22.31	33.47	66.53	223.1	22.31	33.47	66.53
# 30	0.59	0.138	27.99	61.46	38.54	279.9	27.99	61.46	38.54
# 50	0.30	0.122	24.75	86.21	13.79	247.5	24.75	86.21	13.79
# 100	0.15	0.059	11.97	98.17	1.83	119.7	11.97	98.17	1.83
# 200	0.07	0.007	1.42	99.59	0.41	14.2	1.42	99.59	0.41
Fondo		0.002	0.41	100.00	0.00	4.1	0.41	100.00	0.00
TOTAL		0.493	100			1000		MODULO FINEZA	2.94

Tabla 9: Ensayo granulométrico N°04 (Elaboración Propia)

Ensayo granulométrico N°04



Grafica 4: Ensayo granulométrico N°04 (Elaboración Propia)



Ilustración 12: Equipo para ensayo granulométrico



Ilustración 13: Muestras de ensayo Granulométrico

4.2. CEMENTO, MICROSILICE Y AGUA

4.2.1. CEMENTO

A.M. Neville define la composición del cemento como la combinación de un material calcáreo (piedra caliza y yeso) y una base de alúmina y sílice, como arcilla o esquisto.

Su proceso de manufactura consiste básicamente en la molienda de las materias primas mencionadas hasta la obtención de un polvo muy fino, mezclarlo hasta tener una mezcla homogénea de proporciones establecidas y quemarlas en grandes hornos rotatorios a temperaturas aproximadas de 1400°C, para posteriormente fundirlo parcialmente hasta convertirse en escoria, cuando esta escoria se enfría, se muele hasta convertirla en un polvo fino para finalmente añadir una proporción de yeso.

El cemento utilizado en la presente investigación es el Cemento Portland Tipo I

4.2.1.1. CEMENTO TIPO I

Definición:

El Cemento Tipo I es por mucho el más empleado en construcciones convencionales, donde no existe exposición a sulfatos en el suelo o agua de subsuelo.

En la presente investigación se utilizó este tipo de cemento debido al uso general que posee, y debido a que no posee aditamentos como la puzolana que en esta investigación es el caso de estudio.

Propiedades:

El cemento utilizado posee las siguientes propiedades

- | | |
|---|-------------------------|
| ▪ Peso Específico: | 3.14 g/cm ³ |
| ▪ Finura (Superficie Especifica - Blaine) | 3400 cm ² /g |
| ▪ Finura (Retenido malla N° 200 (75 µm)) | 4 % |
| ▪ Finura (Retenido malla N° 325 (45 µm)) | 12.08% |

4.2.2. PUZOLANA, MICROSILICE Y ADITIVO REDUCTOR DE AGUA.

4.2.2.1. PUZOLANA

Definición:

En el ACI SP-19 se define la puzolana como un “material silíceo o silicoaluminoso que por si mismo tiene poco o ningún valor cementante, pero que, en una manera finamente dividida y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, para formar compuestos con materiales cementantes”

Ante esta definición se decidió utilizar como material puzolánico, la microsilice para los fines de la presente investigación. Esto debido a su alta actividad puzolánica, así como su fácil adquisición en el mercado.

“Bajo el nombre de puzolanas, se incluyen productos bastante diferentes en cuanto a su origen, estructura, composición química y mineralógica y que tienen en común lo que se denomina Actividad puzolánica” Dr. Francisco Blanco.

El cemento portland durante su hidratación es fuente de un compuesto llamado hidróxido de calcio, el cual reacciona con los aluminosilicatos y silicatos presentes en la puzolana, que forman compuestos cementantes.

La interacción de la puzolana con los silicatos de calcio hidratados liberados de la hidratación del cemento puede representarse de la siguiente manera.



Donde:

C-S-H: Silicatos de calcio hidratados

Ante esta definición se decidió utilizar como material puzolánico, la microsilice para los fines de la presente investigación. Esto debido a su alta actividad puzolánica, así como su fácil adquisición en el mercado.

Una característica de la reacción de la puzolana es que esta consume hidróxido de calcio en lugar de generarlo, lo que es bueno para la durabilidad de las pastas y lo que le proporciona al concreto una buena resistencia contra el ataque de sulfatos.

Otra característica es que, al producirse la reacción, estos productos rellenan los espacios capilares que quedan posterior a la hidratación del cemento, por lo que se mejora la impermeabilidad y las resistencias mecánicas del concreto.

Clasificación de los materiales puzolánicos

Los materiales puzolánicos se pueden dividir en dos grupos: Naturales y artificiales.

Al primer grupo pertenecen los restos volcánicos y una serie de productos naturales que tienen en común el comportamiento hacia la cal. Al segundo grupo pertenecen las escorias de alto horno, cenizas volantes y arcillas calcinadas.

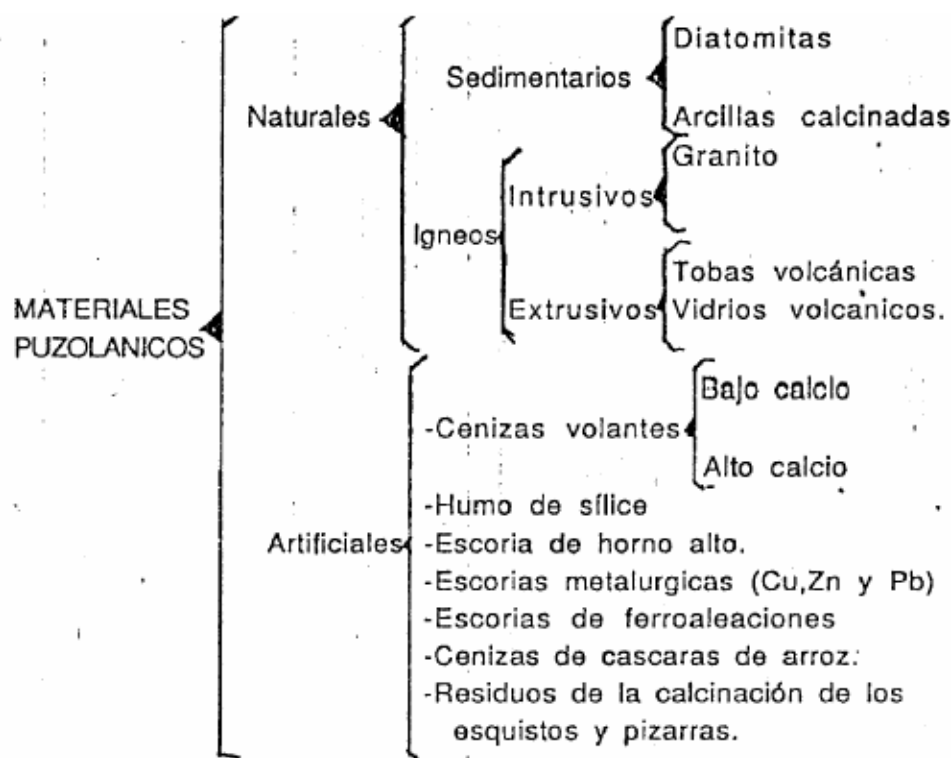
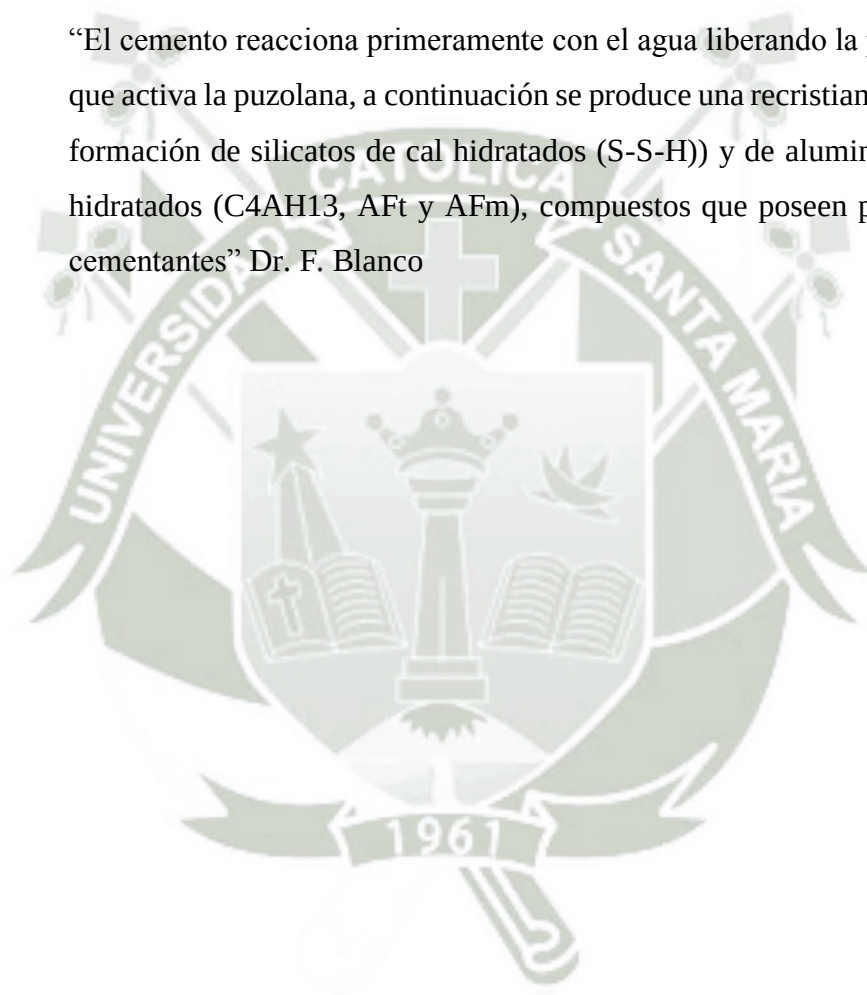


Figura 9: Clasificación de los materiales puzolánicos (Fuente Dr. F. Blanco)

Básicamente la actividad puzolanica se basa en el aspecto químico de la fijación de la cal, traducido a un aspecto mecánico se ve reflejado en el incremento de las resistencias mecánicas del concreto. Esta actividad puzolánica depende de los siguientes factores:

- Composición química y mineralógica
- Distribución granulométrica
- Estructura y superficie

“El cemento reacciona primeramente con el agua liberando la portlandita, que activa la puzolana, a continuación se produce una recristalización con formación de silicatos de cal hidratados (S-S-H)) y de aluminatos de cal hidratados (C4AH13, AFt y AFm), compuestos que poseen propiedades cementantes” Dr. F. Blanco



Clasificación	Composición química y mineralógica	Características de las partículas
I. Cementantes y puzolánicos		
a. Escorias de horno alto granuladas	La mayoría de los silicatos cristalinos contienen principalmente calcio, magnesio, aluminio y sílice. Componentes cristalinos del grupo de la melilita pueden estar presentes en pequeñas cantidades	El material sin procesar es del tamaño de la arena y contiene 10-15 % de humedad. Antes de usarlo se seca y se muele a tamaños menores de 45 μm (habitualmente alrededor de 500 m^2/kg Blaine). Las partículas tienen una textura rugosa.
b. Cenizas volantes de alto calcio	La mayoría de los silicatos cristalinos contienen principalmente calcio, magnesio, aluminio y álcalis. La pequeña cantidad de fase cristalina presente consiste generalmente en cuarzo y C_3A ; cal libre y periclasa pueden estar presentes; CS y CAS pueden estar presentes en el caso de carbones de alto contenido en sulfuro. El carbono inquemado es normalmente menor del 2%	Polvo con un 10 - 15 % de partículas mayores de 45 μm (frecuentemente 300 - 400 m^2/kg Blaine. La mayoría de las partículas son esferas sólidas de diámetro menor de 20 μm . La superficie de las partículas es generalmente smooth pero no tan limpia como en las cenizas volantes de bajo calcio.
II. Pozolanas altamente activas		
a. Humo de sílice condensado	Constituido esencialmente por sílice pura en forma no cristalizada.	Polvo extremadamente fino constituido por esferas de 0,1 μm de diámetro medio (alrededor de 20 m^2/g de superficie específica BET)
b. Cenizas de cáscara de arroz (proceso Mchta-Pitt)	Constituido esencialmente por sílice pura en forma no cristalizada.	Generalmente las partículas son menores de 45 μm , pero tienen una superficie específica muy elevada (alrededor de 60 m^2/g BET)
III. Pozolanas normales		
a. Cenizas volantes de bajo calcio	La mayoría de los silicatos cristalinos contienen principalmente aluminio, hierro y álcalis. La pequeña cantidad de fase cristalina presente consiste generalmente en cuarzo, mullita, silimanita, hematites y magnetita.	Polvos con un 15 - 30 % de partículas mayores de 45 μm (frecuentemente 200 - 300 m^2/kg Blaine). La mayoría de las partículas son esferas sólidas con un diámetro medio de 20 μm . Pueden presentarse cenosferas y plenosferas
b. Materiales naturales	Entre los cristales de aluminosilicatos, puzolanas naturales contienen cuarzo, feldespato, mica.	Las partículas se muelen hasta que la mayor parte sean menores de 45 μm y tienen textura rugosa.
IV. Pozolanas débiles		
Escorias de horno alto de lento enfriamiento; cenizas de fondo	Constituido esencialmente por silicatos minerales cristalinos, y sólo una pequeña parte de fase vítreo, no cristalizada.	Los materiales deben ser pulverizados a tamaños de partícula muy finos con el objetivo de desarrollar alguna actividad puzolánica. Las partículas molidas tienen textura rugosa.

Tabla 10: Clasificación de las puzolanas (Fuente: Dr. F. Blanco)

4.2.3. *MICROSÍLICE*

Definición

También llamado Humo de sílice o sílice volatilizada; como se definió previamente la microsíllice es una sílice no cristalina muy fina producida en los hornos de arco eléctrico como subproducto de la producción de silicio elemental o aleaciones que contienen silicio.

La microsíllice esencialmente es un material de sílice no cristalina con un Blaine o área superficial de 200000-250000 cm²/g, que en comparación con la del cemento (3000cm²/g) es una diferencia abismal. El tamaño medio de sus partículas es de 0.1 micras, lo que le proporciona su gran actividad puzolánica

Una de las ventajas de la microsíllice en comparación con el resto de puzolanas es que, debido a su finura, puede rellenar los espacios intergranulares del cemento, reduciendo el tamaño de los poros de la matriz de cemento, así mismo esta finura y gran superficie demanda gran cantidad de agua por lo que suele usarse conjuntamente con aditivos reductores de agua o plastificantes.

Otra ventaja que posee la microsíllice en comparación de sus pares puzolánicos es que más que cumplir una función de relleno de agujeros, las partículas rellenas son lugares idóneos de nucleación para los productos de hidratación del cemento. En lugar de cristales grandes, se forman numerosos microcristales pequeños bien distribuidos, lo que proporciona resistencias mecánicas altas.

“En resumen la adición de microsíllice incrementa la resistencia a la compresión, la estabilidad y la trabajabilidad, reduciendo la exudación y la segregación. Esta resistencia y durabilidad se debe al fino tamaño de poro que origina la adición de la microsíllice.” Dr. F. Blanco

Se utilizó 7% del peso de cemento de microsíllice para todos los casos de la presente investigación

La microsíllice utilizada en la presente investigación es la EUCO MICROSILICA[®], También es conocida como EUCON MSA

Propiedades

La microsílíce Utilizada posee las siguientes propiedades según su ficha técnica adjuntada.

- Gravedad Especifica: 2.2
- Densidad: 481kg/m³
- SiO₂ Amorfo: 92-98%

4.2.4. *ADITIVO REDUCTOR DE AGUA O PLASTIFICANTE*

Definición

Enrique Rivva Lopez define como aditivo al material distinto del agua, agregado o cemento, que es utilizado como un componente del concreto y que se añade antes o durante el mezclado con el fin de modificar una o varias de sus propiedades.

Los aditivos reductores de agua son aquellos aditivos que tienen como fin

Lograr una mayor resistencia al disminuir la relación agua cemento

Lograr la misma viabilidad al disminuir el contenido de cemento para reducir el calor de hidratación en el concreto.

Lograr una plasticidad del concreto de manera de facilitar su colocación en lugares inaccesibles o congestionados.

El fin del uso de un aditivo reductor de agua o plastificante para la presente investigación fue que debido a la adición de microsílíce en uno de los diseños de mezclas, esta mezcla solicitaría mayor cantidad de agua para su colocación, entonces con el fin de no variar el revenimiento, ni la relación agua cemento (ya que la relación Agua cemento es una constante para todos los diseños) se utilizó un aditivo plastificante.

Los aditivos reductores de agua deben cumplir con los requisitos de las normas ASTM C 1017 y ASTM C 494

Para la presente investigación se utilizó el aditivo EUCO 37[®], también conocido con el nombre de EUCON 37, del cual se adjunta la ficha técnica.

PROPIEDADES

- Densidad: 1.19 +/- 0.01 g/ml
- Ph 9.00 – 1.00
- Color Café Oscuro

4.2.5. AGUA

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto, pues permite que el cemento desarrolle sus propiedades ligantes, Este componente está estrechamente ligado con la resistencia y trabajabilidad del concreto.

Casi cualquier agua potable es utilizable para la elaboración del concreto.

No está permitido el uso de aguas acidas, minerales, carbonadas, calcáreas o con contenido de sulfatos mayores al 1%; que posean materias orgánicas, humus o descargas de desagües.

Para la presentación se utilizó agua potable del sistema de red de agua potable de la ciudad de Arequipa –Peru.

4.2.6. VAPOR DE AGUA Y PRESION DE VAPOR

4.2.6.1. VAPOR DE AGUA

El vapor de agua es un gas que se obtiene de la evaporación del agua líquida, Este elemento que ofrece tanto calor como humedad, brinda las condiciones esenciales para lograr que el concreto acelere su curado

4.2.6.2. PRESION DE VAPOR

La presión de vapor es aquella a la que a cualquier temperatura las fases líquidas y vapor se encuentran en equilibrio, ante esta situación ambas reciben la denominación de líquido saturado y vapor saturado.

Existe una relación aproximada entre la presión de vapor y la temperatura del vapor

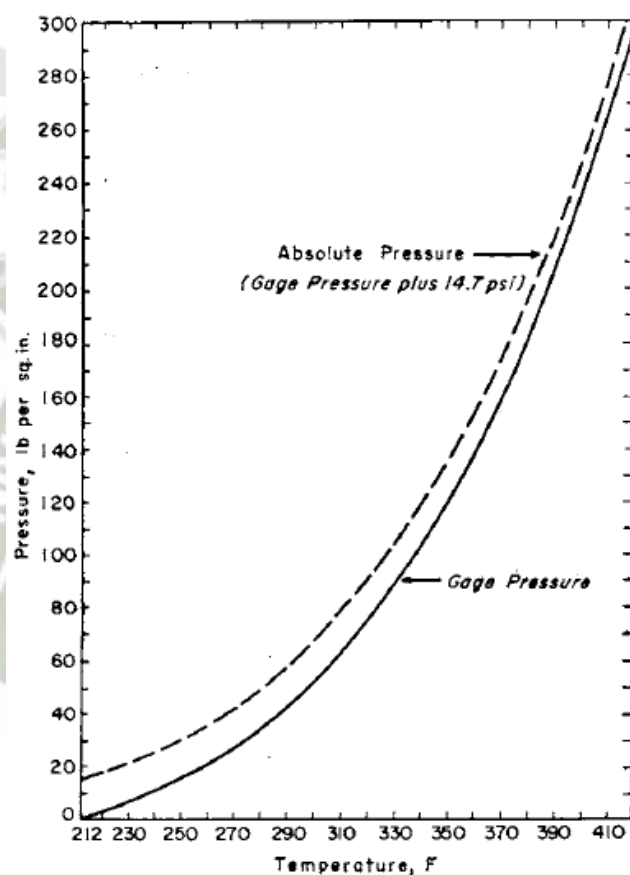


Figura 10: Relación entre la temperatura y la presión de vapor saturado (ACI 516)

4.2.6.3. REACCION CONCRETO PUZOLANICO – PRESION Y VAPOR

En cementos no puzolánicos o sin aditamentos de materiales puzolánicos el efecto del rápido alcance de resistencia de la presión y vapor se debe básicamente a los efectos del vapor y la temperatura, ya que estos ponen a disposición la humedad necesaria para el curado y una temperatura elevada que acelera el proceso de hidratación al igual que un curado a vapor convencional, la diferencia radica en que el curado en autoclave el vapor

puede alcanzar mayores temperaturas debido al confinamiento hermético de este, acelerando aún más el proceso de curado que en un curado a vapor convencional.

Sin embargo, diferentes estudios e investigaciones afirman que un curado en autoclave posee muchos más beneficios en un concreto con alto potencial puzolánico.

“A menudo es económicamente viable tratar térmicamente las puzolanas a fin de crear un “estado de desorden” de la estructura cristalina (por deshidroxilación) y poder así activarlas” A. M. Neville

Jose Calleja en su libro “Cementos Puzolánicos” indica que las puzolanas fijan la cal a una temperatura ordinaria, pero a temperaturas superiores la fijan en mayor medida y con una mayor velocidad.

La cal libre presentes en cementos puzolánicos es la cal de hidrolisis que se libera durante la hidratación de los componentes del Clinker y la cal libre que contenga.

Esta cal libre es una cal calcinada con poca capacidad de reacción, la cual transcurre muy lentamente en condiciones normales.

Pero a temperaturas y presiones elevadas esta velocidad de reacción aumenta considerablemente y las reacciones se producen de manera completa, generando mayor material cementante y por ende mayor resistencia en menor tiempo.

El comité 516 del ACI indica que la principal razón del aumento de resistencia del concreto curado en autoclave en comparación con otros métodos de curado acelerado como el curado a vapor y en agua hirviendo es que en estos últimos solo llega a formarse un gel de tobermorita, que es un gel rico en cal. Esta fase rica en cal es el producto de hidratación directa del cemento.



Ilustración 14: Temperatura vapor y agua



5. CAPITULO V: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PARA CURADO EN AUTOCLAVE.

5.1. DISEÑOS DE MEZCLAS POR EL METODO DE TANTEOS

El objetivo de la presente investigación es “Comparar la resistencia a la compresión y la influencia de la puzolana en un concreto curado en autoclave con un concreto curado en condiciones normales.” Dicho esto, se realizaron dos diseños de mezclas, uno con puzolana (microsílice) y el otro sin la presencia de este material, donde la principal variable independiente es la presencia de la puzolana (microsílice), por lo que para el diseño de mezclas se consideró que el resto de proporciones de materiales se mantengan constantes, pero con el objetivo de buscar condiciones óptimas para el estudio, proporciones comunes al uso diario y de no incurrir en investigaciones ya realizadas. Se partió de ciertas proporciones que mantuvieron como constantes o fueron variando de manera tentativa en la búsqueda de la mezcla óptima para la efectiva comparación de un concreto con puzolana (microsílice) y sin puzolana en un curado a altas presiones y temperaturas (autoclave).

Por lo que se realizó el diseño de mezclas a partir de:

- Una relación a/c de 0.45, con el propósito de buscar una relativa alta resistencia ya que no se tienen datos de investigaciones previas para resistencias relativamente altas.
- Un porcentaje de microsílice de 7% ya que es un porcentaje bastante usado y común (suele usarse entre 5 y 10% de microsílice)
- Relación entre agregado fino y agregado grueso: Para la presente investigación no se consideró el uso del agregado grueso en el diseño ya que la principal aplicación del concreto curado en autoclave es el concreto celular, el cual no posee agregado grueso en su composición, pero que también se desconoce a ciencia cierta los efectos de la puzolana en su composición y en su curado en autoclave.
- Una cantidad de cementante de 600 kg/m³ que resulto de tantear para una resistencia aproximada de 500kg/cm² aproximada (estimada a los 3 días

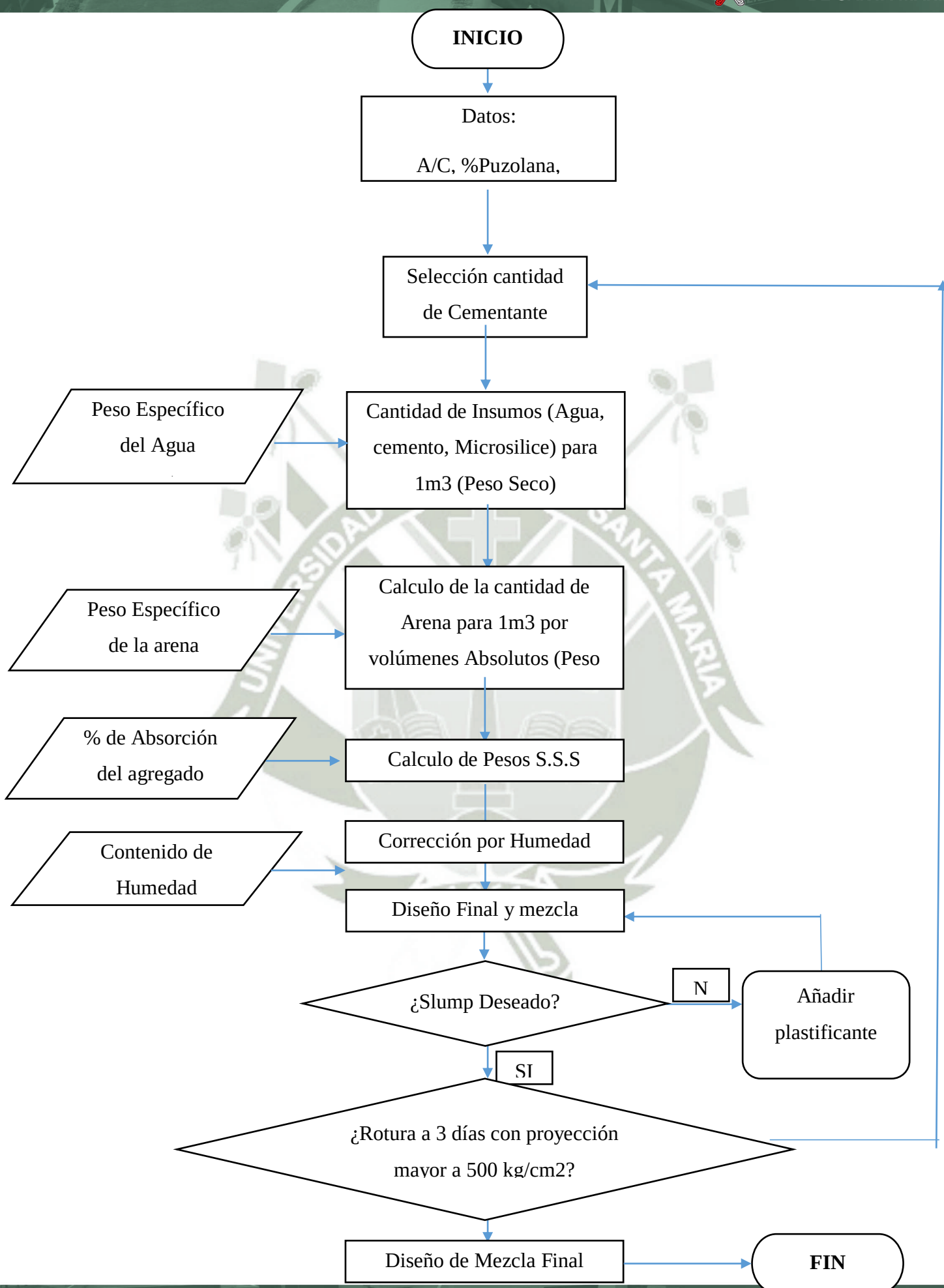
de rotura). Esto debido a que la finalidad de la investigación no depende de la resistencia a 28 días, pero sí de su comparación entre los distintos diseños (en los que solo varia la presencia de microsilíce y distintos tiempos de curado); es por ello que lo primordial, más allá de su resistencia, relación agua-cemento y cantidad de cementante, es que estas proporciones se mantengan constantes en ambos diseños de mezclas.

- Dicho esto, se aproximó a una resistencia de 500 kg/cm² buscando una resistencia relativamente elevada con la finalidad de: Hacer más notorios los cambios de resistencia, ya que a mayor magnitud de resistencia a la compresión estos cambios serán más perceptibles, ampliar las investigaciones de curado en autoclave a resistencias más elevadas de los convencional, ya que no se tienen datos de otras investigaciones a resistencias relativamente altas y poder complementar los datos de investigaciones previas.

La cantidad de aditivo plastificante se adiciono solo en caso de ser necesario, a fin de mantener la misma relación agua cemento y un slump igual o similar, para ambos diseños.

Mediante ensayo y error se determinó que el diseño que con ausencia de microsilíce no necesitaba adición de un aditivo plastificante, mientras que el diseño que si presentaba adición de puzolana si era necesario la adición de un porcentaje de plastificante.

Con las consideraciones previas ya mencionadas se aplicó el proceso mostrado a continuación para la elaboración del diseño de mezclas.



Siguiendo los procesos del diagrama de flujo mostrado se obtuvo el siguiente diseño de mezclas.

5.2.DISEÑO DE MEZCLAS SIN PUZOLANA (MICROSILICE)

Este diseño no posee actividad puzolánica.

Nomenclatura: SP

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL.	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	UNIDAD
Cemento	TIPO I	3000			600	0.20000	600	600.0	kg
Microsilice	EUCO Microsilica	2200			0	0.00000	0	0.00	kg
Agua	Red de agua potable	1000			274.20	0.27420	304.20	291.02	L
Arena	Cantera "El Huayco"	2320	1.080	2.459	1219.86	0.52580	1219.86	1233.03	kg
TOTAL					2094	1.0000	2124.05	2124.05	

Tabla 11: Diseño de mezclas Sin Puzolana (Microsilice) (Elaboración propia)

El diseño mostrado no requirió del uso de aditivo plastificante.

5.3.DISEÑO DE MEZCLAS CON PUZOLANA (MICROSILICE)

Nomenclatura: CP

Este diseño si posee actividad puzolánica por la presencia de la microsilíce

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL.	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	UNIDAD
Cemento	TIPO I	3140			558	0.17771	558	558.0	kg
Microsilice	EUCO Microsilica	2200			42	0.01909	42	42.00	kg
Agua	Red de agua potable	1000			274.20	0.27420	304.38	291.12	L
Arena	Cantera "El Huayco"	2320	1.080	2.459	1227.28	0.52900	1227.28	1240.54	kg
TOTAL					2101	1.0000	2132	2131.7	

Tabla 12: Diseño de mezclas Con puzolana (Microsilíce) (Elaboración propia)

Este diseño si requirió el uso de aditivo plastificante, el cual se fue tanteando hasta alcanzar un slump similar al del diseño sin microsilíce

La cantidad utilizada de aditivo plastificante fue de 0.24% del peso del cemento.

5.4.PROCEDIMIENTO DE MEZCLA

El procedimiento de mezcla para la presente investigación se realizó en un trompo mezclador y el proceso fue el siguiente:

- Se vierte la mitad de la cantidad de arena junto con un 25% de la cantidad de agua esperando que se hidrate toda la arena vertida.
- Seguidamente se vierte la mitad del cemento y toda la microsilice, en caso sea el diseño de mezclas que contenga microsilice, y se espera a que la masa se mezcle homogéneamente.
- Luego se adiciona el resto de la arena con lo faltante del cemento, así como la totalidad del agua restante, si fuese el caso de diseño que requiere plastificante, se guarda una pequeña porción de agua para diluir el plastificante.
- En el diseño de mezclas que requiere aditivo plastificante se vierte este en el trompo. Para un mejor esparcimiento del aditivo este puede diluirse en una pequeña cantidad de agua y verterlo en distintas partes de la mezcla de concreto, esto con el fin de evitar concentraciones en ciertas partes de la mezcla y que no se obtenga el resultado esperado.
- Finalmente debe de mezclarse por lo menos 5 minutos para obtener una mezcla homogénea y que el aditivo pueda hacer efecto.



Ilustración 15: Mezclado del concreto

Como recomendaciones al momento de mezclado pueden considerarse las siguientes:

- Asegurarse de que porciones de cemento no se están quedando impregnadas en las paredes del trompo, de ser así, detener el vaciado y despegar las zonas impregnadas manualmente.
- Luego de cada vertido, inclinar el trompo por aproximadamente 1 min hasta una posición casi horizontal, cuidando de que no salte el concreto fuera del trompo, esto con la finalidad de un mejor mezclado.
- No apresurarse en adicionar mayor cantidad de aditivo plastificante de lo planificado, ya que este tarda por lo menos 3 minutos en hacer efecto en toda la mezcla.

6. CAPITULO VI: ENSAYOS EN EL CONCRETO

6.1. ESTADO FRESCO.

Se le denomina concreto fresco a la mezcla homogénea de concreto el tiempo que permanece en un estado de fluides, es decir desde el momento en el que se mezclan todos los insumos de este hasta que comienza el fraguado o endurecimiento de la masa. Es durante esta fase cuando el concreto puede ser transportado, ubicado, moldeado y vibrado de la manera conveniente. Durante esta etapa el concreto presenta distintas propiedades como son el slump, peso unitario en estado fresco y temperatura.

6.1.1. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP)

El asentamiento del concreto mide la trabajabilidad y consistencia de este. “Trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones y la consistencia se define por el grado de humedecimiento de la mezcla” - Flabio Abanto Castillo.

Estas características del concreto se encuentran directamente relacionadas con la cantidad de agua del concreto, el equilibrio adecuado entre las cantidades de agregados finos y gruesos así como el porcentaje de finos, también se encuentra definidos por el tiempo de mezcla o posibles aditivos que puedan adicionarse al concreto como es el caso de los aditivos plastificantes o reductores de agua.

6.1.1.1. METODO

El método más común y conocido para medir la consistencia del concreto es el llamado revenimiento o Slump test. Esta prueba fue desarrollada por Duft Abrams y adoptada en 1921 por el ASTM y revisada finalmente en 1978.

Este ensayo consiste en obtener una muestra de concreto fresco en un molde troncónico llamado cono de Abrams, midiendo el asiento del concreto luego de desmoldado.

6.1.1.2. EQUIPO

El equipo consiste en un molde troncónico llamado cono de Abrams, los círculos de las bases son paralelos entre si mismos y deben medir 20cm y 10 cm de diámetro, la altura del molde debe ser de 30cm.

El material del molde debe ser de acero galvanizado de espesor mínimo de 1.5mm.

Para el compactado del concreto se utiliza una barra de acero liso de 5/8" de diámetro y de 60cm de longitud, con una punta semiesférica.

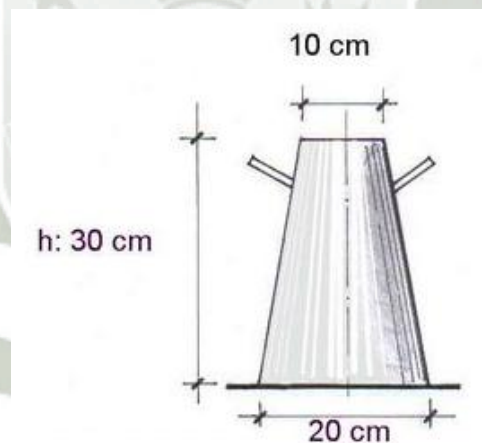


Ilustración 16: Medidas Cono de Abrams



Ilustración 17: Cono de Abrams

6.1.1.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El molde se posiciona sobre una superficie plana y humedecida, este debe permanecer inmóvil, para este fin deben pisarse las aletas de los extremos de la base del molde

Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio de la altura del cono. Se procede a apisonar con la varilla, aplicando 25 golpes distribuidos de manera que se forme un espiral desde los bordes de las paredes del cono hasta el centro de este.

En seguida se deben colocar otras dos capas siguiendo el mismo procedimiento a un tercio de la altura del cono, de manera que la barra apisonadora penetre en la capa inmediata inferior.

La tercera y última capa deberá rebalsar el cono, para luego poder enrasar al término de la consolidación. Lleno y enrasado el molde, se debe levantar lentamente en dirección vertical.

El concreto fresco se asentará, la diferencia entre la altura original (del molde) y la altura de la mezcla fresca asentada se denomina slump.

Se recomienda que desde el inicio del ensayo hasta el término de este no deben transcurrir más de 2 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de 5 segundos.

6.1.1.4. CLASES DE MEZCLAS SEGÚN SU ASENTAMIENTO.

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD
Seca	0" a 2"	Poco Trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Fluida	> 5"	Muy Trabajable

Tabla 13: Trabajabilidad del Concreto (Fuente: Tecnología del concreto – Flavio Abanto Castillo)

6.1.1.5. RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, la presente investigación, posee dos diseños por lo que se tiene dos resultados de slump relativamente similares, ya que lo que se buscó, es que ambos diseños de mezclas tengan propiedades en estado fresco similares para poder realizar la comparación con las distintas condiciones de curados a las que se someterán.

El promedio de las mediciones hechas a ambos diseños se muestra a continuación.

Diseño de Mezcla	Slump
Con Puzolana (Microsilice) (CP)	4.4"
Sin Puzolana (Microsilice) (SP)	5.1"

Tabla 14: Slump del concreto (Elaboración propia)

El crudo de los datos obtenidos se presentará en el anexo A

6.1.2. PESO UNITARIO O PESO ESPECIFICO.

El peso unitario del concreto es la relación entre el peso y volumen de cantidades definidas, con este se puede únicamente estimar aproximadamente la densidad final del concreto endurecido.

En los concretos convencionales, el peso unitario se encuentra en el rango de 2200 a 2400 kg/m³, la densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad de agua, a mayor a agua menor peso específico tendrá, por lo que los concreto con menor cantidad de agua, es decir, con una menor relación

agua cemento, que son los que mayor resistencia alcanza suelen ser los más densos o más pesados; también, la densidad se ve afectada por la cantidad de agregado y cemento, dependiendo del tamaño máximo, y las proporciones de material cementante y de agregado.

En el caso particular de la presente investigación, como se mencionó anteriormente, el diseño de mezcla no contiene agregado grueso, por lo que este factor tiende a disminuir la densidad del concreto, pero la resistencia se ve compensada con una elevada cantidad de material cementante.

6.1.2.1. METODO Y PROCEDIMIENTO

El método consiste básicamente en un recipiente de volumen conocido o medible donde se vierta el concreto fresco debidamente compactado y apisonado, para finalmente pesar el concreto fresco contenido en el recipiente.

Finalmente, la relación entre el peso del concreto y el volumen del recipiente es el peso unitario del concreto en estado fresco.

$$PU = \frac{W}{V}$$

Donde:

W: Peso del concreto

V: Volumen del recipiente

6.1.2.2. RESULTADOS

El promedio de los ensayos realizados a ambos diseños de mezcla se muestra a continuación.

Diseño de Mezcla	PU (KG/M3)
Con Puzolana (Microsilice) (CP)	2160.82
Sin Puzolana (Microsilice) (CP)	2180.52

Tabla 15: PU del concreto (Elaboración propia)

6.1.3. CONTROL DE TEMPERATURA

La temperatura del concreto depende del aporte térmico de cada uno de sus componentes, de la temperatura ambiente a la que se realice el vaciado y el calor liberado por la hidratación de cemento.

El procedimiento para las tomas de temperatura del concreto en estado fresco va de acuerdo a la norma ASTM C 1064

6.1.3.1. METODO

El Método consiste en medir la temperatura del concreto en estado fresco utilizando un aparato de medición

6.1.3.2. EQUIPO

Se requiere de un recipiente hecho de un material no absorbente y de tamaño suficiente para brindar por lo menos 75mm de concreto en todas las direcciones alrededor del aparato de medición de temperatura.

También se requiere de un aparato de medición de temperatura, este termómetro debe ser capaz de medir la temperatura del concreto en estado fresco con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, tener un rango de medición entre 0 y 50°C y capaz de sumergirse en el concreto por lo menos 75mm .

Para la realización de los ensayos se utilizó un Termómetro Digital tipo pluma WT1 Con Sonda 10.5cms SS, Rango de $50-300^{\circ}\text{C}$, el cual cumple con todas las características necesarias.

6.1.3.3. PROCEDIMIENTO

Colocar el termómetro dentro de la mezcla fresca de concreto, de modo que el sensor de temperatura se encuentre sumergido por lo menos 75mm de la superficie.

Se debe dejar el termómetro inmerso en el concreto por un tiempo mínimo de 2 min o hasta que se estabilice la temperatura marcada, pero no más de 5 minutos, luego registrar la temperatura indicada en el termómetro.

6.1.3.4. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones para ambos diseños de mezclas.

Diseño de Mezcla	Temperatura °C
Con Puzolana (Microsilice) (CP)	21.3
Sin Puzolana (Microsilice) (CP)	21.8

Tabla 16: Temperatura del Concreto (Elaboración propia)



6.2. ESTADO ENDURECIDO.

6.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION

Comúnmente se suele considerar la resistencia a la compresión del concreto como su propiedad más valiosa, aunque en muchos otros casos prácticos, existen otras propiedades como la impermeabilidad o la durabilidad que pueden resultar más importantes dependiendo de la aplicación que se le dará al concreto.

Sin embargo, “la resistencia a la compresión suele dar una imagen general de la calidad del concreto, puesto que está directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento fraguada” A.M Neville – Tecnología del concreto.

6.2.1.1.METODO

El Método utilizado para la medición de la resistencia a la compresión del concreto es el de sometimiento de especímenes cilíndricos de concreto a cargas axiales incrementales hasta la falla de la probeta cilíndrica de concreto.

La resistencia a la compresión de la probeta será la calculada de la división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección transversal horizontal de la probeta.

Este procedimiento se encuentra descrito en la norma ASTM C 39 y NTP 339.034 y fueron los utilizados para esta investigación.

6.2.1.2.EQUIPO

Máquina de ensayo: la máquina de compresión o prensa de compresión. La máquina usada para la presente investigación es la de la Universidad Católica de Santa María de la Ciudad de Arequipa.

Equipo de cabezales: Para los ensayos se utilizaron cabezales de neopreno según la norma ASTM C1231/C1231M: Práctica Normativa para El Uso de Capas No Adheridas en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido

6.2.1.3.PROBETAS

Las probetas utilizadas para los ensayos realizados fueron de 100mm de diámetro por 200mm de alto

6.2.1.4.PROCEDIMIENTO

Las probetas con sus cabezales puestos deberán ser colocadas sobre el cabezal de la máquina de ensayo, las caras de contacto tanto de la maquina como de las probetas deberán encontrarse limpias y libres de rugosidades.

Cuidadosamente alinear los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque de asentado de la máquina de compresión.

Verificar que el indicador de carga sea cero, verificar que el asiento de la maquina sobre la probeta sea uniforme.

La velocidad de carga corresponderá a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0.25 +/- 0.05 MPa/s y esta será aplicada continuamente y sin detenimiento.



Ilustración 18: Prensa hidráulica (laboratorios UCSM)

6.2.1.5. CÁLCULOS

Para el cálculo de la resistencia a la compresión del espécimen, se debe dividir la carga máxima alcanzada por el espécimen de concreto durante el ensayo entre el área promedio de la sección recta.

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}}$$

$$C = \frac{P}{A}$$

Donde:

C = Resistencia a la compresión (kg/cm²).

P = Carga de rotura en compresión (kg).

A = Área de la sección transversal (cm²).

6.2.1.6. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para los diseños con puzolana (con microsilice) y sin puzolana (con microsilice).

i. RESULTADOS PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA DISEÑO SIN PUZOLANA (MICROSILICE)

Sin Puzolana (microsilice)	Resistencia a la Compresión f'c (kg/cm ²)				
	Días de curado húmedo				
Horas de Curado en autoclave	1.00	7.00	14.00	21.00	28.00
-	145.86	384.59	507.89	658.40	673.82
2h	340.28	424.69	516.50	600.53	641.91
4h	426.08	511.74	568.39	606.99	636.78
8h	490.57	549.30	576.63	614.38	641.15

Tabla 17: Resultados Resistencia a la Compresión (Sin Microsilice) (Elaboración propia)

ii. RESULTADOS PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA DISEÑO CON PUZOLANA (MICROSILICE)

Con puzolana (Microsilice)	Resistencia a la Compresión f'c (kg/cm ²)				
	Días de curado húmedo				
Horas de Curado en autoclave	1.00	7.00	14.00	21.00	28.00
-	172.89	543.25	643.59	665.77	701.85
2h	340.84	427.04	473.76	587.05	684.23
4h	486.95	536.40	567.41	602.87	692.12
8h	593.20	610.68	640.82	655.50	720.71

Tabla 18: Resultados Resistencia a la Compresión (Con Puzolana) (Elaboración propia)

6.2.2. PESO UNITARIO

6.2.2.1. METODO

Similar al peso unitario del concreto en estado fresco, el peso unitario del concreto en estado endurecido se calcula de la misma forma, Es la relación entre el peso y volumen de cantidades definidas.

La diferencia entre los resultados de ambos ensayos radica en la presencia de agua en la mezcla, ya que en el concreto en estado fresco posee una mayor cantidad de agua que en estado endurecido. Sin embargo, puede haber variaciones en los resultados debido a la contracción del concreto y la disminución de sus dimensiones en estado endurecido lo que podría dar como resultados menores volúmenes y por ende mayores densidades o pesos unitarios.

6.2.2.2. RESULTADOS

En la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados como promedio de ambos diseños de mezcla.

Diseño de Mezcla	PU (KG/M3)
Con Puzolana (Microsilice) (CP)	2047.49
Sin Puzolana (Microsilice) (SP)	2140.63

Tabla 19: PU Estado sólido (Elaboración propia)

7. CAPITULO VII: ANALISIS DE RESULTADOS

7.1. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES DEL AGREGADO

7.1.1. RESUMEN DE RESULTADOS

ENSAYO	RESULTADO
PU suelto	1.336 g/cm ³
PU compactado	1.543 g/cm ³
Humedad	1.08%
Peso específico	2.32 gr/cm ³
Absorción	2.46%
PeSSS	2.381 gr/cm ³
Pea	2.465 gr/cm ³
Módulo de Finesa Promedio	2.94

Tabla 20: Resumen ensayo de los agregados (Elaboración propia)

7.2.COMPARACION DEL CONCRETO CURADO HUMEDO CON EL CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE

7.2.1. APARIENCIA

7.2.1.1. COLOR

A simple inspección visual los especímenes de concreto curado en autoclave denotan un color más claro que las probetas de concreto curadas con agua, lo que le da también, un aspecto más estético, para lo que puede ser el caso de acabados, distintas investigaciones, advirtieron también estas tonalidades de color.



Ilustración 19: Probeta Curada en Autoclave VS probeta curada en Agua

Al lado izquierdo puede apreciarse un espécimen de concreto que no ha sido curado en autoclave mientras a la derecha uno curado en autoclave

7.2.1.2.TEMPERATURA

Posterior al curado en autoclave los especímenes de concreto salen del recipiente a una elevada temperatura, aun después de haber descendido la temperatura del tanque hermético, por lo que este calor puede ser la causante de que las probetas se encuentren completamente secas al salir de la máquina de curado

7.2.1.3.DUREZA Y FRAGILIDAD

Otra observación importante de los especímenes curados en autoclave en comparación de los curados en condiciones húmedas, es la dureza con la que estas se muestran, Aun comparándolas con especímenes de 28 días la diferencia de dureza es notoria, basta con intentar rayarlas con un elemento de metal para notar la diferencia, las probetas curadas en autoclave son más duras que las probetas curadas en condiciones húmedas.

Esta última propiedad notoria del concreto curado en autoclave da indicios de la posible fragilidad del concreto sometido a este tipo de curado, propiedad con la que muchos autores también definen al concreto curado en autoclave.

Esta última propiedad se puede notar al momento del ensayo a la compresión de los especímenes, ya que se percibió que las probetas de concreto curadas en autoclave fallaron de una manera más explosiva y violenta, esto puede ser debido a la poca deformación que pueden ser capaces de resistir por la fragilidad que poseen.

7.2.1.4.POROSIDAD

Los especímenes de concreto curado en autoclave se notan relativamente más porosas. Esto puede deberse a la presión de vapor y las altas temperaturas que abren los poros del concreto por dilatación, de esta manera creando un tramado de microporos que, según estudios anteriores,

se comparten mejor ante esfuerzos axiales. Ya que estos se encuentran esparcidos más uniformemente en la matriz de concreto.



Ilustración 20: Poros del concreto

7.2.2. DENSIDAD

La densidad del concreto curado en autoclave se reduce ligeramente en comparación con el concreto curado en condiciones húmedas.

PU	PU Antes del Autoclave	PU Despues del Autoclave	Diferencia
CP	2085.16	2045.17	39.99
SP	2150.33	2075.88	74.45

Tabla 21: Densidad del Concreto autoclaveado (Elaboración propia)

Esta diferencia no muy significativa puede deberse únicamente a que, debido a las altas temperaturas a las que los especímenes de concreto salen de la cápsula de curado y la presión atmosférica después del curado permiten evaporar toda el agua contenida en la matriz y poros del concreto, lo cual reduce su peso.

7.2.3. RESISTENCIA

Como se mencionó anteriormente, de los dos tipos de diseño de mezclas se sometieron a distintos tipos de curados (Húmedo y en Autoclave) y a distintos tiempos de curado según el siguiente plan de curados.

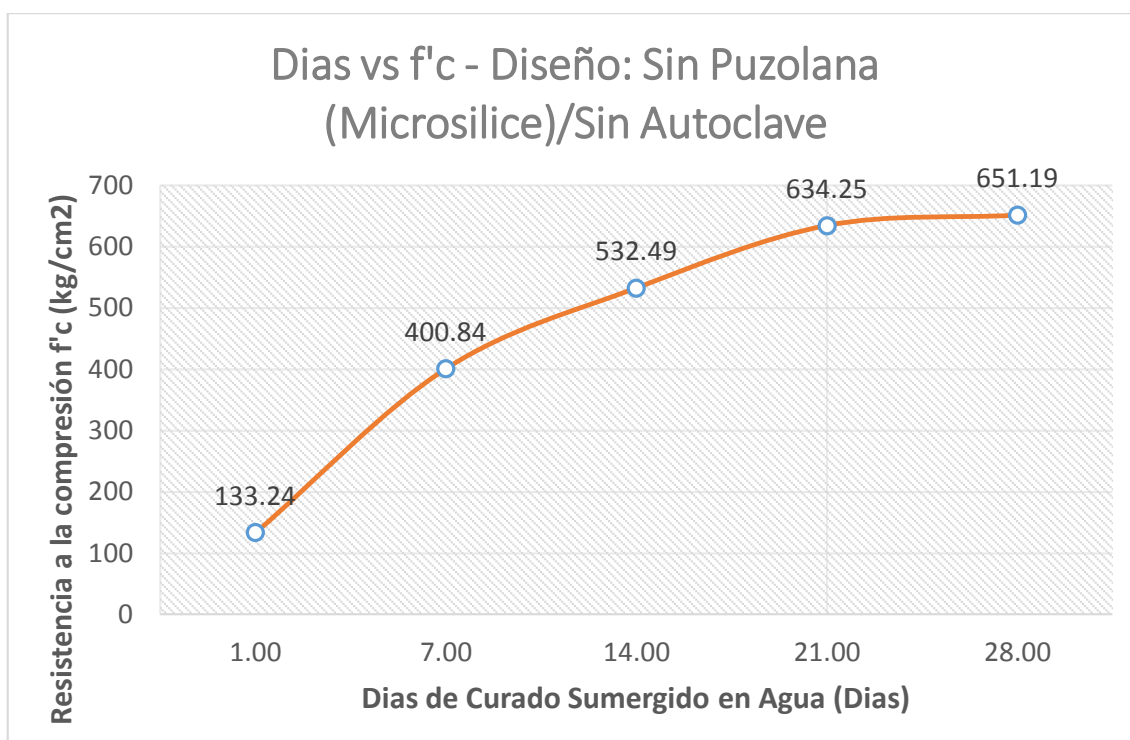


Figura 11: Curados para diseños de mezclas (Elaboración propia)

7.2.3.1. INFLUENCIA DEL CURADO EN AUTOCLAVE EN EL CONCRETO

En el presente acápite se analizarán las diferencias entre el curado en autoclave con un curado húmedo convencional.

- I. DISEÑO DE MEZCLAS SIN PUZOLANA (MICROSILICE) - SP
 - i. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA Y CURADO SUMERGIDO EN AGUA (SP/0H)



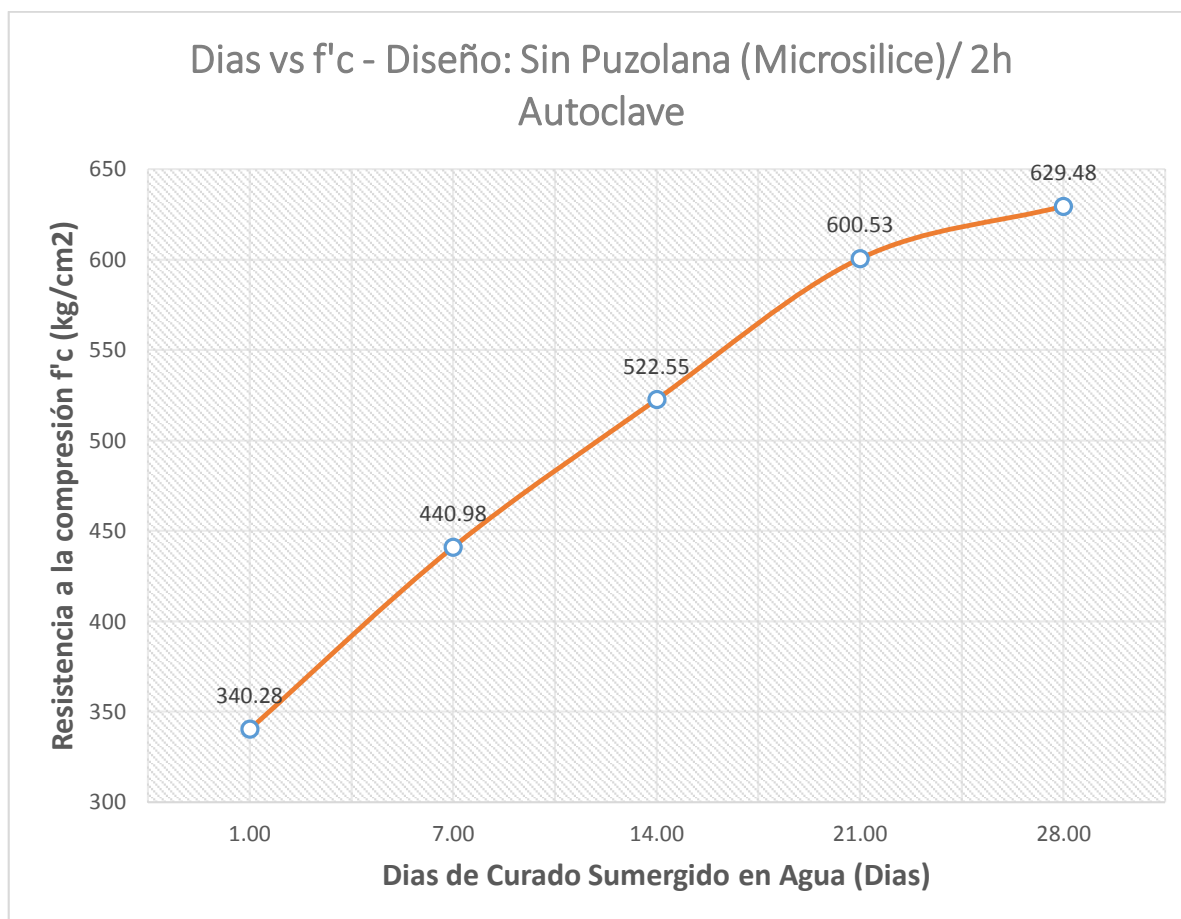
Grafica 5: Dias vs f'_c - Diseño: Sin Puzolana)/Sin Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño sin presencia de actividad puzolánica como muestra patrón, ya que este caso no fue sometido al curado en autoclave.

La máxima resistencia alcanzada a los 28 días es de 651.19 kg/cm²

Como es conocida, la curva de incremento de resistencia en el tiempo de un concreto convencional con un curado sumergido en agua convencional, se asemeja bastante a una función logarítmica.

ii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA Y CURADO EN AUTOCLAVE 2 HORAS (SP/2H)

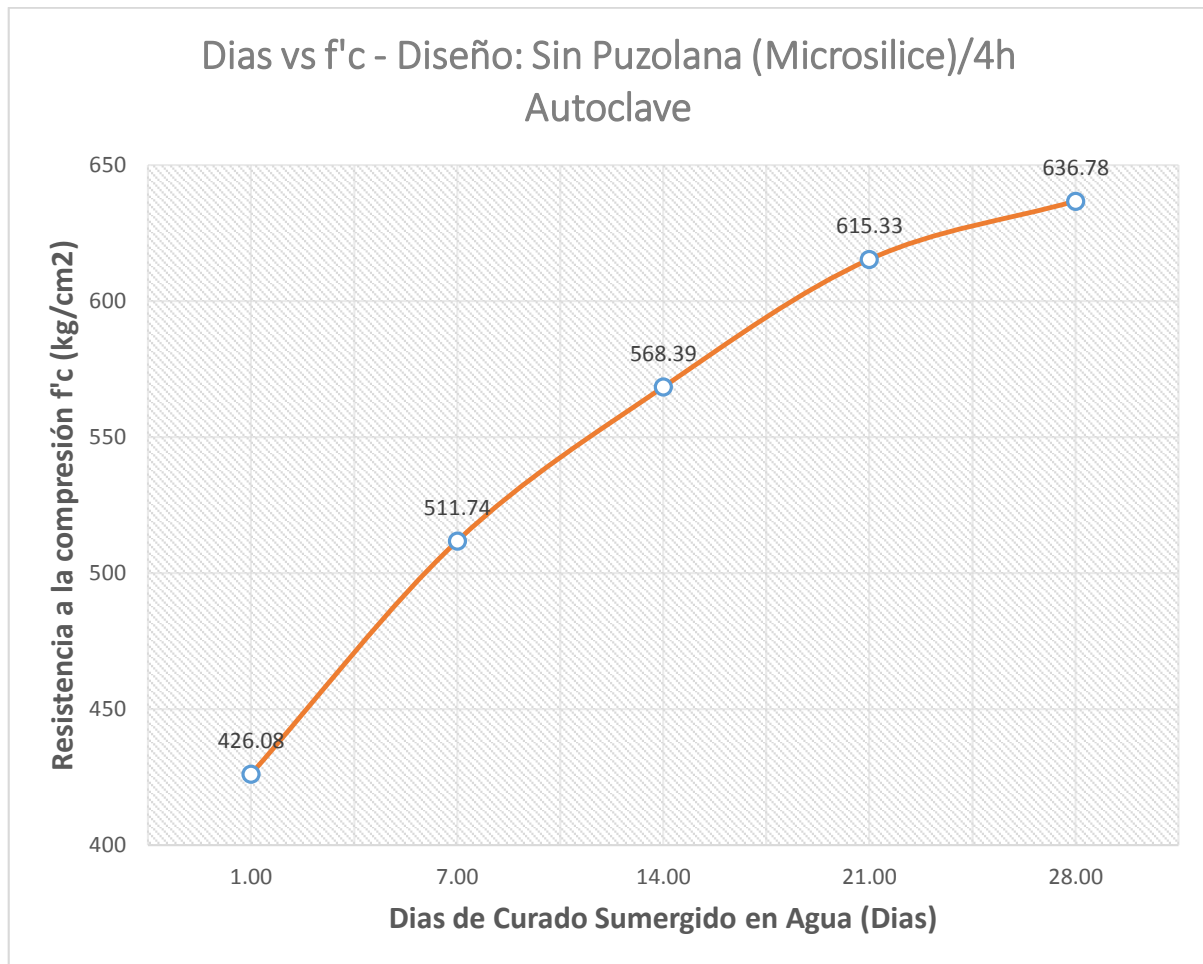


Grafica 6: Días vs f'_c - Diseño: Sin Puzolana / 2h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño sin presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 2 horas.

- Se aprecia una resistencia máxima a los 28 días de curado de 629.48 kg/cm²
- La resistencia adquirida a la salida de la máquina de autoclave es de 340.28 kg/cm²
- Se denota también una tendencia a una función logarítmica, ya que a la edad de 21 y 28 días parece entrar hacia una zona asintótica, lo que indicaría que las resistencias a futuro no se incrementarían mucho más.

iii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA Y CURADO EN AUTOCLAVE 4 HORAS (SP/4H)

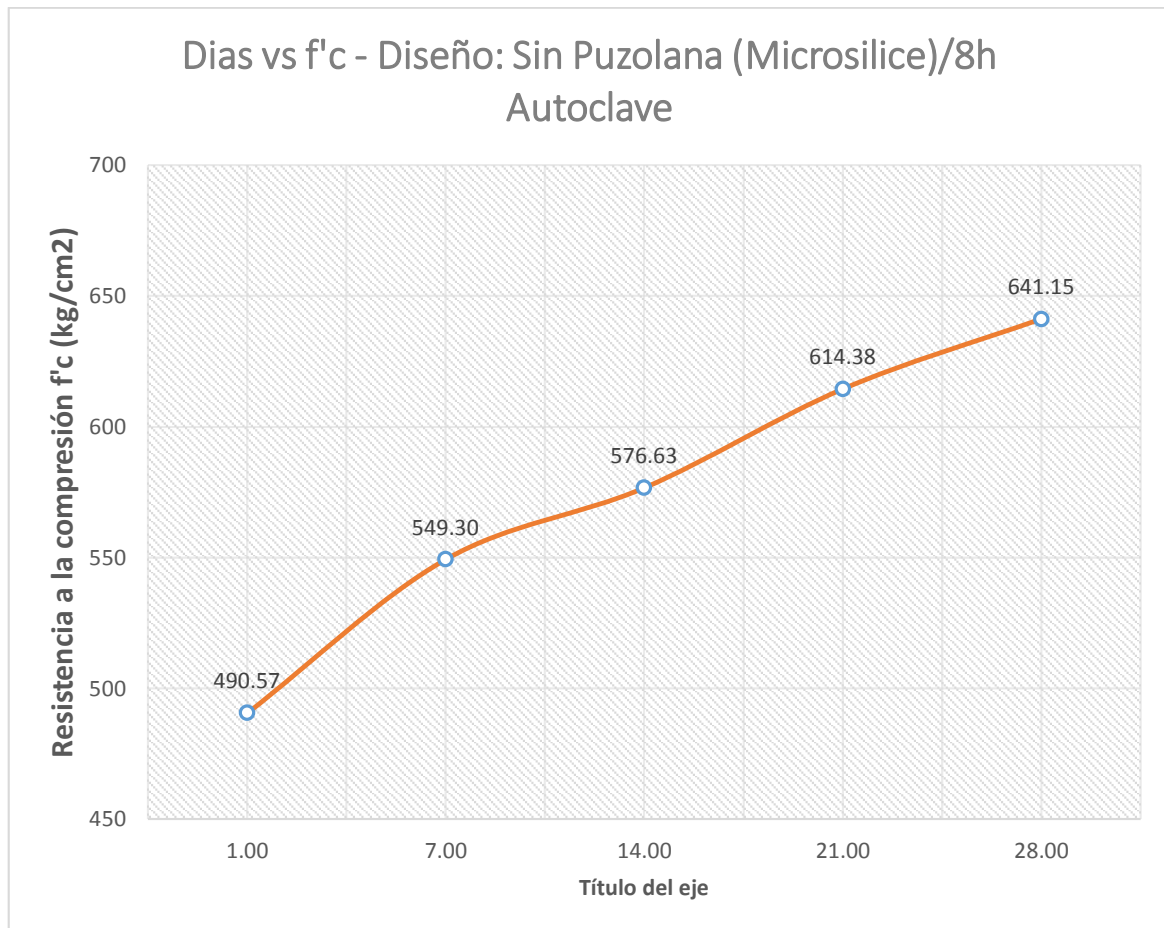


Grafica 7: Días vs f'c - Diseño: Sin Puzolana /4h Autoclave(Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño sin presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 4 horas.

- Se aprecia una resistencia máxima a los 28 días de curado de 636.78 kg/cm²
- La resistencia adquirida a la salida de la máquina de autoclave es de 426.08 kg/cm²
- Se denota también una tendencia a una función logarítmica, ya que a todas las edades parece entrar hacia una zona asintótica, lo que indicaría que las resistencias a futuro no se incrementarían mucho más.

iv. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA Y CURADO EN AUTOCLAVE 8 HORAS (SP/8H)

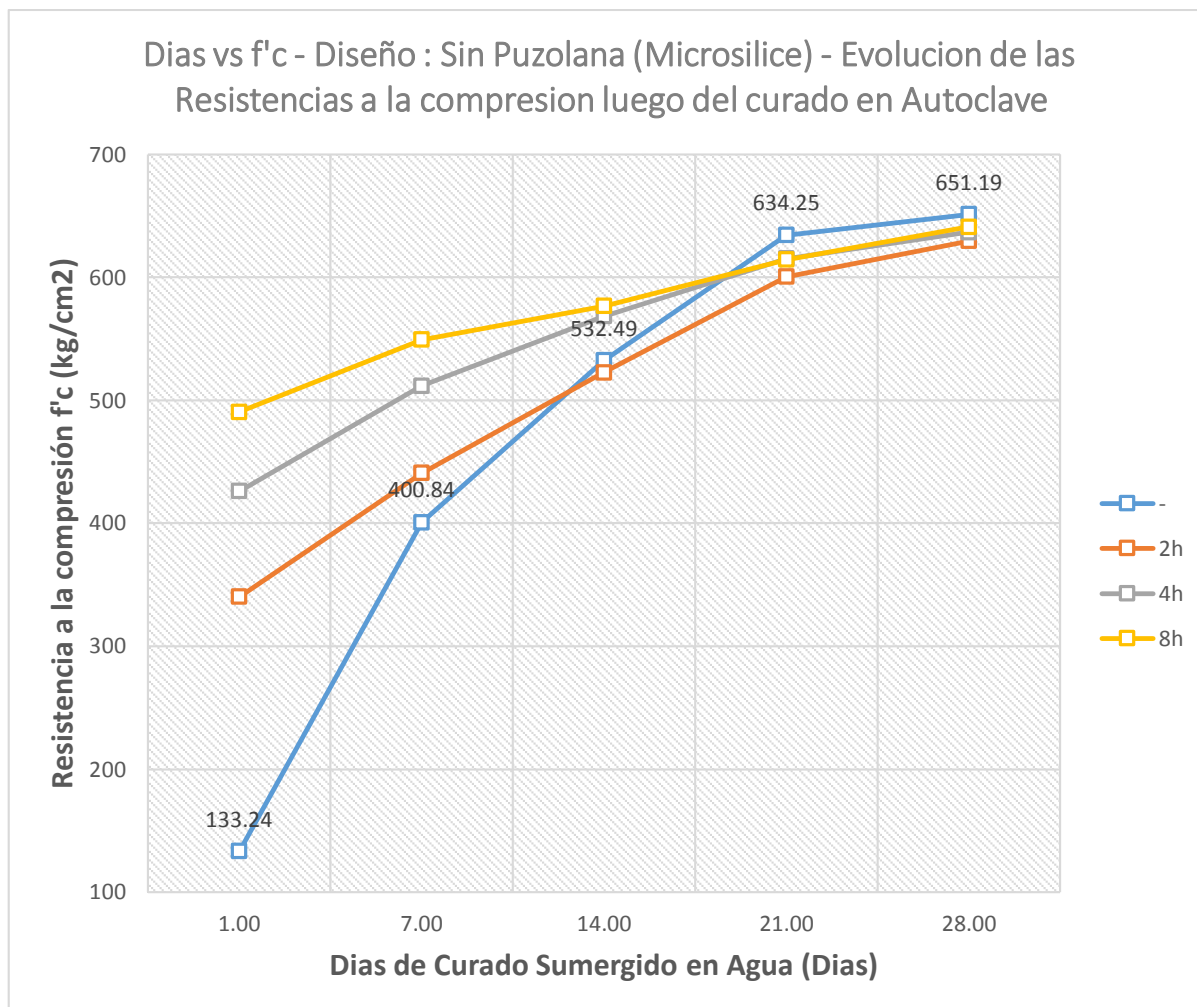


Grafica 8: Días vs f'_c - Diseño: Sin Puzolana /8h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño sin presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 8 horas.

- Se aprecia una resistencia máxima a los 28 días de curado de 641.15 kg/cm²
- La resistencia adquirida a la salida de la máquina de autoclave es de 490.57 kg/cm²
- Se denota también una tendencia a una función logarítmica, ya que a todas las edades parece entrar hacia una zona asintótica, lo que indicaría que las resistencias a futuro no se incrementarían mucho más.

- v. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA - COMPARACION DE LAS RESISTENCIAS DE 2, 4 Y 8 HORAS DE CURADO EN AUTOCLAVE CON CURADO PATRON.



Grafica 9: Días vs f'_c - Diseño : Sin Puzolana - Evolución de las Resistencia a la compresión luego del curado en Autoclave (Elaboración propia)

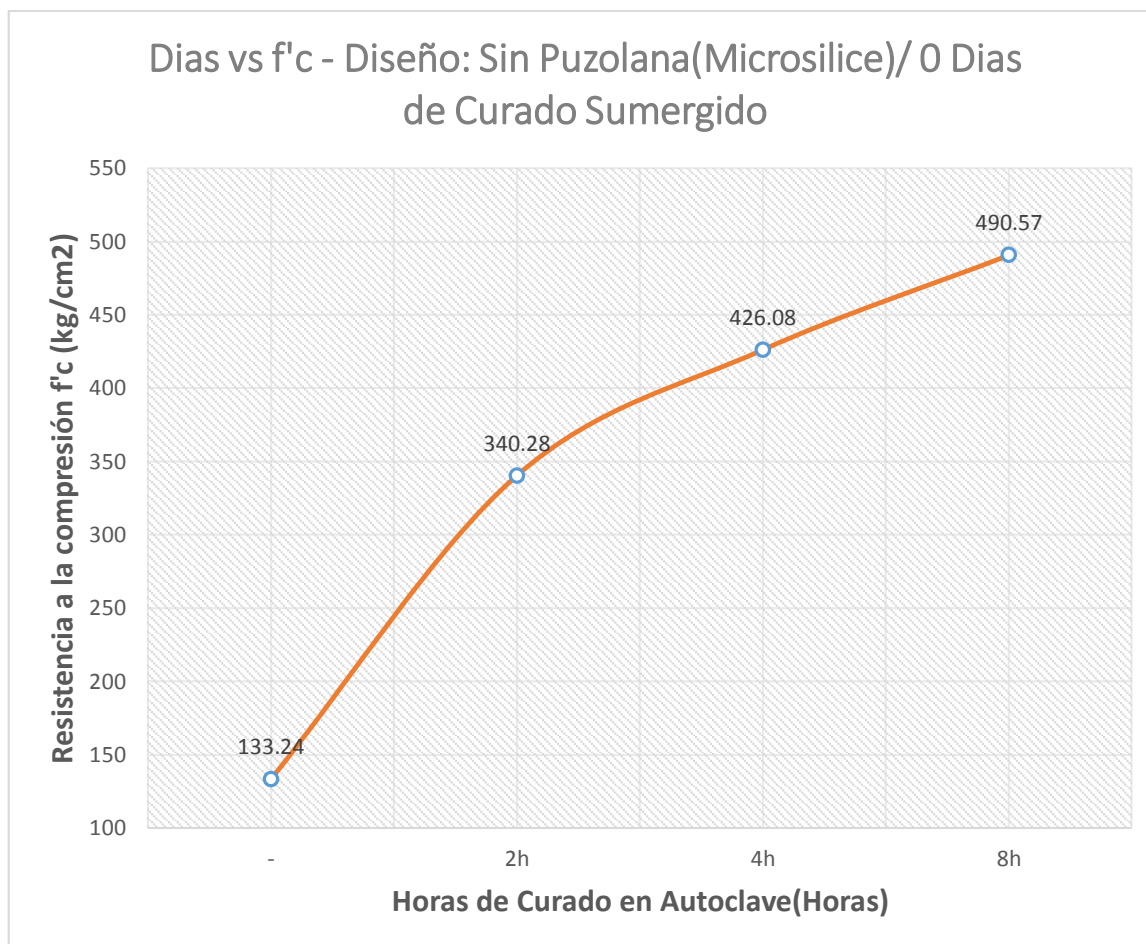
En el grafico mostrado se presenta las gráficas de resistencia a la compresión del diseño sin presencia de actividad puzolánica a sin curado en autoclave y 2, 4, y 8 horas de curado en autoclave y su incremento de resistencia a lo largo del tiempo.

- Como primer punto importante se puede apreciar que la resistencia máxima de alcanzada por todos los curados es similar a la del patrón, sin embargo resulta ser ligeramente mayor cuanto más tiempo se sometieron al curado en autoclave.
- Otro punto importante a apreciar en la gráfica es que a la edad de 21 días posterior al curado en autoclave casi todas las resistencias a distintos tiempos de exposición a la autoclave parecen converger.

- Se aprecia también que todas las curvas se asemejan a una forma logarítmica, con una tendencia asintótica en sus últimos días de edad.
- La pendiente inicial de cada curva disminuye conforme más tiempo se someten a la exposición del autoclave.
- Debido a que al final, todas las curvas se acercan a la misma resistencia, y que aun siendo sometidas a un curado en autoclave no superan las resistencias máximas, da a inferir de que el curado en autoclave, al menos para este caso de un diseño sin microsílíce, solo actúa a manera de un curado acelerado similar a un curado a vapor, al que debido a las mayores temperaturas (por la hermeticidad y la presión de vapor) supera ampliamente a un curado a vapor convencional. Pero al no superar las resistencias de un curado convencional, indica que no se producen interacciones químicas distintas a las ya conocidas.
- Finalmente puede notarse que incluso la resistencia de un curado convencional sumergido en agua supera ligeramente a las resistencias obtenidas de curados en autoclave, como muchos autores sugieren esto es normal en muchos tipos de curados acelerados.



- vi. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA – CURADO EN AUTOCLAVE / 0 DÍAS DE CURADO SUMERGIDO EN AGUA.



Grafica 10: Días vs f'_c - Diseño: Sin Puzolana / 0 Días de Curado Sumergido (Elaboración Propia)

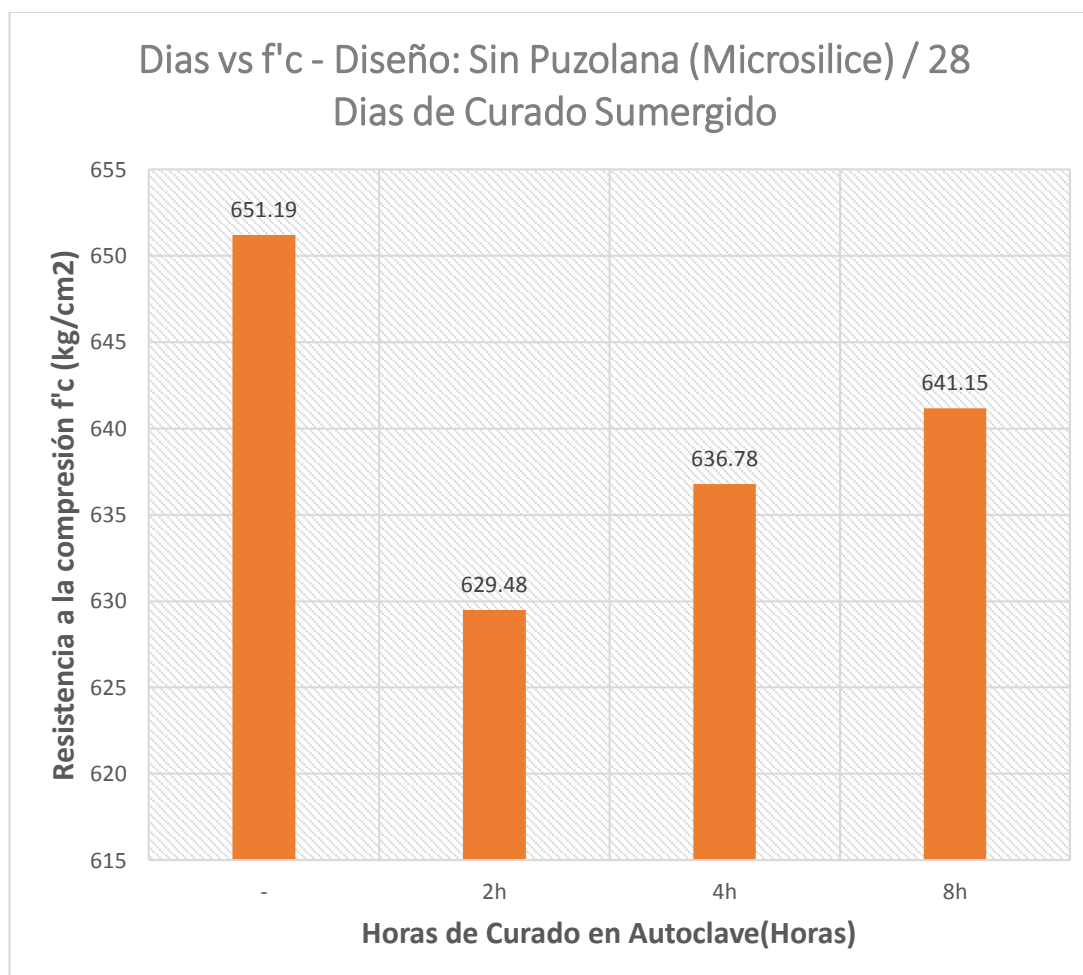
En el grafico mostrado se presenta la resistencia a la compresión del diseño sin presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la evolución de la resistencia en el interior del equipo de curado, es decir sin curado posterior al curado en autoclave.

- Se aprecia una resistencia máxima a las 8 horas de curado de 490.57 kg/cm², la cual, según la configuración de la curva, no da indicios de ser la máxima, pues se mantiene una pendiente pronunciada al final de la curva, lo que indica que a mayores tiempos de curado esta resistencia aumentaría considerablemente. Según los resultados obtenidos en otras gráficas, que indica que no superara la resistencia obtenida en un curado sumergido en agua a 28 días, la máxima resistencia sería también la obtenida por los especímenes patrón a los 28 días; esto probablemente a tiempos de curado mayor a las 8 horas en autoclave.

- Se puede notar la abismal diferencia entre un espécimen patrón y un espécimen curado 8 horas en el autoclave donde ambos tienen la misma edad (1 día) pero el espécimen sin curado en autoclave tiene una resistencia de 133.24 k/cm^2 y el que fue curado en autoclave, tiene una resistencia a la compresión de 490.57 kg/cm^2 . Como se mencionó anteriormente, esto puede no deberse a interacciones químicas debido al curado en autoclave, sino más bien al simple hecho de la aceleración de la hidratación del cemento debido a la humedad y temperatura, similar a un curado a vapor, pero a mayor intensidad.
- A pesar de la pendiente de la curva al final de esta, se denota también una tendencia de la curva hacia una línea asintótica, lo que indicaría que las resistencias a, con el paso del tiempo, alcanzarían un punto máximo.



- vii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA – CURADO EN AUTOCLAVE / 28 DIAS DE CURADO SUMERGIDO EN AGUA.



Grafica 11: Dias vs f'c - Diseño: Sin Puzolana / 28 Dias de Curado Sumergido (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia a la compresión del diseño sin presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la resistencia obtenida a la edad de 28 días posterior a diferentes tiempos de curado en autoclave.

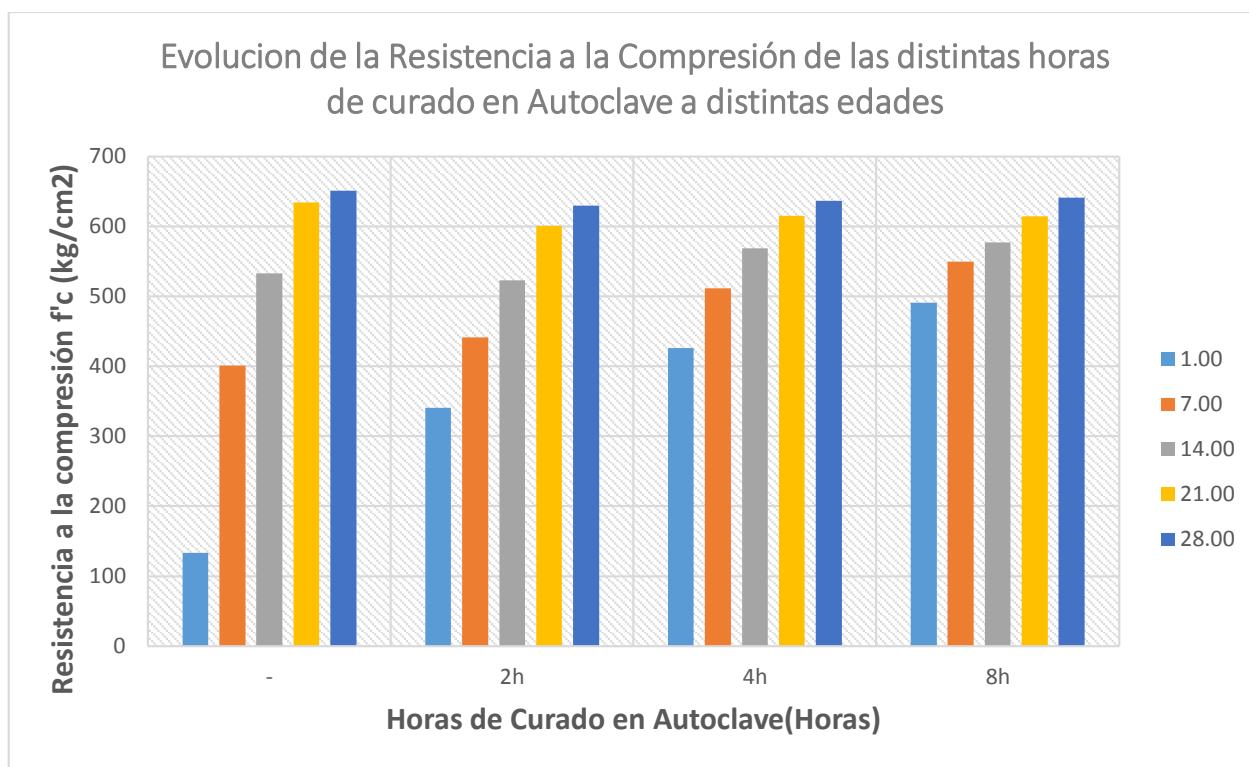
La presente grafica se muestra en forma de barras debido a que no es una curva de ganancia de resistencia a lo largo de las horas sometidas a autoclave luego de un curado a 28 días sumergido en agua, sino que muestra la resistencia a los 28 días de extraídas del autoclave, a distintas horas de curado.

- La observación más evidente es que la máxima resistencia alcanzada es de la muestra curada de manera convencional sumergida en agua, sin embargo esta variación de resistencias no es de una magnitud determinante.

- Se aprecia que a mayor tiempo sometido al autoclave mayor resistencia alcanza a la edad de 28 días. Sin embargo, esta conclusión, debido a la baja magnitud de las variaciones, tampoco es determinante, pero puede deberse a la calidad del autoclave, ya que algunos autores califican a un curado menor de 4 horas en autoclave como incompleto.



viii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA – COMPARACION GENERAL DISTINTOS TIEMPOS DE CURADO EN AUTOCLAVE Y CURADO SUMERGIDO



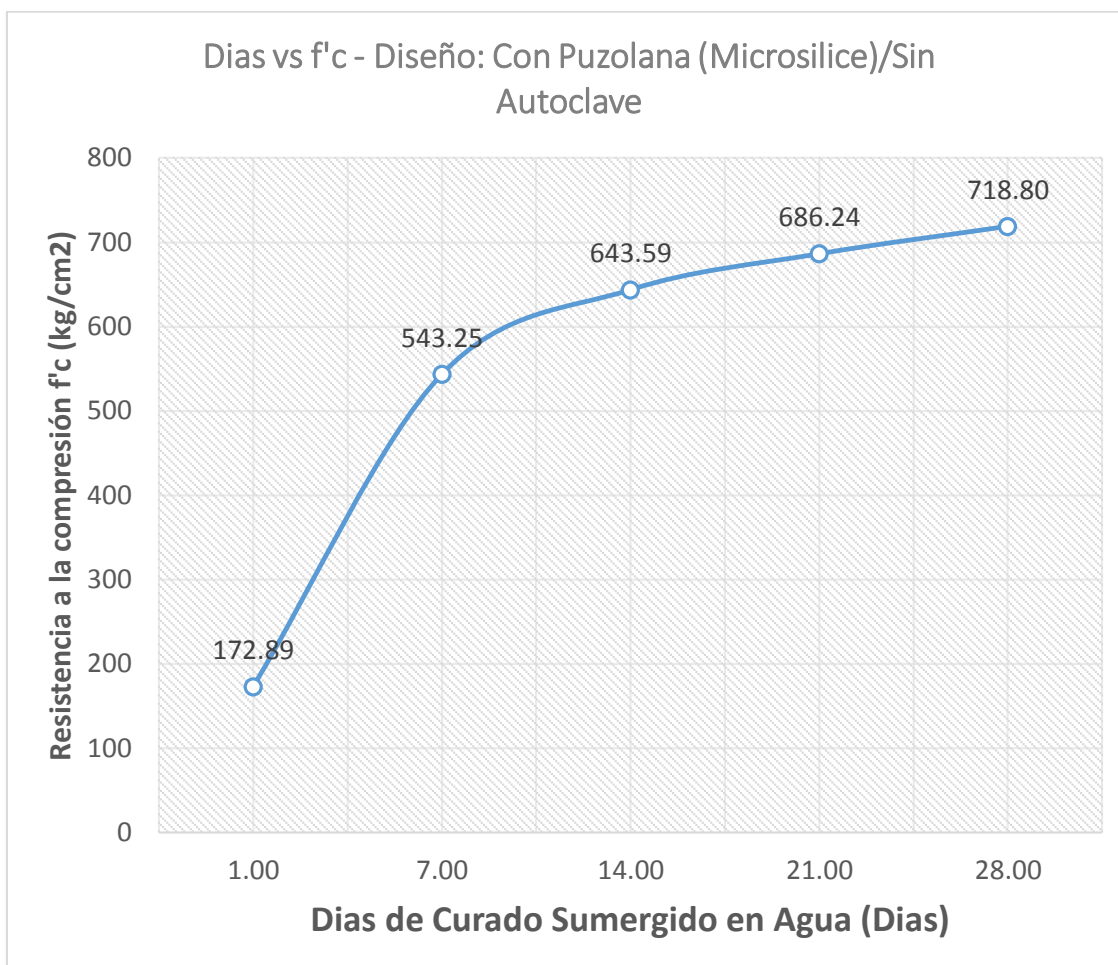
Grafica 12: Evolución de la Resistencia a la Compresión de las distintas horas de curado en Autoclave a distintas edades (Elaboración Propia)

El grafico mostrado presenta la resistencia a la compresión del diseño sin presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la resistencia obtenida a la edad de 1, 7, 14, 21 y 28 días posterior a diferentes tiempos de curado en autoclave.

Se puede apreciar que el curado en autoclave en tiempos de 2 y 4 horas muestran resultados bastante similares, a todas las edades, con los de un curado convencional sumergido en agua, a excepción de la edad de 1 día, por lo que podría definirse como un curado efectivo para este tipo de diseño de mezcla, siempre tomando en cuenta que este tipo de curado con este tipo de diseño da indicios de que no superará la resistencia máxima obtenida por los especímenes patrón.

II. DISEÑO DE MEZCLAS CON PUZOLANA (MICROSILICE) (CP)

i. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA Y CURADO SUMERGIDO EN AGUA (CP/0H)



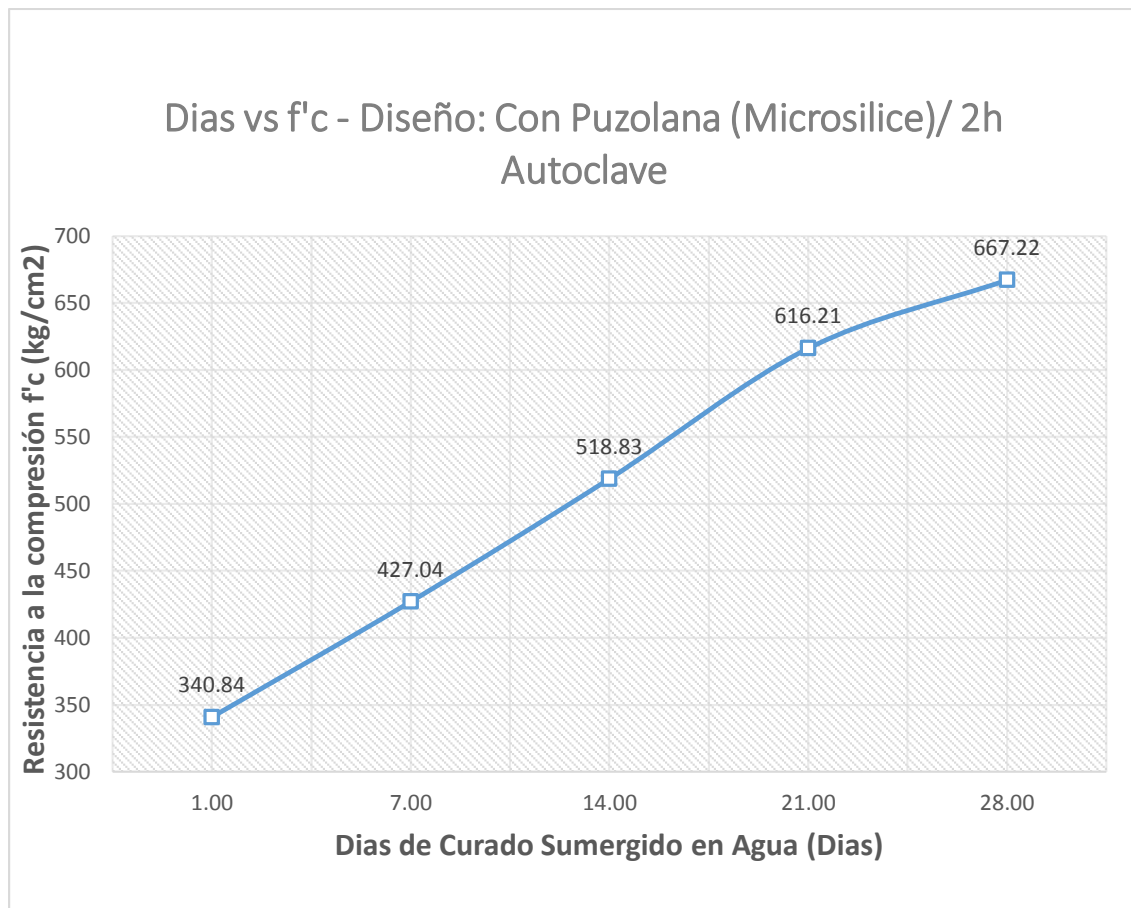
Grafica 13: Dias vs f'_c - Diseño: Con Pozolana/Sin Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño con presencia de actividad puzolánica como muestra patrón, ya que este caso no fue sometido al curado en autoclave.

La resistencia alcanzada a los 28 días es de 718.18 kg/cm², sin embargo, esta resistencia pareciera no ser la definitiva pues, por la configuración de la curva que mantiene una pendiente al final de esta, indica que todavía alcanzara mayores resistencias. Esto en definitiva se debe a la presencia de la puzolana.

La resistencia inmediata alcanzada al día siguiente de vaciada es de 172.89 kg/cm².

ii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA Y CURADO EN AUTOCLAVE 2 HORAS (CP/2H)

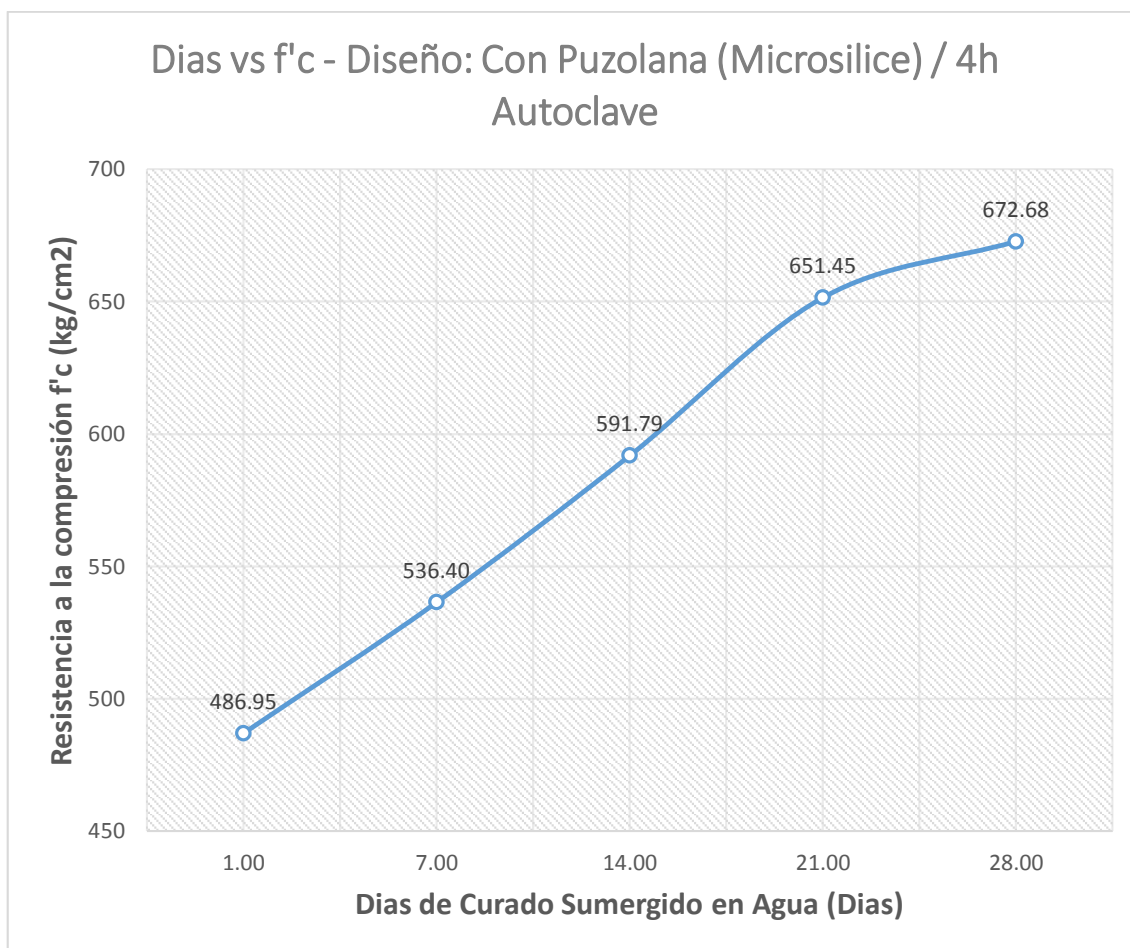


Grafica 14: Días vs f'_c - Diseño: Con Pozolana / 2h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño con presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 2 horas.

- Se aprecia una resistencia máxima a los 28 días de curado de 667.22 kg/cm²
- La resistencia adquirida a la salida de la máquina de autoclave es de 340.84 kg/cm²
- Se denota también una tendencia casi lineal de la gráfica, lo que indica que la resistencia continuará aumentando pasado los 28 días, Sin embargo a la edad de 28 días ya empieza a decaer la pendiente.

iii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA Y CURADO EN AUTOCLAVE 4 HORAS (CP/4H)

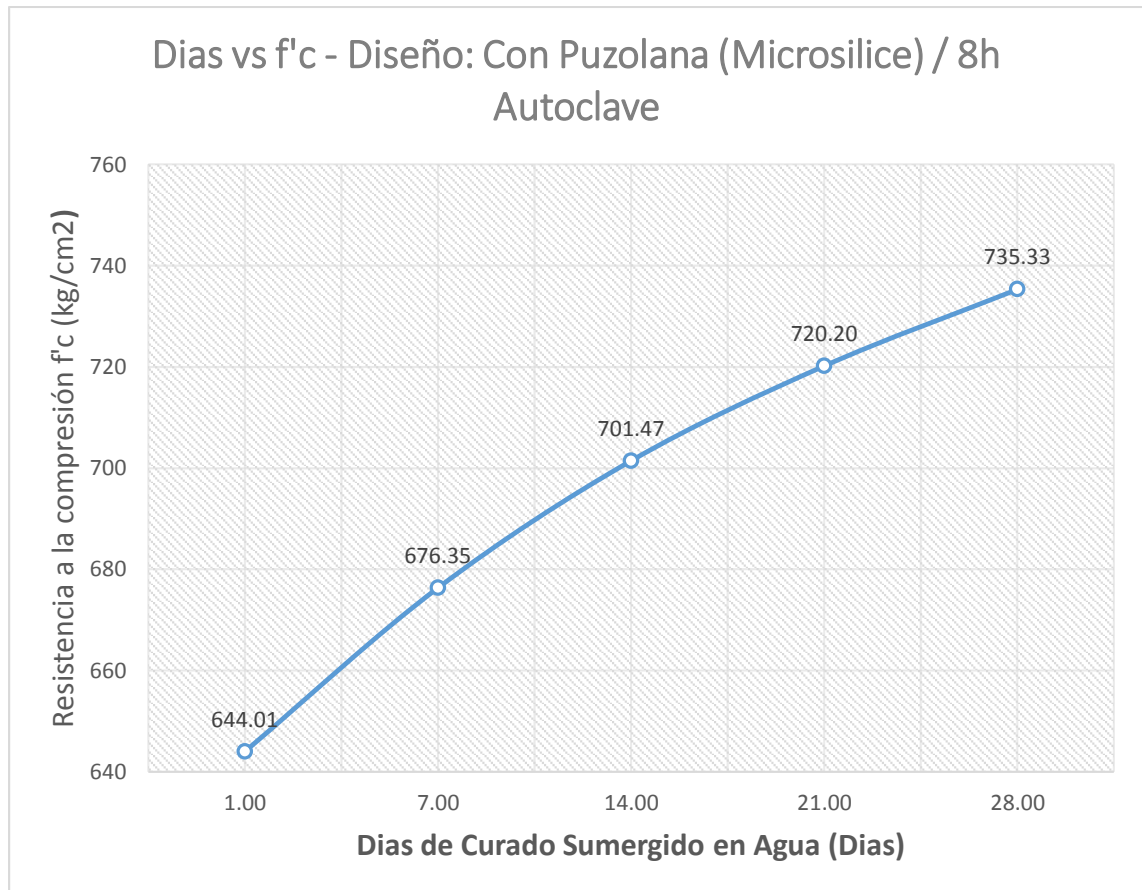


Grafica 15: Días vs f'_c - Diseño: Con Pozolana / 4h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño con presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 4 horas.

- Se aprecia una resistencia máxima a los 28 días de curado de 672.68 kg/cm²
- La resistencia adquirida a la salida de la máquina de autoclave es de 486.95 kg/cm²
- Se denota también una tendencia casi lineal de la gráfica, lo que indica que la resistencia continuará aumentando pasado los 28 días. Sin embargo, a esta edad de 28 días la pendiente de la curva empieza a disminuir por lo que el incremento de resistencia será más lento.

iv. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA Y CURADO EN AUTOCLAVE 8 HORAS (CP/8H)

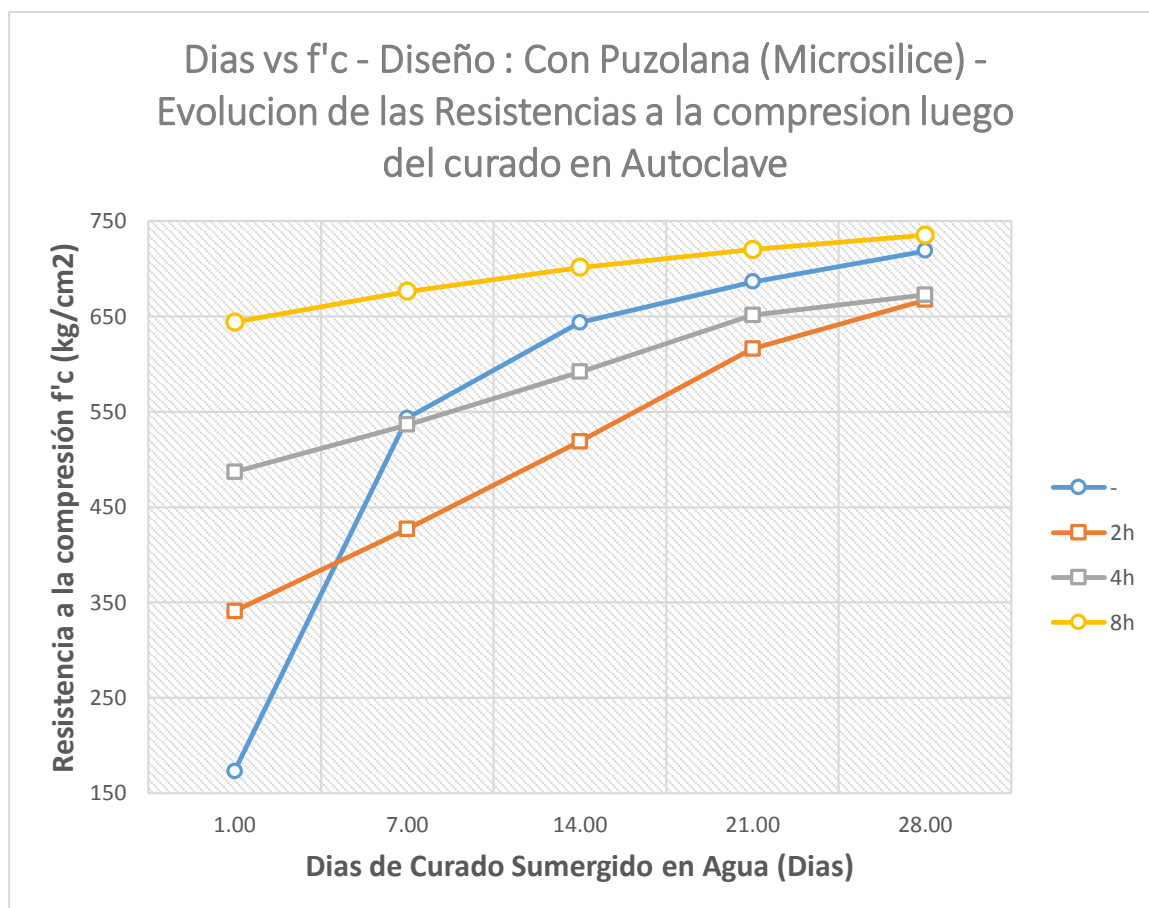


Grafica 16: Días vs f'_c - Diseño: Con Pozolana / 8h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño con presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 8 horas.

- Se aprecia una resistencia máxima a los 28 días de curado de 735.33 kg/cm²
- La resistencia adquirida a la salida de la máquina de autoclave es de 644.01 kg/cm².
- Se denota también una tendencia ligeramente logarítmica, lo que indica que la resistencia continuará aumentando pasado los 28 días, pero el incremento será de una manera más lenta.

- v. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA - COMPARACION DE LAS RESISTENCIAS DE 2, 4 Y 8 HORAS DE CURADO EN AUTOCLAVE CON CURADO PATRON.



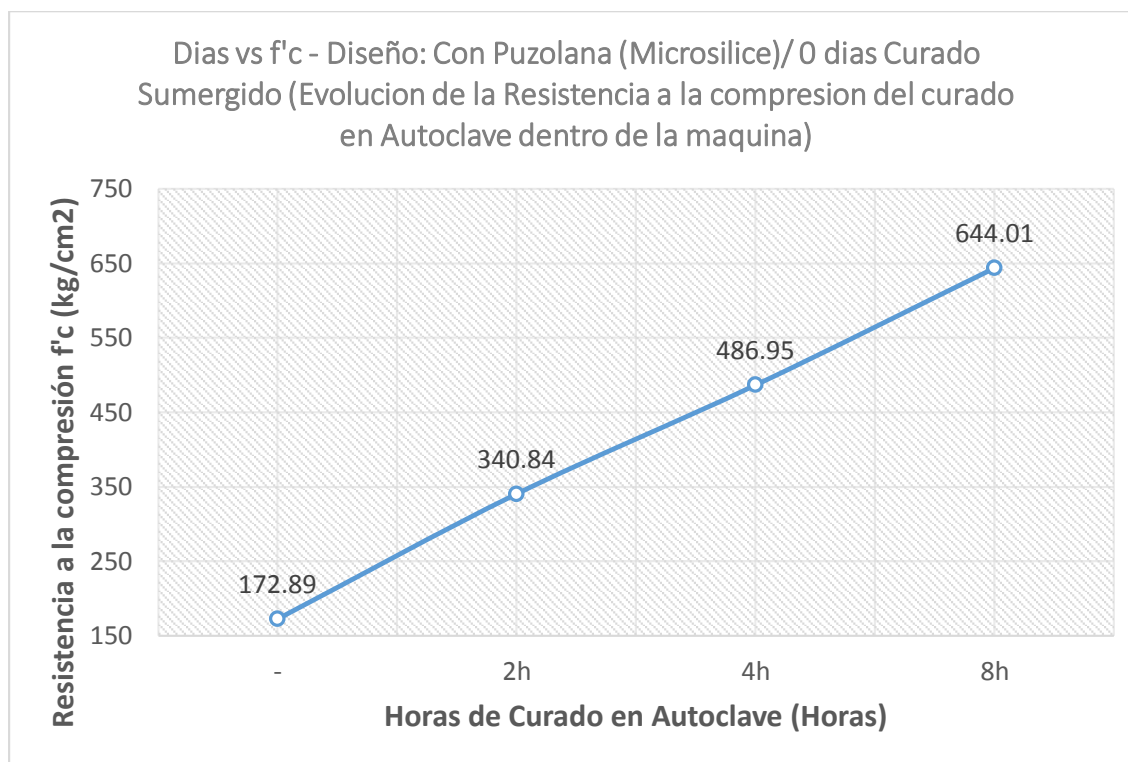
Grafica 17: Días vs f'_c - Diseño : Con Puzolana - Evolución de las Resistencias a la compresión luego del curado en Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta las gráficas de resistencia a la compresión del diseño con presencia de actividad puzolánica a un curado en autoclave y 2, 4, y 8 horas de curado en autoclave y su incremento de resistencia a lo largo del tiempo.

- Como primer punto importante se puede apreciar que la resistencia máxima alcanzada por todos los curados es similar a la del patrón, sin embargo las resistencias de los curados de 2 y 4 horas no llegan a alcanzar la resistencia de la curva patrón.
- Se aprecia también que todas las curvas indican que la resistencia aumentará más allá de la edad de 28 días.

- A medida que se incrementa el tiempo de curado en autoclave las resistencias posteriores a lo largo del tiempo tienden a reducir su pendiente de incremento de resistencia, es así que a un curado de 8 horas en autoclave parece, en su totalidad, encontrarse ya en la zona asintótica de una función logarítmica. Esto se puede deber a que el efecto de fijación de la cal debido al autoclave, empieza a fijar casi por completo los hidróxidos de calcio liberados de la hidratación del cemento, sin embargo, la ganancia de resistencia posterior al curado en autoclave de 8 horas indica que todavía quedan moléculas de cal libres sin ser fijadas. Esto puede indicar que a mayor tiempo de curado en autoclave la resistencia aumentaría todavía más.
- Por la configuración y comparación de las curvas se puede inferir que un curado de 2 y 4 horas a pesar de ganar una rápida y elevada resistencia inicial (1 día de edad), a edades posteriores a los aproximadamente 7 días, se ven superadas por un curado convencional sumergido en agua, esta superioridad de resistencia del curado convencional prevalece de ahí en adelante.
- Finalmente puede notarse que un curado de 8 horas en autoclave a la edad de 1 día supera ampliamente a un curado convencional sumergido en agua en una magnitud de 5 a 1.

vi. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA – CURADO EN AUTOCLAVE / 0 DÍAS DE CURADO SUMERGIDO EN AGUA.



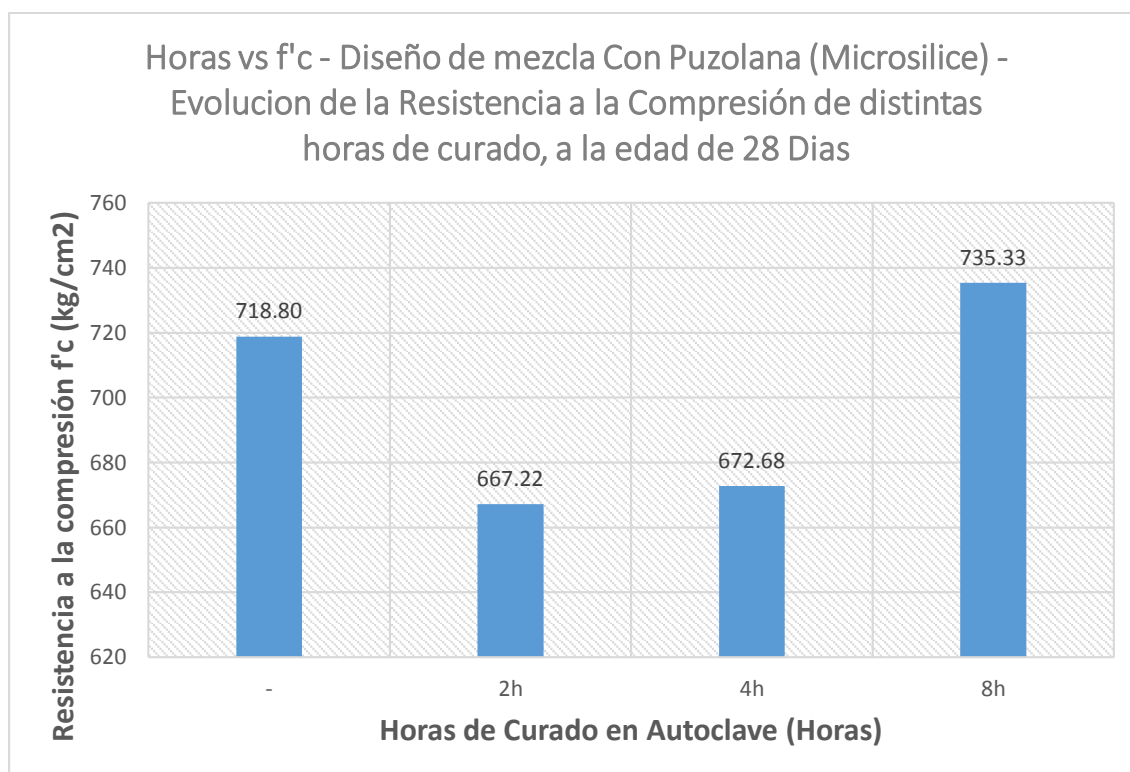
Grafica 18: Días vs f'_c - Diseño: Con Pozolana/ 0 días Curado Sumergido (Evolución de la Resistencia a la compresión del curado en Autoclave dentro de la maquina) (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia a la compresión del diseño con presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la evolución de la resistencia en el interior del equipo de curado, es decir sin curado sumergido en agua posterior al curado en autoclave a la edad de 1 día.

- Se aprecia una resistencia máxima a las 8 horas de curado de 644.01 kg/cm², la cual, según la configuración de la curva, no da indicios de ser la máxima, pues se mantiene una pendiente pronunciada, lo que indica que a mayores tiempos de curado esta resistencia aumentaría considerablemente.
- Se puede notar la considerable diferencia entre un espécimen patrón y un espécimen curado 8 horas en el autoclave donde ambos tienen la misma edad (1 día) pero el espécimen sin curado en autoclave tiene una resistencia de 172.89 kg/cm² y el que fue curado en autoclave, tiene una resistencia a la compresión de 644.01 kg/cm². Esto puede deberse a interacciones químicas debido al curado en autoclave, ya que como se mencionó anteriormente este tipo de curado fija la cal liberada en la hidratación del cemento.

- Se percibe la forma casi lineal de la gráfica, esto indica que la resistencia continuara subiendo a mayores tiempos de curado.

vii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA – CURADO EN AUTOCLAVE / 28 DIAS DE CURADO SUMERGIDO EN AGUA.



Grafica 19: Horas vs f'_c - Diseño de mezcla Con Pozolana - Evolucion de la Resistencia a la Compresión de distintas horas de curado, a la edad de 28 Dias (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia a la compresión del diseño con presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la resistencia obtenida a la edad de 28 dias posterior a diferentes tiempos de curado en autoclave.

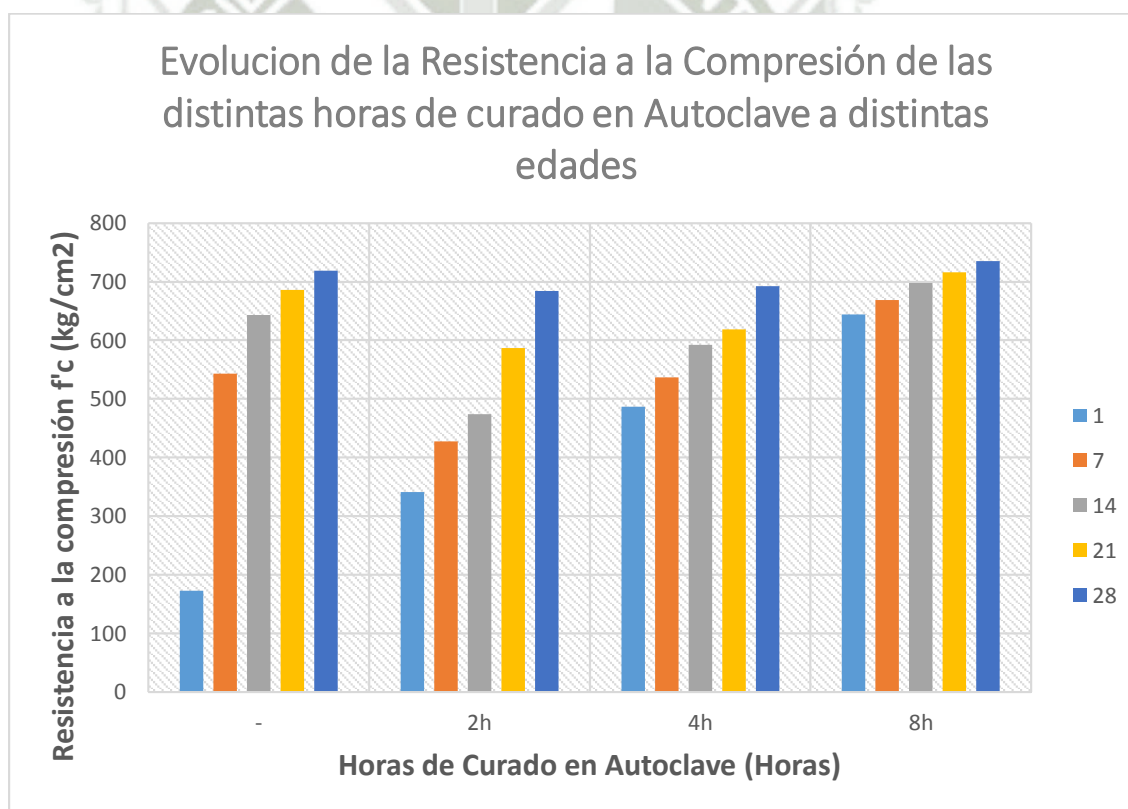
La presente grafica se muestra en forma de barras debido a que no es una curva de ganancia de resistencia a lo largo de las horas sometidas a autoclave luego de un curado a 28 días sumergido en agua, sino que muestra la resistencia a los 28 días de extraídas del autoclave, a distintas horas de curado.

- A primera viste se puede observar que la mayor resistencia obtenida a la edad de 28 días, es de las muestras curadas en autoclave durante 8 horas, sin embargo analizando las gráficas anteriores se concluyó que en todos los casos de curados, incluyendo las muestras de curado convencional, aumentarían su resistencia más allá de los 28 días, por lo que no se puede determinar la resistencia máxima

alcanzada por este diseño, aun así, se puede concluir que el curado en autoclave además de acelerar el curado por hidratación del cemento, brinda mayores resistencias en comparación a las de un curado convencional sumergido en agua, pero esta diferencia solo puede notarse en un curado en autoclave de 8 horas o más tiempo.

- Se aprecia que a mayor tiempo sometido al autoclave mayor resistencia alcanza a la edad de 28 días. Sin embargo, esta conclusión, debido a la baja magnitud de las variaciones, tampoco es determinante, pero puede deberse a la calidad del autoclave, ya que algunos autores califican a un curado menor de 4 horas en autoclave como incompleto.

viii. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – DISEÑO DE MEZCLA SIN PUZOLANA – COMPARACION GENERAL DISTINTOS TIEMPOS DE CURADO EN AUTOCLAVE Y CURADO SUMERGIDO



Grafica 20: Evolución de la Resistencia a la Compresión de las distintas horas de curado en Autoclave a distintas edades (Elaboración Propia)

El grafico mostrado presenta la resistencia a la compresión del diseño con presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la resistencia obtenida a la edad de 1, 7, 14, 21 y 28 días posterior a diferentes tiempos de curado en autoclave.

A las 2 y 4 horas de curado en autoclave se percibe que a ninguna edad, excepto 1 día, llega a alcanzar la resistencias de las resistencias alcanzadas por el curado convencional sumergido en agua, mientras que con un curado de 8 horas se mejoran las resistencias a todas las edades.

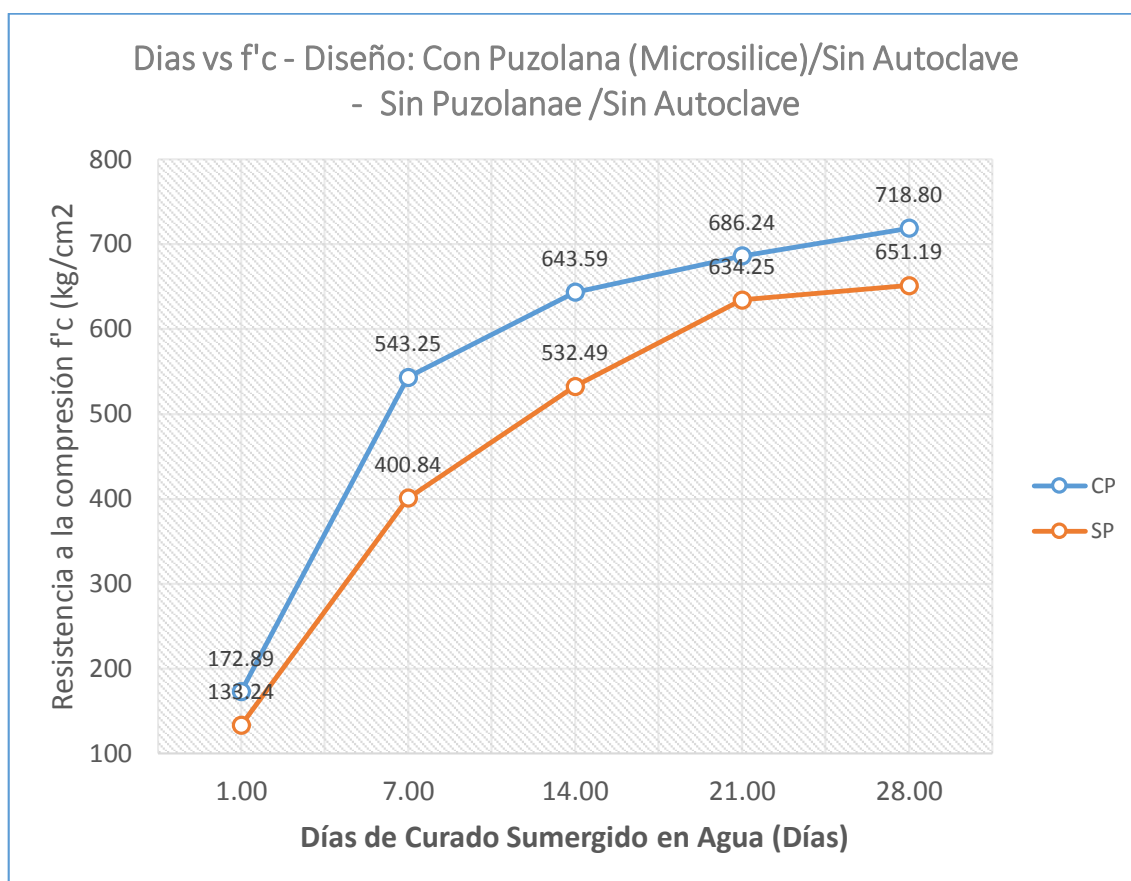
Esto puede deberse al tipo de curado incompleto a 2 y 4 horas de curado en autoclave que inclusive a 28 días no supera la resistencia alcanzada por un curado convencional sumergido en agua.



7.3. INFLUENCIA DE LA PUZOLANA EN UN CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE

7.3.1. RESISTENCIA

7.3.1.1. COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO SUMERGIDO EN AGUA - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/0H VS SP/0H)



Grafica 21: Dias vs f'_c - Diseño: Con Puzolana/Sin Autoclave - Sin Puzolana/Sin Autoclave (Elaboración Propia)

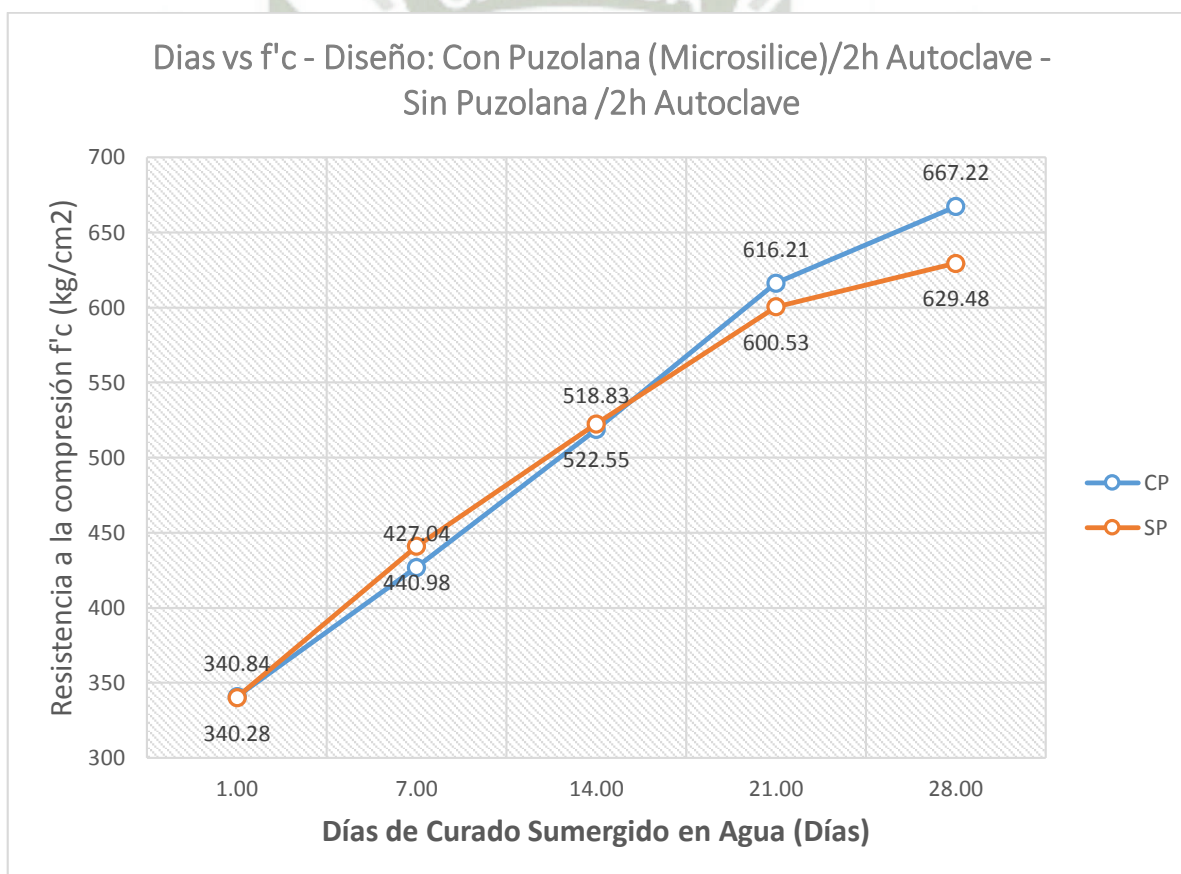
En este grafico se observa la influencia de la puzolana en un concreto curado convencionalmente sumergido en agua.

Como es sabido, la microsilíce proporciona una elevada resistencia inicial en comparación con un concreto sin adiciones, pero se puede notar que a una edad aproximada de 21 días las resistencias entre ambos diseños se asemejan bastante, esto se debe a la disminución de la velocidad de ganancia de resistencia del diseño con microsilíce a partir de edades de 14 días. Sin embargo, se puede notar también que el diseño sin microsilíce a la edad de 28 días, la curva parece tomar una forma asintótica,

mientras que la pendiente de la curva del diseño con microsilíce parece seguir constante, por lo que esto indica una ganancia de resistencia más allá de los 28 días para el caso de un concreto adicionado con microsilíce.

Esta continua ganancia de resistencia más allá de los 28 días puede deberse a que todavía existen moléculas de hidróxido de calcio libres sin ser fijadas por la puzolana. Mientras que un concreto sin adición de microsilíce, prácticamente completa su hidratación del cemento a los 28 días.

7.3.1.2. COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO EN AUTOCLAVE 2 HORAS - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/2H VS SP/2H)



Grafica 22: Días vs f'_c - Diseño: Con Puzolana/2h Autoclave - Sin Puzolana/2h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño con y sin presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 2 horas de duración.

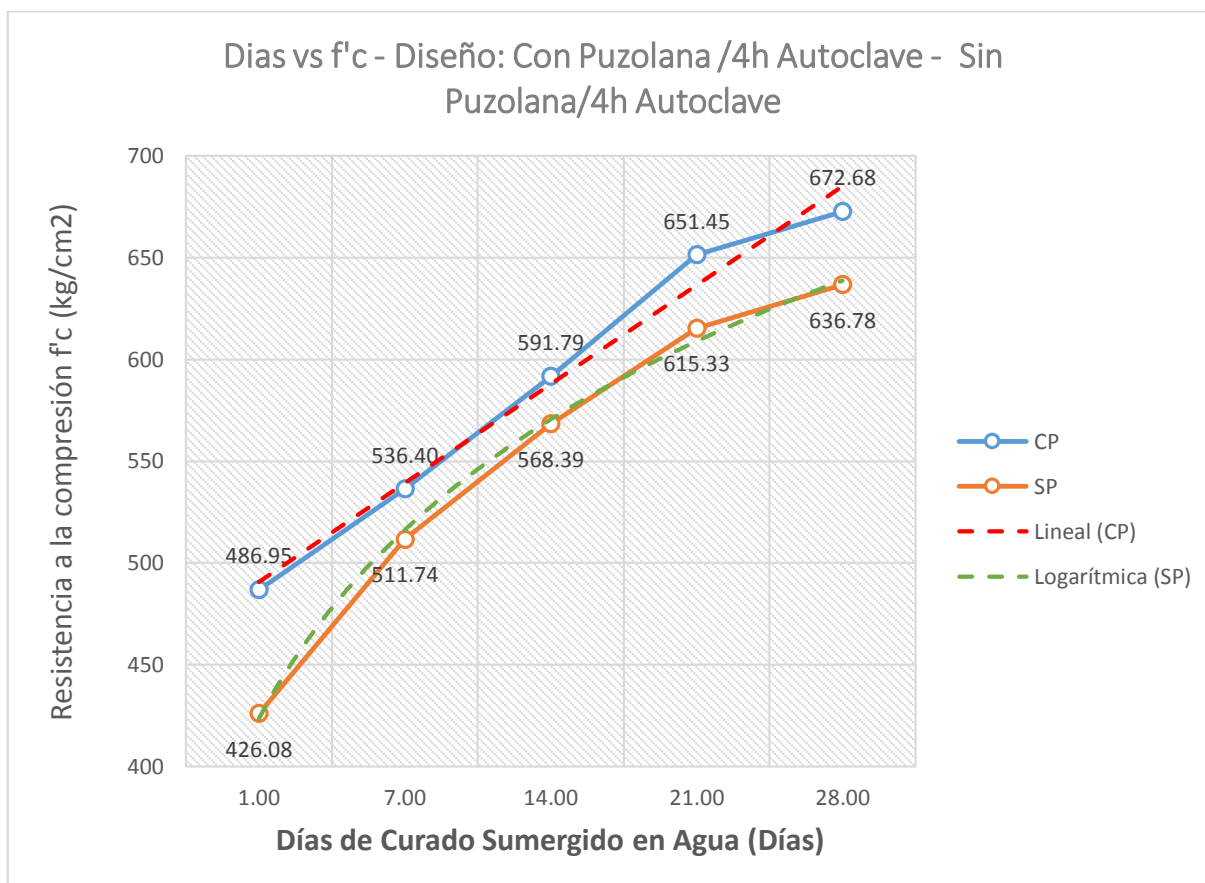
Se puede notar que las resistencias durante los primeros 14 días de edad ambos concretos presentan resistencias a la compresión bastante similares, una posible explicación de este comportamiento similar es que en curado de 2 horas en autoclave no sería suficiente tiempo para lograr activar las propiedades aceleradas de la fijación de las moléculas de hidróxido de calcio por la puzolana. Sin embargo, se ve que, con el tiempo, a la edad de 21 días, la diferencia entre los valores de la resistencia a la compresión entre ambos tipos de concreto empieza a tomar una brecha de separación, ambas curvas empiezan a tomar una forma asintótica pero el diseño de mezclas con presencia de Puzolana presenta una mayor pendiente y por lo tanto un incremento de resistencia más acelerado.

En todos los casos mostrados anteriormente, se aprecia que el curado en autoclave genera una rápida ganancia de resistencia inicial, sin embargo, a lo posterior reduce la velocidad de ganancia de resistencia.

Se puede notar que aun a edades mayores a los días el concreto con presencia de Puzolana continuará ganando resistencia, lo que indica que posiblemente recién la puzolana este empezando a fijar la cal liberada en la hidratación del cemento.

Así mismo la ganancia de resistencia del diseño sin presencia de Puzolana entra a una tendencia asintótica, por lo que la ganancia de resistencia casi se encuentra finalizando, esto debido a que la hidratación del cemento finalizó.

7.3.1.3. COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO EN AUTOCLAVE 4 HORAS - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/4H VS SP/4H)



Grafica 23: Días vs f'_c - Diseño: Con Puzzolana/4h Autoclave - Sin Puzzolana/4h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño con y sin presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 4 horas de duración.

Para este caso de un autoclave de 4 horas ya se nota una diferencia significativa en la ganancia de resistencia a todas las edades a partir del curado en autoclave.

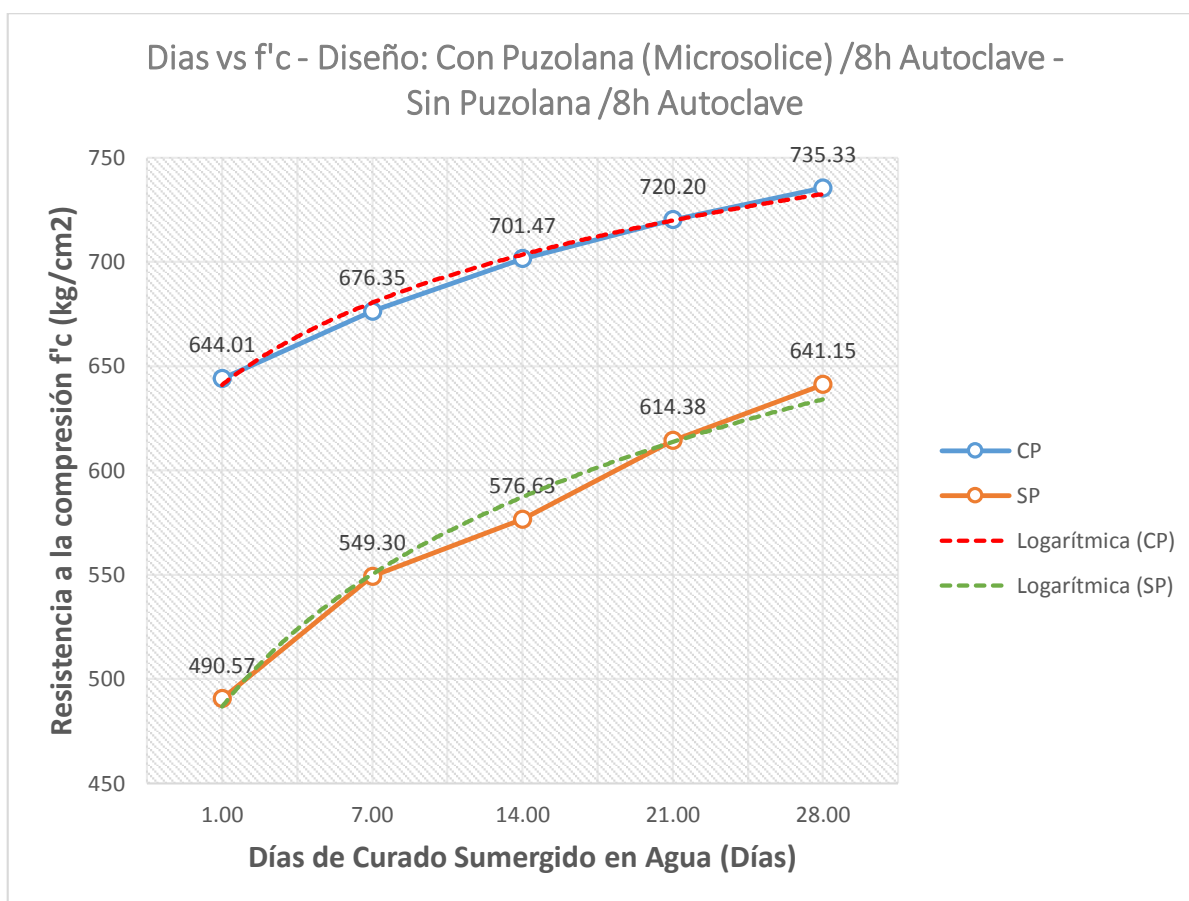
La resistencia inicial al momento de extracción del equipo de curado en autoclave del diseño de mezclas con adición de puzolana es considerablemente mayor que la del diseño sin presencia de puzolana, esta indica que con un tiempo de exposición de 4 horas en el autoclave la puzolana ya empezó a fijar la cal liberada de la hidratación del cemento. Sin embargo, la tendencia lineal de la gráfica y aun ligeramente pronunciada es indicador de la posterior ganancia de resistencia por fijación de la puzolana con la cal.

La curva de incremento de resistencia de las muestras sin adición de puzolana se puede representar por una curva logarítmica entrando a una zona asintótica, lo que indicaría una reducción de la velocidad del incremento de resistencia.

Se puede notar que debido a la pendiente existente a la edad de 28 días, en la curva representativa de las muestras con adición de puzolana, indicaría que todavía existirá incremento de resistencia a edades posteriores. Por lo que un curado a mayores tiempos de exposición en autoclave podría mejorar las resistencias a edades de 1 día.



7.3.1.4. COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – CURADO EN AUTOCLAVE 8 HORAS - DISEÑO DE MEZCLA CON PUZOLANA VS SIN PUZOLANA (CP/8H VS SP/8H)



Grafica 24: Días vs f'_c - Diseño: Con Puzolana/8h Autoclave - Sin Puzolana/8h Autoclave (Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia del diseño con y sin presencia de actividad puzolánica con un curado en autoclave de 8 horas de duración.

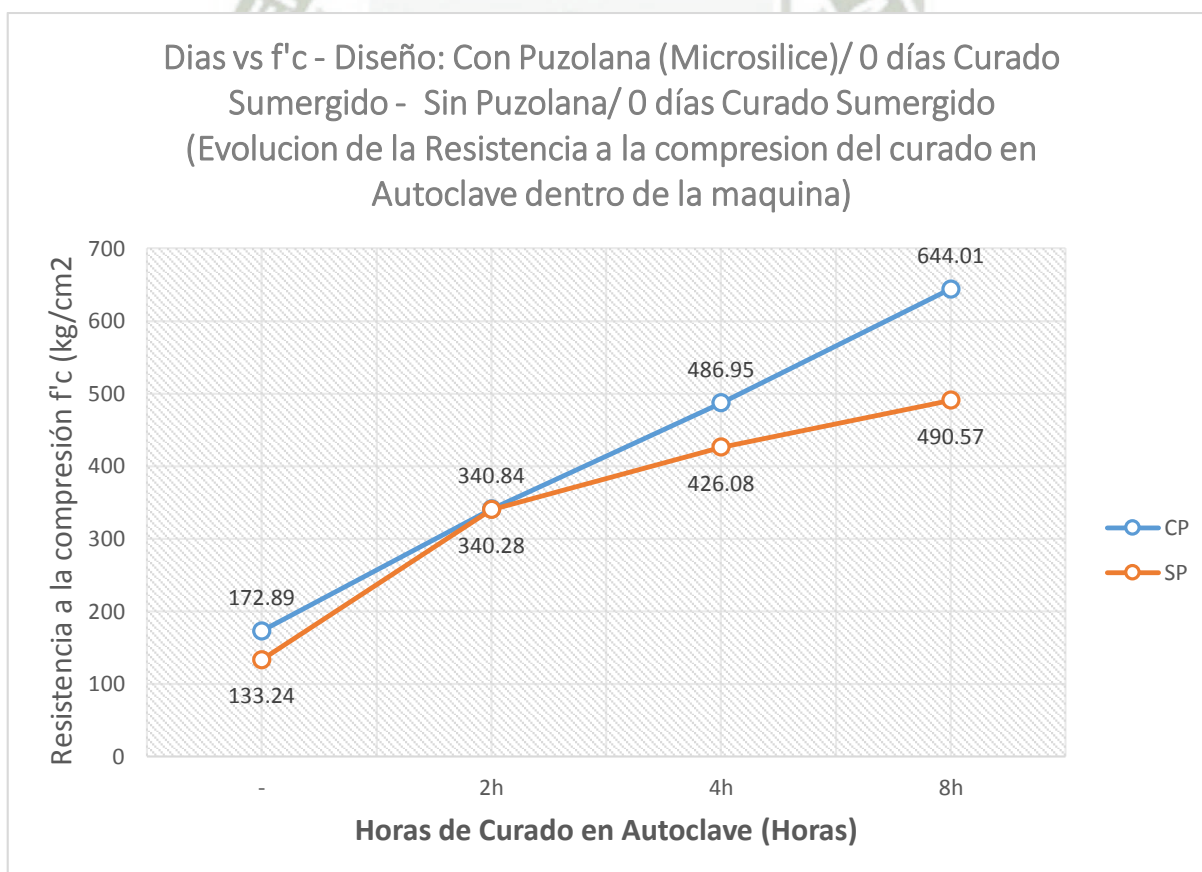
En este grafico puede apreciarse que tanto el diseño con presencia de Puzolana como el sin presencia de esta adición, pueden asemejarse a curvas logarítmicas. En este caso la novedad del cambio de tipo de gráfica, en comparación del curado de 4 horas de duración en autoclave, es para las muestras con adición de Puzolana, esto puede deberse a que esta vez mayor cantidad de cal fue fijada por la puzolana. Sin embargo, todavía existe un incremento de resistencia posterior al curado en autoclave lo que indica que toda la cal liberada de la hidratación del cemento no ha sido fijada, por lo que curados de mayores cantidades de tiempo a 8 horas podrían mejorar aún más esta resistencia inicial.

Se aprecia también que a curados de 8 horas (o más) la diferencia de las resistencias a edades de 1 día, entre un curado con adición de microsilíce y sin adición se vuelve bastante considerable, esto es debido a la fijación de la cal por la puzolana.

Se puede notar también que las pendientes en distintos puntos de las curvas ya son bastante reducidas en ambos casos, por lo que los incrementos de resistencia ya son más lentos en comparación con los anteriores casos de curado.

La diferencia entre las resistencias a la edad de 28 días se vuelve bastante considerable también, sin embargo, ambas tienden a seguir aumentando, aunque en menor medida que en los anteriores casos de curado.

7.3.1.5. COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 0 DÍAS CURADO SUMERGIDO - CON PUZOLANA Y SIN PUZOLANA - (EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CURADO EN AUTOCLAVE DENTRO DE LA MAQUINA)



Grafica 25 "Días vs f'_c - Diseño: Con Puzolana/ 0 días Curado Sumergido - Sin Puzolana/ 0 días Curado Sumergido
(Elaboración Propia)

En el gráfico mostrado se presenta la resistencia a la compresión de ambos diseños, tanto con presencia de actividad puzolánica como sin la presencia de esta, donde se muestra la evolución de la resistencia en el interior del equipo de curado, es decir sin curado sumergido en agua posterior al curado en autoclave, a la edad de 1 día.

Puede considerarse que para un concreto con adición de puzolana (microsilice) la ganancia de resistencia en autoclave se encuentra en la razón de 50.53 kg/cm²/h

Se puede notar que en las muestras de ambos diseños las resistencias se mantienen similares hasta las dos horas de curado, esto se puede deber a que, como se mencionó anteriormente, dos horas de curado en autoclave no es suficiente tiempo para activar la fijación de cal por parte de la puzolana, por lo que hasta este punto, puede considerarse el curado de ambos tipos de diseños como similares, ya que probablemente solo se este hidratando el cemento.

Para horas de curado de 4 horas, empieza a notarse que las curvas empiezan a divergir; mientras la curva representativa del diseño sin microsilice empieza a reducir su pendiente buscando una configuración asintótica, la curva representativa del diseño con puzolana (microsilice) permanece en un aumento constante, manteniendo una pendiente casi constante. Esto permite inferir que, como ya se dedujo con gráficas anteriores, a tiempos mayores de 8 horas de exposición a la autoclave la resistencia continuaría en ascenso.

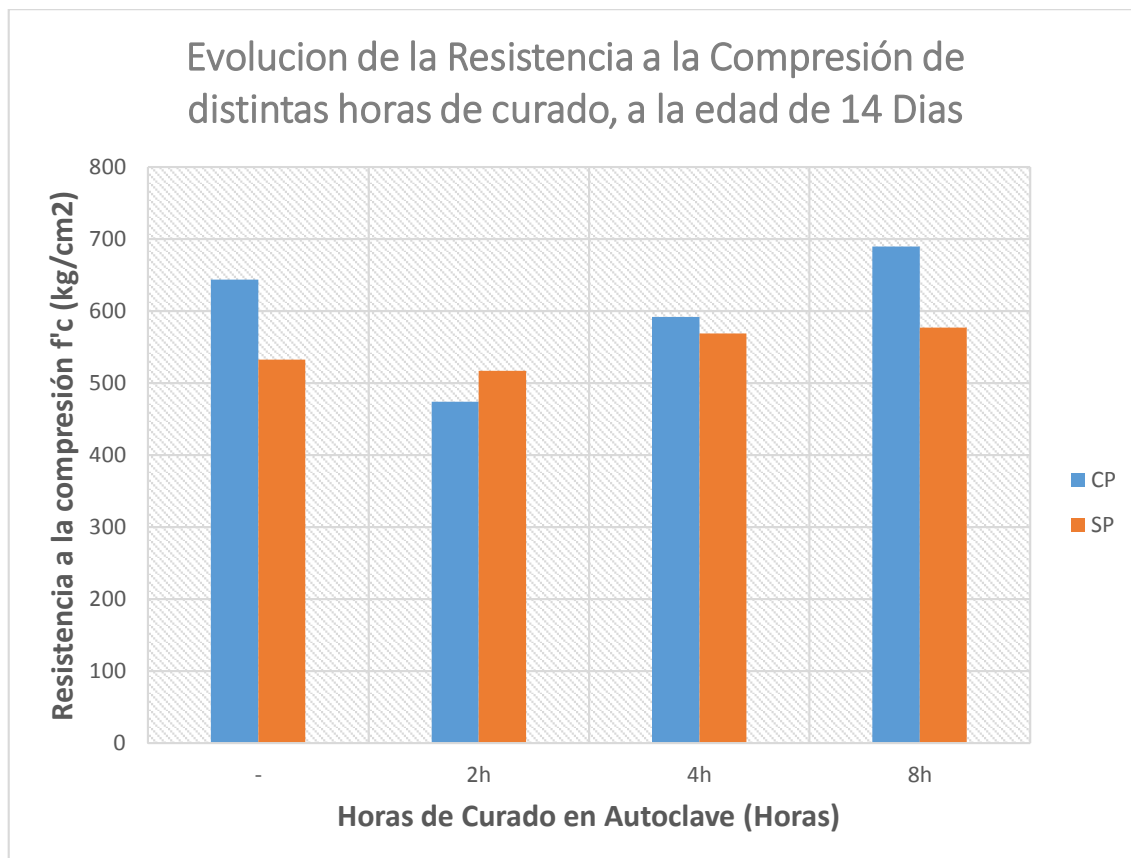
La curva representativa del diseño sin adición de puzolana (microsilice) permanece con una pendiente (aunque reducida) al final de los 28 días, por lo que se deduce que a mayores horas de curado en autoclave esta resistencia aumentaría también.

Finalmente, con los datos mostrados y tomando en cuenta las restricciones del diseño de mezcla que se están utilizando, puede obtenerse cierta relación aproximada del curado en autoclave con el curado convencional sumergido en agua. La proporción del curado en autoclave de 8 horas es de aproximadamente el 90% de la resistencia obtenida a los 28 días para un diseño sin adición de puzolana. Mientras que para un diseño sin adición de puzolana, el porcentaje de resistencia a la compresión obtenida en un curado de 8 horas en autoclave es del orden del 75% de la resistencia obtenida a la edad de 28 días en un curado convencional sumergido en agua.

Es importante resaltar que, como se mencionó anteriormente, la resistencia obtenida a los 28 días, para un diseño de mezclas con adición de puzolana, no resulta ser la resistencia máxima alcanzada, pues hay evidencia de que la matriz de concreto continuara ganando

resistencia pasado los 28 días. Mientras que para el diseño sin presencia de puzolana, la resistencia obtenida a los 28 días, es bastante cercana a la resistencia máxima.

7.3.1.6. COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 14 DÍAS CURADO SUMERGIDO - CON PUZOLANA Y SIN PUZOLANA



Grafica 26: Evolución de la Resistencia a la Compresión de distintas horas de curado, a la edad de 14 Días
(Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia a la compresión del diseño con y sin presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la resistencia obtenida a la edad de 14 días posterior a diferentes tiempos de curado en autoclave.

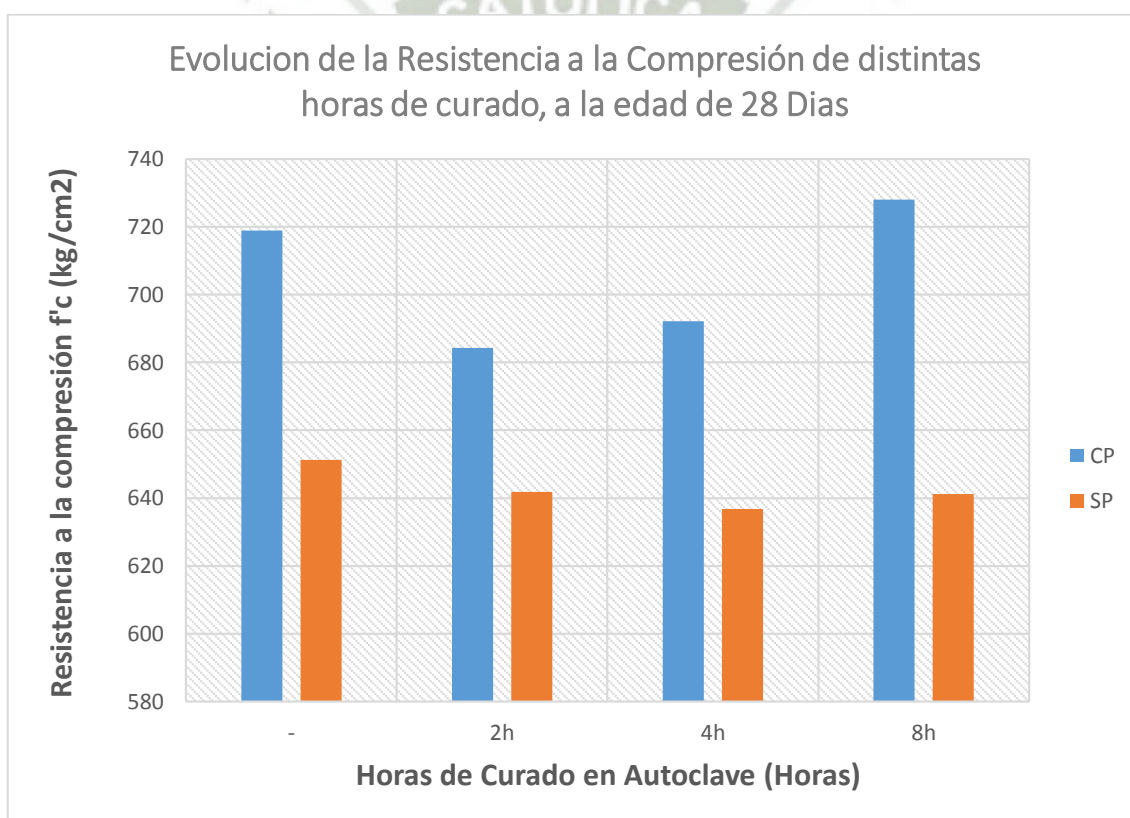
La presente grafica se muestra en forma de barras debido a que no es una curva de ganancia de resistencia a lo largo de las horas sometidas a autoclave luego de un curado a 14 días sumergido en agua, sino que muestra la resistencia a los 14 días de extraídas del autoclave, a distintas horas de curado.

Puede notarse que la diferencia principal entre las barras representativas de un diseño sin adición de Puzolana y el diseño con adición de puzolana a 14 días de edad, es que, a todas

las horas de curado en autoclave, excepto a dos horas. la resistencia a la compresión del diseño con adición de puzolana es mayor.

La explicación de que a dos horas la resistencia de la gráfica naranja sea mayor que la azul puede ser que, como se explicó anteriormente, no se llegó a fijar la cal liberada con la puzolana y que al haber mayor cantidad de cemento en el diseño sin adición de puzolana (debido al reemplazo de la microsilice por el cemento) se logró acelerar mayor cantidad de hidratación del cemento en este diseño que en el que si poseía adición de microsilice. Aun así, las diferencias son bastante pequeñas como para llegar a concluir esta afirmación.

7.3.1.7. COMPARACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - 28 DÍAS CURADO SUMERGIDO - CON PUZOLANA Y SIN PUZOLANA



Grafica 27: Evolucion de la Resistencia a la Compresión de distintas horas de curado, a la edad de 28 Dias
(Elaboración Propia)

En el grafico mostrado se presenta la resistencia a la compresión del diseño con y sin presencia de actividad puzolánica, donde se muestra la resistencia obtenida a la edad de 28 días posterior a diferentes tiempos de curado en autoclave.

La presente grafica se muestra en forma de barras debido a que no es una curva de ganancia de resistencia a lo largo de las horas sometidas a autoclave luego de un curado

a 28 días sumergido en agua, sino que muestra la resistencia a los 28 días de extraídas del autoclave, a distintas horas de curado.

A primera vista puede notarse la superior resistencia a todas las horas de curado de un diseño con presencia de microsílíce frente a uno sin esta adición.

También se observa que en el caso de un diseño sin adición de microsílíce a la edad de 28 días ningún curado supera la resistencia alcanzada por un curado convencional sumergido en agua, lo que no sucede con el diseño con adición de microsílíce pues este a la edad de 28 días si llega a superar el curado sumergido en agua.



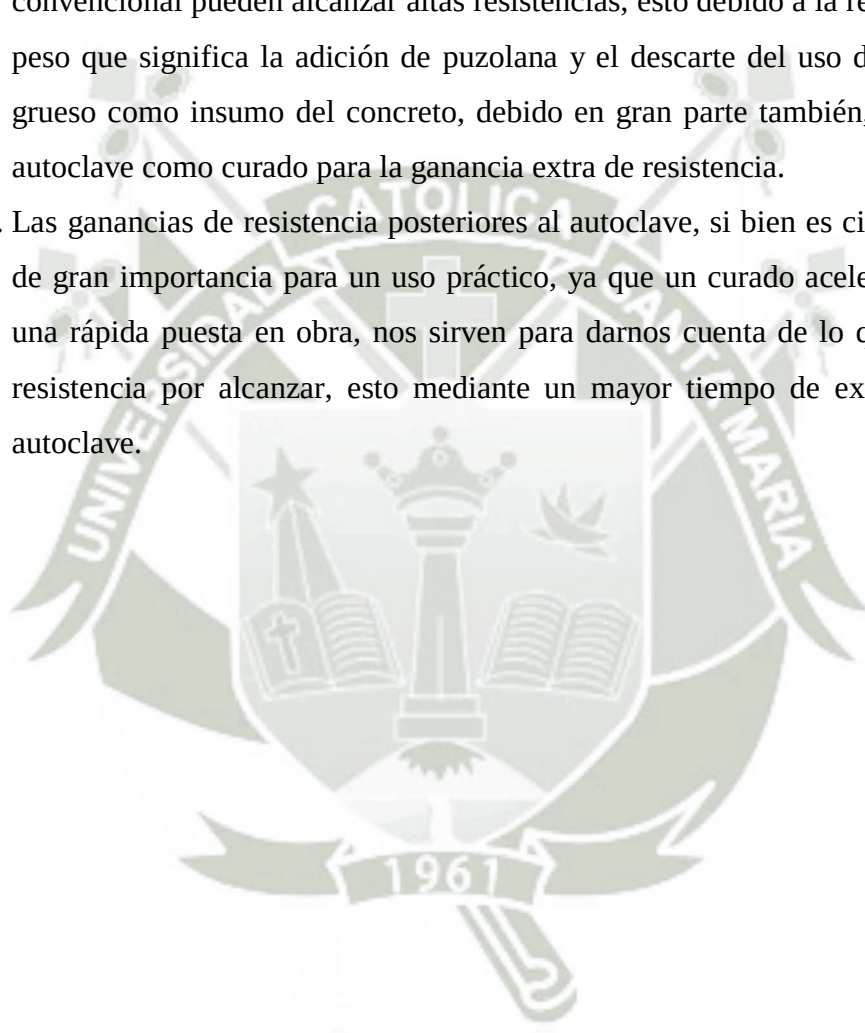
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La resistencia a la compresión de un concreto curado en autoclave, en un tiempo aproximado de 8 horas, es similar que la de un concreto curado en condiciones normales a los 28 días.
2. La puzolana posee una mayor relevancia en la resistencia en un concreto curado en autoclave que en un curado convencionalmente.
3. Se concluye que, para la presente investigación, el tiempo óptimo de curado es de 8 horas, sin embargo, existe evidencia de que con más horas de curado se obtendrían resistencias superiores.
4. A mayor tiempo de exposición en autoclave se obtienen mayores resistencias, sin embargo, la velocidad de incremento de resistencia posterior al curado en autoclave es inversamente proporcional al tiempo de curado en autoclave.
5. Puede considerarse que para un concreto con adición de puzolana la ganancia de resistencia en autoclave aumenta 50.53 kg/cm² por hora.
6. La proporción del curado en autoclave de 8 horas es de aproximadamente el 90% de la resistencia obtenida a los 28 días para un diseño con adición de puzolana. Mientras que para un diseño sin adición de puzolana, el porcentaje de resistencia a la compresión obtenida en un curado de 8 horas en autoclave es del orden del 75% de la resistencia obtenida a la edad de 28 días en un curado convencional sumergido en agua. Es importante resaltar que la resistencia obtenida a los 28 días, para un diseño de mezclas con adición de puzolana, no resulta ser la resistencia máxima alcanzada, pues hay evidencia de que la matriz de concreto continuara ganando resistencia pasado los 28 días. Mientras que para el diseño sin presencia de puzolana, la resistencia obtenida a los 28 días, es bastante cercana a la resistencia máxima.
7. Un curado de 8 horas en autoclave a la edad de 1 día supera ampliamente a un curado convencional sumergido en agua en una magnitud de 5 a 1.
8. A mayor tiempo sometido el concreto al autoclave, tanto para un diseño con presencia de puzolana (microsílice) como sin la presencia de esta, mayor resistencia alcanza a la edad de 28 días. Sin embargo, esta conclusión no es del todo determinante., debido a la baja magnitud de las variaciones,

9. A dos horas de curado en autoclave las muestras de ambos diseños las resistencias se mantienen similares, esto se puede deber a que 2 horas en autoclave no resulta tiempo suficiente para que la puzolana fije las moléculas de hidróxido de calcio liberadas de la hidratación del cemento.
10. La ganancia de resistencia de un concreto sin adición de puzolana, en este caso puzolana, no se debe a interacciones químicas debido al curado en autoclave, sino más bien al simple hecho de la aceleración de la hidratación del cemento debido a la humedad y temperatura, similar a un curado a vapor, pero a mayor velocidad e intensidad.
11. A todos los tiempos de curado en autoclave para un concreto sin adición de puzolana, la resistencia máxima alcanzada es aproximadamente la misma, esto puede deberse a que no existe una ganancia extra de resistencia fuera de la hidratación del concreto.
12. No se llegó a determinar la resistencia máxima que puede alcanzar el diseño con puzolana puesto que 8 horas de curado en autoclave y 28 días de curado sumergido en agua no bastaron para que toda la puzolana se fije en la cal liberada de la hidratación del cemento.
13. Para un diseño con presencia de puzolana, por la configuración y comparación de las curvas se puede inferir que un curado de 2 y 4 horas a pesar de ganar una rápida y elevada resistencia inicial (1 día de edad), a edades posteriores a los aproximadamente 7 días, se ven superadas por un curado convencional sumergido en agua, esta superioridad de resistencia del curado convencional prevalece de ahí en adelante.
14. Para un diseño con adición de puzolana A las 2 y 4 horas de curado en autoclave se percibe que, a ninguna edad, excepto 1 día, llega a alcanzar las resistencias alcanzadas por el curado convencional sumergido en agua, mientras que con un curado de 8 horas se mejoran las resistencias a todas las edades.
15. Se presume que el curado optimo en autoclave será un tiempo superior a 8 horas, y este tiempo de curado logrará, además de hidratar completamente el cemento, fijar todas las moléculas de cal liberadas de la hidratación del cemento con la puzolana, por lo que las resistencias a cualquier edad fuera del curado en autoclave no aumentarían.

16. Pese a que un curado de 8 horas resulta superior a un curado convencional sumergido en agua, tiempos superiores de exposición al autoclave, derivarían en mejores resistencias
17. Los tiempos de curado en autoclave para diseños sin adición de puzolana no muestran relevancia a edades de 28 días y superiores.
18. Cuando prácticamente no exista ganancia de resistencia posterior al curado en autoclave significaría que el curado fijo toda la cal libre.
19. Con los resultados obtenidos puede deducirse que pesos más ligeros a lo convencional pueden alcanzar altas resistencias, esto debido a la reducción de peso que significa la adición de puzolana y el descarte del uso de agregado grueso como insumo del concreto, debido en gran parte también, al uso del autoclave como curado para la ganancia extra de resistencia.
20. Las ganancias de resistencia posteriores al autoclave, si bien es cierto no son de gran importancia para un uso práctico, ya que un curado acelerado busca una rápida puesta en obra, nos sirven para darnos cuenta de lo que falta de resistencia por alcanzar, esto mediante un mayor tiempo de exposición al autoclave.

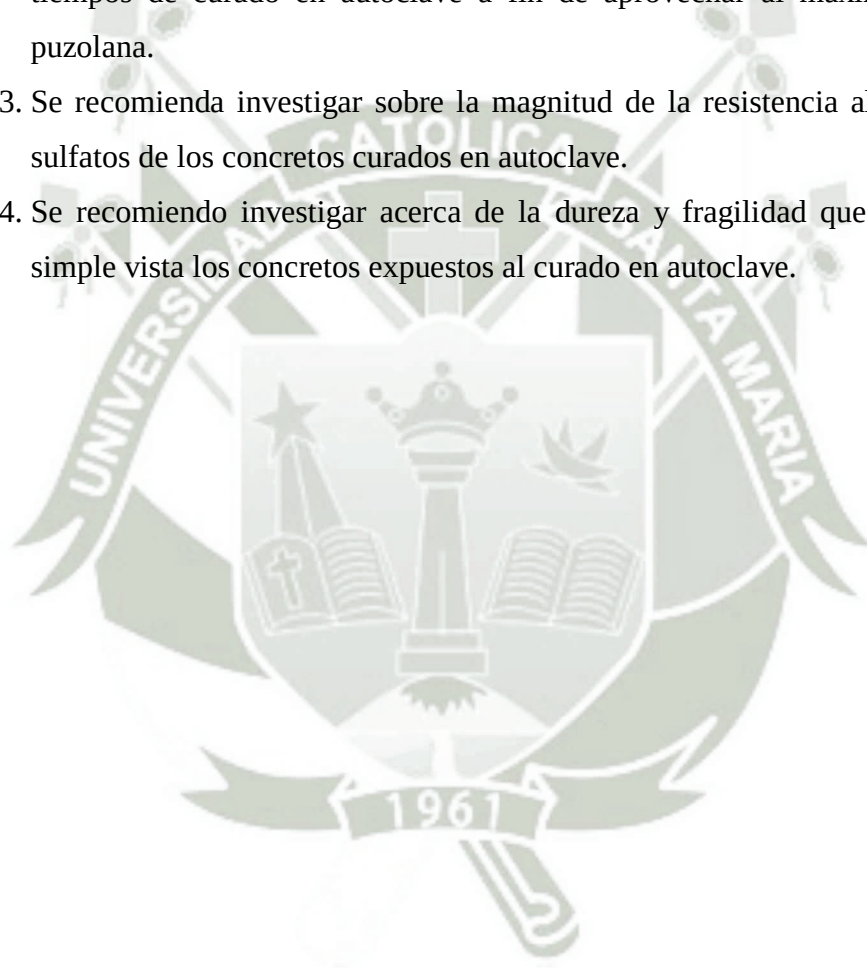


RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar esta investigación como punto de partida para el ahondamiento en otros tiempos de curado así como distintos diseños de mezcla y el efecto del curado en autoclave en este.
2. Se recomienda realizar más investigaciones en este tipo de curado pues no existen gran cantidad de datos ni investigaciones en la actualidad.
3. Se recomienda construir o comprar una máquina de curado en autoclave de mayor capacidad de probetas de concreto, para poder realizar mayor cantidad de ensayos en menor tiempo.
4. Se recomienda la utilización de EPP's necesarios para la manipulación del equipo de autoclave.
5. Se recomienda no manipular la máquina de curado en autoclave cuando esta se encuentra funcionando, especialmente cuando se encuentra a altas presiones de vapor y altas temperaturas.
6. Se recomienda la implementación de condiciones necesarias para la instalación del equipo de curado en autoclave, puesto que, con mayor cantidad de datos, esta podría usarse no solo para futuras investigaciones, sino que también para la predicción de resistencias de distintos tipos de mezclas a un día de edad.
7. Se recomienda capacitar al personal para la manipulación del equipo de curado en autoclave.
8. En cuando al procedimiento de mezclado se recomienda:
 - Asegurarse de que porciones de cemento no se están quedando impregnadas en las paredes del trompo, de ser así, detener el vaciado y despegar las zonas impregnadas manualmente.
 - Luego de cada vertido, inclinar el trompo por aproximadamente 1 min hasta una posición casi horizontal, cuidando de que no salte el concreto fuera del trompo, esto con la finalidad de un mejor mezclado.
 - No apresurarse en adicionar mayor cantidad de aditivo plastificante de lo planificado, ya que este tarda por lo menos 3 minutos en hacer efecto en toda la mezcla.
9. Se propone investigar con mayores tiempos de curado en autoclave como pueden ser 10, 12, y hasta 24 horas de exposición al autoclave, puesto que se

tiene evidencia que la resistencia continuara aumentando a partir de las 8 horas de curado.

10. Se propone investigar con distintos tipos de diseño de mezcla y el efecto del autoclave en estos.
11. Se propone incluir la cal como insumo para los diseños de mezcla, puesto que esta reaccionaria de manera conveniente con la puzolana a la exposición de autoclave
12. Se recomienda investigar con concretos de mayores cantidades de puzolana en reemplazo del concreto (más económico y reduce el peso específico) y más tiempos de curado en autoclave a fin de aprovechar al máximo toda la puzolana.
13. Se recomienda investigar sobre la magnitud de la resistencia al ataque de sulfatos de los concretos curados en autoclave.
14. Se recomienda investigar acerca de la dureza y fragilidad que presenta a simple vista los concretos expuestos al curado en autoclave.



BIBLIOGRAFIA

- Calleja, J. (1977). Adiciones y cementos con adiciones. España: Materiales de construcción.
- Calleja, J. (1969). Las Puzolanas. Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid.
- Calleja, J. (1983). Adiciones y cementos con adiciones. Cemento-Hormigón
- Enrique Rivva Lopez. (2010). Diseño de Mezclas, Editorial ICG. Concreto Tomo 2. 1era Edición.
- Jiménez Lara, R. E. (2014). *Concreto aireado en autoclave: estado actual de la técnica y perspectivas de futuro* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- N. Arreshvhina, Z. Fadhadli, H. Mohd Warid, A.H. Zuhairy, Roswadi. (2006). MICROSTRUCTURAL BEHAVIOR OF AERATED CONCRETE CONTAINING HIGH VOLUME OF GGBFS. Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference. (APSEC)
- George W. Washa. (1965). America Concrete Institute, Committee 516, High Pressure Steam Curing: Modern Practice, and Properties of Autoclaved Products Compression Test Specimens.
- Arreshvhina, N., Fadhadli, Z., Warid, H. M., & Zuhairy, A. H. (2006). Microstructural behavior of aerated concrete containing high volume of GGBFS.
- Irving, K. (2010). Engineered concrete mix design and test methods..
- José Calleja, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (España), Cementos Puzolánicos
- Narayanan Neithalath y Ramamurthy K. (2000). Microstructural investigations on aerated concrete.
- Michael S. Mamlouk, John P. Zanievsky. (2009). Materiales para Ingeniería civil.
- M. Neville., J. J. Brooks (1998). Tecnología del concreto
- M. Neville. (1989). Tecnología del concreto – Tomo 2.
- Cemento y Hormigon . Dr F. Blanco
- Comisión Federal de Electricidad (1994). Manual de Tecnología del concreto.
- EUCO – Manual de Productos.
- Peña Sanchez, Effren A., C. Fernandez Enmanuel. (2017). Analisis Comparativo de las diferentes canteras de puzolana de la ciudad de Arquipa para concretos de resistencias $f'c$ 210kg/cm², 280kg/cm² y 350 kg/cm² en el año 2017.

- Borja Tejada, Gonzalo F. (2014). Propuesta industrial para la implementación de una planta elaboradora de piezas estructurales de concreto para la construcción de viviendas modulares en la ciudad de Arequipa.
- Caparó Guevara, André. (2017). Diseño de Mezclas de Concreto de Alta Resistencia para Elementos Prefabricados y/o Pretensados Utilizando Adiciones Minerales y Aditivos en Edades Tempranas Mediante Curado a Vapor y Curado Adiabático en la Ciudad de Arequipa
- ASTM C684-99 (2003), Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete
- ASTM C172/C172M-14^a .Historical Standard: Práctica Normalizada para Muestreo de Concreto Recién Mezclado
- ASTM C143 Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.
- ASTM C138 Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.
- ASTM C39 Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas.
- ASTM 684 Método de ensayo normalizado para elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto
- ASTM C1064/C1064M – 17: Método de prueba estándar para la determinación de la temperatura del hormigón de cemento hidráulico recién mezclado
- ACI 516 High Pressure Steam Curing
- ACI Committee 308 - Guide to External Curing of Concrete
- I.N.V. E – 412 – 07 - ENSAYO DE FABRICACIÓN, CURADO ACELERADO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO
- NTP 334.003 Cementos. Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.
- NTP 400.010 (2001) Agregados Extracción y preparación de Muestras.
- NTP 400.011 (2008) Agregados. Definición y clasificación de agregados uso en morteros y hormigones (concretos)
- NTP 400.021 (2002) Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso
- NTP 400.012 (1998) Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

- NTP 400.022 (2002) Agregados. Método normalizado de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino

REFERENCIAS ON-LINE

- <https://www.ytong.es/>
- <http://web.wehrhahn.de/es/aac/products/index.php>

ANEXOS





ANEXO A: DATOS DE ROTURA

CP/SP	Tipo Curado	Horas de curado	Días de Curado	Slump	Dprom (cm)	F(KG)	Area (cm2)	f'c
SP	Normal	-	1.00	5	10.21	9149	81.83	111.80
SP	Normal	-	1.00	4.5	10.23	9124	82.15	111.06
SP	Normal	-	1.00	5.1	10.24	9474	82.40	114.98
SP	Normal	-	3.00	4.7	10.23	15821	82.11	192.67
SP	Normal	-	3.00	5	10.19	16789	81.51	205.97
SP	Normal	-	3.00	5.1	10.18	14578	81.31	179.28
SP	Normal	-	3.00	5	10.24	18123	82.40	219.95
SP	Normal	-	3.00	5	10.19	17157	81.51	210.48
SP	Normal	-	3.00	4.8	10.20	19214	81.71	235.14
SP	Normal	-	3.00	5.2	9.99	23474	78.38	299.48
SP	Normal	-	3.00	5	10.19	24157	81.51	296.36
SP	Normal	-	3.00	5	10.18	25147	81.31	309.26
CP	Normal	-	1.00	2	10.20	8945	81.71	109.47
CP	Normal	-	1.00	2.2	10.19	9014	81.51	110.58
CP	Normal	-	1.00	2.5	10.01	9124	78.62	116.05
CP	Normal	-	3.00	4	10.21	13457	81.83	164.44
CP	Normal	-	3.00	3.4	10.24	15478	82.27	188.13
CP	Normal	-	3.00	3.6	10.24	14125	82.40	171.43
CP	Normal	-	3.00	4.8	10.03	13444	78.97	170.24
CP	Normal	-	3.00	5	10.20	12457	81.63	152.60
CP	Normal	-	3.00	5.2	9.99	14457	78.38	184.44
CP	Normal	-	3.00	5	10.07	18145	79.64	227.83
CP	Normal	-	3.00	4.5	10.21	17897	81.83	218.70
CP	Normal	-	3.00	4.8	10.20	18798	81.63	230.28
CP	Normal	-	3.00	4.5	10.23	25124	82.11	305.97
CP	Normal	-	3.00	4.4	10.09	24214	80.00	302.68
CP	Normal	-	3.00	4.5	10.21	26548	81.83	324.42
SP	Normal	-	1.00	5	10.21	10719	81.83	130.99
SP	Normal	-	1.00		10.23	11313	82.15	137.70
SP	Normal	-	1.00		9.89	8094	76.78	105.42
SP	Normal	-	1.00		10.21	9010	81.87	110.05
SP	Normal	-	1.00	5.2	10.29	12880	83.20	154.80
SP	Normal	-	1.00	5.00	9.86	12259	76.39	160.47
SP	Normal	-	7.00	5.5	10.23	31792	82.19	386.79
SP	Normal	-	7.00		10.22	32992	82.03	402.18
SP	Normal	-	7.00		10.23	33958	82.11	413.55
SP	Normal	-	14.00	5.4	10.24	43642	82.35	529.93
SP	Normal	-	14.00		10.25	44224	82.44	536.47
SP	Normal	-	14.00	5.3	10.06	42390	79.49	533.31
SP	Normal	-	14.00		10.32	44384	83.70	530.27
SP	Normal	-	21.00		10.25	53891	82.52	653.10
SP	Normal	-	21.00		10.30	51995	83.27	624.42
SP	Normal	-	21.00	5.20	10.25	50092	82.52	607.06
SP	Normal	-	21.00	5.10	10.27	51694	82.76	624.64

SP	Normal	-	21.00	5.20	10.26	54700	82.62	662.04
SP	Normal	-	28.00	5.00	9.87	51300	76.51	670.49
SP	Normal	-	28.00	5.00	10.00	52201	78.50	664.98
SP	Normal	-	28.00		10.27	52300	82.88	631.04
SP	Normal	-	28.00		10.21	52231	81.83	638.26
SP	Normal	-	56.00		10.29	53655	83.08	645.82
SP	Normal	-	56.00		10.27	58375	82.76	705.37
SP	Autoclave	2h	1.00	5.00	10.25	26289	82.44	318.90
SP	Autoclave	2h	1.00		10.19	29175	81.55	357.74
SP	Autoclave	2h	1.00		10.27	28485	82.76	344.20
SP	Autoclave	2h	7.00	5.4	10.23	36892	82.19	448.84
SP	Autoclave	2h	7.00		10.19	35781	81.50	439.03
SP	Autoclave	2h	7.00		10.26	35993	82.73	435.06
SP	Autoclave	2h	14.00	5.1	10.23	39892	82.19	485.34
SP	Autoclave	2h	14.00	5	10.27	43571	82.76	526.49
SP	Autoclave	2h	14.00	4	10.25	45680	82.57	553.23
SP	Autoclave	2h	14.00		10.28	43588	83.00	525.16
SP	Autoclave	2h	21.00	5.2	10.28	45899	82.92	553.54
SP	Autoclave	2h	21.00		10.00	45950	78.54	585.05
SP	Autoclave	2h	21.00	5.4	10.21	54588	81.93	666.30
SP	Autoclave	2h	21.00		10.26	50340	82.62	609.27
SP	Autoclave	2h	21.00	5.1	10.10	50056	80.04	625.39
SP	Autoclave	2h	21.00		10.17	45785	81.23	563.63
SP	Autoclave	2h	28.00	5.2	10.24	50240	82.35	610.04
SP	Autoclave	2h	28.00	5.1	10.23	51340	82.25	624.21
SP	Autoclave	2h	28.00		9.90	50324	76.93	654.20
SP	Autoclave	2h	56.00		10.24	53559	82.27	650.98
SP	Autoclave	4h	1.00	5.00	10.24	33533	82.27	407.57
SP	Autoclave	4h	1.00		9.89	34402	76.82	447.82
SP	Autoclave	4h	1.00		10.27	34993	82.76	422.84
SP	Autoclave	4h	7.00	5	9.90	40324	76.93	524.20
SP	Autoclave	4h	7.00		10.16	39796	81.02	491.19
SP	Autoclave	4h	7.00		9.88	39854	76.67	519.84
SP	Autoclave	4h	14.00	5	10.24	46466	82.35	564.22
SP	Autoclave	4h	14.00		9.96	44651	77.91	573.09
SP	Autoclave	4h	14.00	5.2	10.00	44599	78.54	567.85
SP	Autoclave	4h	21.00	5.3	10.28	50123	83.00	603.89
SP	Autoclave	4h	21.00		10.25	49293	82.44	597.96
SP	Autoclave	4h	21.00		9.97	49829	78.07	638.27
SP	Autoclave	4h	21.00		9.91	49229	77.13	638.24
SP	Autoclave	4h	21.00		9.97	49849	77.99	639.16
SP	Autoclave	4h	21.00	5	10.29	47773	83.16	574.46
SP	Autoclave	4h	28.00		9.89	48935	76.82	637.00
SP	Autoclave	4h	28.00		9.90	48935	76.90	636.35
SP	Autoclave	4h	28.00		9.89	48935	76.82	637.00
SP	Autoclave	4h	56.00	5.10	10.04	52589	79.17	664.26

SP	Autoclave	8h	1.00		10.23	39607	82.11	482.34
SP	Autoclave	8h	1.00		10.04	40826	79.13	515.94
SP	Autoclave	8h	1.00		10.04	37481	79.17	473.43
SP	Autoclave	8h	7.00	5.2	10.28	43014	82.96	518.50
SP	Autoclave	8h	7.00		10.24	45420	82.27	552.05
SP	Autoclave	8h	7.00		9.89	44354	76.82	577.36
SP	Autoclave	8h	14.00	5.3	10.21	45208	81.79	552.71
SP	Autoclave	8h	14.00		9.90	44344	76.98	576.07
SP	Autoclave	8h	14.00		9.89	46154	76.78	601.10
SP	Autoclave	8h	21.00	5.4	9.89	47454	76.82	617.72
SP	Autoclave	8h	21.00		10.24	48939	82.27	594.83
SP	Autoclave	8h	21.00		9.90	48492	76.90	630.59
SP	Autoclave	8h	28.00		9.90	49354	76.90	641.80
SP	Autoclave	8h	28.00		10.23	52354	82.19	636.95
SP	Autoclave	8h	28.00	5.2	10.27	53354	82.76	644.70
SP	Autoclave	8h	56.00		10.28	55735	82.96	671.84
SP	Autoclave	8h	56.00		10.22	55741	82.07	679.16
CP	Normal	-	1.00	4.5	10.21	6199	81.87	75.71
CP	Normal	-	1.00	4.4	10.27	15670	82.76	189.34
CP	Normal	-	1.00		10.20	15602	81.71	190.94
CP	Normal	-	1.00		10.22	15786	81.95	192.62
CP	Normal	-	1.00		10.21	15889	81.79	194.26
CP	Normal	-	1.00		10.21	15904	81.79	194.45
CP	Normal	-	7.00	4.7	10.23	40598	82.19	493.93
CP	Normal	-	7.00		10.18	41239	81.31	507.17
CP	Normal	-	7.00		10.25	44009	82.52	533.34
CP	Normal	-	7.00		9.89	44220	76.74	576.20
CP	Normal	-	7.00		10.25	49925	82.44	605.63
CP	Normal	-	14.00	4.5	10.18	50781	81.39	623.90
CP	Normal	-	14.00	4.5	10.21	53769	81.82	657.16
CP	Normal	-	14.00	4.5	10.21	53814	81.82	657.71
CP	Normal	-	14.00	4.5	10.20	50603	81.63	619.89
CP	Normal	-	14.00		10.21	53925	81.79	659.29
CP	Normal	-	21.00	4.4	9.91	55075	77.18	713.55
CP	Normal	-	21.00		10.25	56822	82.46	689.07
CP	Normal	-	21.00		10.27	54315	82.78	656.10
CP	Normal	-	28.00	4.5	10.26	59931	82.60	725.59
CP	Normal	-	28.00	4.5	10.26	57849	82.60	700.38
CP	Normal	-	28.00	4.5	10.26	59145	82.60	716.07
CP	Normal	-	28.00		10.24	57487	82.27	698.72
CP	Normal	-	28.00		9.98	58862	78.15	753.22
CP	Autoclave	2h	1.00	4.4	10.26	27671	82.62	334.91
CP	Autoclave	2h	1.00		10.21	28145	81.87	343.76
CP	Autoclave	2h	1.00		10.21	28151	81.87	343.84
CP	Autoclave	2h	7.00	4.7	10.24	35157	82.41	426.62
CP	Autoclave	2h	7.00		10.26	34001	82.73	410.98

CP	Autoclave	2h	7.00		9.99	34742	78.33	443.53
CP	Autoclave	2h	14.00	4.7	10.26	40144	82.73	485.24
CP	Autoclave	2h	14.00	4.7	9.99	39165	78.33	500.00
CP	Autoclave	2h	14.00	4.7	9.91	40125	77.05	520.73
CP	Autoclave	2h	14.00		10.24	43628	82.35	529.76
CP	Autoclave	2h	14.00	4.5	9.99	43742	78.33	558.43
CP	Autoclave	2h	21.00	4.2	10.18	49586	81.43	608.94
CP	Autoclave	2h	21.00	4.2	9.96	47990	77.91	615.95
CP	Autoclave	2h	21.00	4.4	9.98	48792	78.23	623.73
CP	Autoclave	2h	28.00	4.5	10.18	54289	81.43	666.70
CP	Autoclave	2h	28.00	4.5	9.96	54779	77.91	703.08
CP	Autoclave	2h	28.00	4.5	10.24	53290	82.41	646.66
CP	Autoclave	2h	28.00	4	10.25	54388	82.52	659.12
CP	Autoclave	2h	28.00		10.22	54189	82.03	660.57
CP	Autoclave	4h	1.00	4	10.25	39902	82.46	483.88
CP	Autoclave	4h	1.00	4	10.26	39123	82.73	472.90
CP	Autoclave	4h	1.00		9.99	39485	78.33	504.08
CP	Autoclave	4h	7.00	4.2	10.25	44258	82.56	536.10
CP	Autoclave	4h	7.00	4.3	10.24	43147	82.40	523.66
CP	Autoclave	4h	7.00	4.4	10.25	45317	82.48	549.46
CP	Autoclave	4h	14.00		10.24	49454	82.27	601.08
CP	Autoclave	4h	14.00		10.21	49466	81.79	604.77
CP	Autoclave	4h	14.00	4.2	10.25	47017	82.56	569.52
CP	Autoclave	4h	21.00	4.5	10.20	51928	81.71	635.49
CP	Autoclave	4h	21.00		10.24	54965	82.41	666.98
CP	Autoclave	4h	21.00		10.25	53817	82.56	651.88
CP	Autoclave	4h	28.00		10.25	55002	82.46	667.00
CP	Autoclave	4h	28.00		10.20	54841	81.71	671.14
CP	Autoclave	4h	28.00		10.24	54990	82.41	667.28
CP	Autoclave	4h	28.00		10.25	55817	82.56	676.11
CP	Autoclave	4h	28.00		10.23	56017	82.15	681.85
CP	Autoclave	8h	1.00	4.2	9.98	50036	78.15	640.27
CP	Autoclave	8h	1.00		9.89	52360	76.74	682.27
CP	Autoclave	8h	1.00	4.6	10.25	50317	82.56	609.49
CP	Autoclave	8h	7.00	4.5	10.23	55209	82.11	672.35
CP	Autoclave	8h	7.00		9.99	55901	78.30	713.89
CP	Autoclave	8h	7.00	4.5	10.25	53017	82.48	642.82
CP	Autoclave	8h	14.00		10.25	57872	82.46	701.80
CP	Autoclave	8h	14.00		10.24	57782	82.41	701.16
CP	Autoclave	8h	14.00		10.25	57842	82.46	701.44
CP	Autoclave	8h	21.00		10.25	59374	82.46	720.01
CP	Autoclave	8h	21.00	4.4	10.24	60991	82.35	740.59
CP	Autoclave	8h	21.00		10.26	57817	82.60	699.99
CP	Autoclave	8h	28.00	4.7	10.24	59199	82.41	718.36
CP	Autoclave	8h	28.00	4.7	10.25	59734	82.46	724.38
CP	Autoclave	8h	28.00	4.7	10.24	60990	82.41	740.09

CP	Autoclave	8h	28.00		10.24	60817	82.40	738.11
CP	Autoclave	8h	28.00		10.20	61790	81.77	755.69



ANEXO B: FICHA TECNICA CEMENTO TIPO I



CEMENTO PORTLAND TIPO I

YURA ASTM C150/C150M-09
NTP 334.009

REQUERIMIENTOS QUIMICOS:

Óxido de Silicio, SiO_2 , %	21.57	No Especifica
Oxidos de Aluminio, Al_2O_3 , %	4.25	No Especifica
Oxido Ferrico, Fe_2O_3 , %	3.55	No Especifica
Oxido de Calcio, CaO , %	63.83	No Especifica
Óxido de Magnesio, MgO , %	2.39	6.00 Máximo
Trióxido de Azufre, SO_3 , %	2.60	3.00 Máximo
Pérdida por Ignición o al Fuego, P.F %	0.90	3.00 Máximo
Residuo Insoluble, R.I.%	0.64	0.75 Máximo

REQUERIMIENTOS FISICOS:

Peso Especifico (g/cm^3)	3.14	No Especifica
Finura (Superficie Especifica - Blaine), cm^2/g	3400	2800 Mínimo
Finura (Retenido malla N° 200 (75 μm)), %	4.00	No Especifica
Finura (Retenido malla N° 325 (45 μm)), %	12.08	No Especifica
Expansión en Autoclave, %	0.050	0.80 Máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo de Vicat, minutos		
Tiempo de Fraguado (Inicial)	150	45 Mínimo
Tiempo de Fraguado (Final)	180	420 Máximo
Contenido de Aire del mortero, %	4.78	12.00 Máximo

Resistencia a la Compresión, MPa, (Kgf/cm^2)

Mínimo :

01 día	14.31 (146)	No Especifica -
03 días	28.91 (295)	8.00 (81.59)
07 días	34.89 (356)	15.00 (153.10)
28 días	42.63 (435)	21.00 (214.30)

Arequipa, 05 de Marzo del 2011


Ing. Elyder Quispe
Jefe de Control de Calidad
Yura S.A.

Planta: Concreta a Yura km 28, Arequipa - Perú
Oficinas Comerciales: Av. General Díaz Canessa 527, Arequipa - Perú
Teléfonos: +51 84 225000 / +51 84 222325 / +51 84 221006
Fax: +51 84 220000
www.yurasas.com

**ANEXO C: FICHA TECNICA ADITIVO
PLASTIFICANTE**

EUCOMEX



EUCLID GROUP
EUCOMEX

EUCON 37

Reductor de agua de alto rango superplastificante

Descripción

EUCON 37 es un aditivo reductor de agua de alto rango. Puede ser agregado al concreto en el lugar de trabajo o en la planta de concreto. EUCON 37 está formulado para mantener la consistencia plástica por 30-60 minutos después de la dosificación dependiendo del revenimiento inicial, proporción de dosificación y temperatura ambiente. No contiene cloruros, en consecuencia se recomienda para concreto pretensado. También es compatible con agentes inclusores de aire, agentes impermeables, cloruro de calcio y otros aditivos; sin embargo, cada material debe agregarse por separado.

Aplicaciones principales

- Concreto de alto desempeño.
- Concreto premezclado en general.
- Concreto fuertemente reforzado.
- Concreto para losas y concreto masivo.
- Concreto con baja relación agua/cemento.
- Concreto fluido de alto revenimiento.
- Concreto con mínimo contenido de agua.

Características/Beneficios

- Produce concreto de bajo contenido de agua y con baja relación agua/cemento, permitiendo lograr resistencias más altas.
- Produce concreto fluido con resistencias más altas que las normales.
- Ayuda a la colocación del concreto y reduce costos de mano de obra.
- Cuando se utiliza en elementos prefabricados, con cemento Tipo I tendrá como resultado resistencias altas a edades tempranas.

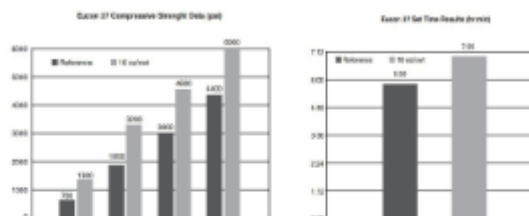
Información técnica

Los siguientes resultados se obtuvieron usando requerimientos de diseño de mezcla ASTM C 494, contenido de cemento 307 kg/m³ (517 lb/ycd³) y contenido de aire similar ($\pm 0.5\%$). Estos resultados fueron obtenidos bajo condiciones de laboratorio con materiales y diseños de mezcla que cumplen con las especificaciones de ASTM C 494. Los cambios en los materiales y diseños de mezcla pueden afectar la respuesta del EUCON 37.

Densidad.....1.19 +/- 0.01 g/ml

pH:.....9.00 - 1.00

Color:.....Café oscuro



Envase

EUCON 37 se ofrece a granel, en cubeta de 19 L y tambores de 200 L. Se recomienda mantener el aditivo siempre tapado en los envases que EUCOMEX provee.

Tiempo de vida

24 meses en el envase original cerrado.

Normas/Cumplimientos

- Cumple por completo con los requerimientos de ASTM C-494, aditivos Tipo A y F.
- Cumple ampliamente con AASHTOM 194.
- ANSI/NSFSTD 61.

Reductores de agua de Alto Rango

EUCON 37

Via José López Portillo 69 • Tultitlán, Edo. de México, 54940
01-800-8-382543 i • 5864-9970 m

www.eucomex.com.mx

Instrucciones de uso

EUCON 37 puede agregarse en el batch inicial de agua o directamente en el concreto fresco y mezclado por aproximadamente 5 minutos o 70 revoluciones. Sin embargo, se han observado mejores resultados dosificando directamente en el concreto fresco. No debe entrar en contacto con cemento seco u otros aditivos hasta que sea mezclado en el batch de concreto. EUCON 37 se usa comúnmente en dosis de 400 a 1170 mL por 100 kg (6 a 18 oz por 100 lbs) de material cementicio. Otras dosificaciones son aceptables si se realizan pruebas previas y se confirma haber obtenido el desempeño deseado con los materiales específicos que se han utilizado. Para cualquier aplicación de concreto que incluya Concreto Auto-Consolidable (SCC) la dosis de EUCON 37 variará dependiendo del diseño de mezcla, materiales locales y necesidades individuales del productor de concreto. Deben realizarse mezclas de prueba para verificar la plasticidad y endurecimiento con materiales locales. Si las graduaciones del material no son óptimas para Concreto Auto-Consolidable, puede utilizarse un modificador de viscosidad para mejorar la calidad de la mezcla. Por favor consulte a Eucomex para mezclas de prueba y recomendaciones de dosificación. EUCON 37 es compatible con la mayoría de los aditivos incluyendo agentes inclusores de aire, acelerantes, la mayoría de los reductores de agua, retardantes, reductores de contracción, inhibidores de corrosión, modificadores de viscosidad y microsilica; sin embargo, cada material debe agregarse por separado al concreto. Dosis recomendada de Eucon 37 para conseguir concreto fluido (revenimiento 180-230 mm /7-9").

Revenimiento inicial, mm (pulgadas)	Dosis de Eucon, mL/100 kg (oz/cwt)
100 (4)	520-650 (8-10)
75 (3)	650-780 (10-12)
65 (2 ½)	780-910 (12-14)
50 (2)	910-1040 (14-16)
40 (1 ½)	1040-1170 (16-18)

Colocación.- El concreto tratado con EUCON 37 puede ser colocado en la misma forma que concreto convencional. **Cimbras.-** Las cimbras para las paredes o secciones angostas deben ser a prueba de agua, fuertes y bien afianzadas. Durante el periodo de fluidez, cuando el concreto tiene revenimiento de 180-230mm (7" a 9"), el concreto ejercerá una mayor presión en la base de la cimbra que la que ejercería un concreto convencional. Las cimbras para losas son las mismas que las empleadas para el concreto convencional.

Limpieza

Limpie con agua las herramientas y el equipo antes de que el material se endurezca.

Precauciones/Limitaciones

- Proteja el EUCON 37 contra el congelamiento; si esto sucediera, agite vigorosamente. Nunca agite con aire
- Se recomienda hacer diseños de mezcla, mezclas de prueba y losas de prueba dadas las variaciones en el cemento y agregados de cada lugar.
- Se utiliza EUCON 37 en muchos y diferentes diseños de mezcla. Se debe consultar con el Departamento de Ingeniería y el Departamento de Servicios Técnicos de Eucomex, cada vez que se tengan dudas respecto a su uso o compatibilidad con otros aditivos. Hay muchos exitosos diseños de mezcla archivados y pueden ser un excelente material de referencia cuando se está preparando un proyecto de diseño de mezcla. Se agrega a la mezcla independientemente de otros aditivos.
- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y la temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto variando resultados en el concreto fresco o endurecido. En coordinación con el Asesor Técnico Comercial EUCOMEX de la región correspondiente, es fundamental efectuar pruebas de desempeño de los aditivos bajo las condiciones propias de cada obra. De ésta manera, se podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestros clientes.
- Agite el producto antes de usar, el producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.
- No permita que el concreto se congele hasta que haya alcanzado una resistencia mínima de 7 MPa (1000 psi).
- Consulte la Hoja de Seguridad antes de usar el producto.
- **No es compatible con aditivos base policarboxilato.**

Rev. 04.16

NOTA: Para mayor información sobre este producto diríjase al Departamento de Servicio al Cliente de EUCOMEX o a su Asesor Técnico Comercial en la región. Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previas a su empleo en gran escala. EUCOMEX se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo. La única garantía sobre los productos fabricados o comercializados por EUCOMEX, se describe en la página electrónica www.eucomex.com.mx



EUCLID GROUP
EUCOMEX

ANEXO D: FICHA TECNICA MICROSILICE

EUCOMEX



EUCLID GROUP
EUCOMEX

EUCON MSA

Aditivo de microsilica en polvo, para concreto

Descripción

EUCON MSA es un aditivo de microsilica en polvo listo para utilizarse. Este producto reacciona químicamente con el hidróxido de calcio en la pasta de cemento, lo cual produce un gel de hidrato de silicato de calcio que mejora significativamente la resistencia y durabilidad. Por su alta finura, la microsilica llena el vacío entre las partículas de cemento creando un concreto muy denso y menos permeable.

Aplicaciones principales

- Concreto de alta resistencia.
- Concreto de alta densidad.
- Plataformas de puentes.
- Estructuras de estacionamientos.
- Ambientes marinos.

Características/Beneficios

- Alta resistencia máxima a la compresión y flexión para lograr una mayor capacidad estructural.
- Desarrollo de altas resistencias a edades tempranas para tiempos de ciclo de producción más cortos.
- Le da al concreto una permeabilidad baja para una mejor resistencia a la penetración de agua y sal.
- Mejor resistencia a la abrasión y a químicos para una mayor expectativa de vida/durabilidad.
- Mayores resistencias a desconchamiento y ciclos de congelamiento-descongelamiento.
- Mejora el comportamiento del concreto para reducir dimensiones de columnas, incrementa la producción y baja los costos de transporte y avance de obras.

Información técnica

Gravedad específica.....	2.2
Densidad a granel.....	aprox. 30 lb/ft ³ (481 kg/m ³)
Contenido de microsilice.....	100 %
SiO ₂ Amorfo.....	92-98 %

Envase

EUCON MSA viene empacado en sacos de 25 kg en tarimas envueltas en plástico.
Se recomienda mantener el aditivo siempre tapado en los envases que EUCOMEX provee.

Tiempo de vida

24 meses en el envase original cerrado.

Normas/Cumplimientos

EUCON MSA cumple con los requisitos de ASTM C1240.

Instrucciones de uso

Dada la finura de las partículas de EUCON MSA, el aditivo debe estar muy bien mezclado, dispersándolo completamente alrededor de las partículas de cemento. La dispersión adecuada se logra cuando se agrega primero la microsilica en el proceso de mezclado. Una secuencia típica de mezcla sería:

1. EUCON MSA
2. 75% agregado grueso, más arena y 75% agua
3. Aditivo de inclusión de aire (si es necesario)
4. Cemento
5. Reductor de agua de alto rango EUCON 37(*)
6. 25% agregado grueso y 25% de agua.

Especialidades

EUCON MSA

Via José López Portillo 69 • Tultitlán, Edo. de México, 54940
01-800-8-382543 i • 5864-9970 m

www.eucomex.com.mx

(*) La demanda (necesidad) de agua aumentará cuando se use microsilica. La mayoría de las mezclas necesitan del uso de un reductor de agua de alto rango para mantener la trabajabilidad, un bajo contenido de agua y una relación agua/cemento baja.

Dosificación.- EUCON MSA normalmente se dosifica a razón de 3 - 10% sobre la base de la masa (peso) del cemento. Póngase en contacto con EUCOMEX para que lo guíen cuando se necesiten dosificaciones más altas de hasta 15% sobre la base de la masa del cemento.

Colocación.- El concreto tratado con EUCON MSA puede ser colocado de la misma manera que el concreto convencional.

Acabado.- El concreto que contiene EUCON MSA va a exudar mucho menos que el concreto convencional; a dosificaciones más altas el exudado será prácticamente eliminado. Las fisuras por retracción plástica ocurren debido a una rápida pérdida de humedad en la superficie del concreto. Dado que el concreto con EUCON MSA tendrá una cantidad reducida de agua por exudado para reemplazar la que se ha evaporado, será más susceptible a fisuras por retracción plástica.

Así también, las fisuras por retracción plástica son más frecuentes cuando se presenta humedad baja, viento, temperaturas ambientales y del concreto altas en cualquier combinación. Cuando existen esas condiciones, debe utilizarse un retardante de evaporación como EUCOBAR. (Véase la hoja técnica de EUCOBAR para estudiar la gráfica que muestra cuando las condiciones son favorables para que ocurran fisuras por retracción plástica). Observe que las fisuras por retracción plástica en concreto con EUCON MSA van a ocurrir a una rapidez de evaporación más baja que el concreto normal. Se pueden utilizar métodos diferentes a EUCOBAR para ayudar a reducir la posibilidad de retracción plástica. Estos incluyen la construcción de rompevientos, aplicación de rocío nebulizado entre cada operación de acabado, cubrir el concreto con yute mojado y reducción de la temperatura del concreto con hielo o agregados enfriados. También se puede colocar el concreto en las últimas horas de la tarde para evitar los rayos directos del sol y las altas temperaturas.

Si ocurren las fisuras por retracción plástica, el volver a trabajar rápidamente el concreto fresco las cierra de una manera efectiva, sobre todo si se emplean herramientas de magnesio o acero. El concreto debe ser tapado completa y rápidamente o mantenerse húmedo para prevenir que vuelvan a ocurrir las fisuras por retracción.

Si se utiliza una dosis alta de EUCON MSA en la mezcla de concreto y las condiciones son favorables para que ocurran las fisuras por retracción plástica, puede ser muy difícil darle el acabado al concreto. En este tipo de situaciones se recomienda se use un proceso de acabado de un sólo paso con llana, llana tipo avión, escobillado u otro texturizado de la superficie, seguido inmediatamente por un buen procedimiento de curado.

Curado.- Es de suma importancia seguir los procedimientos correctos de curado en el concreto con EUCON MSA para poder lograr la alta resistencia y durabilidad para que fué diseñado. El curado correcto necesita el mantenimiento de las condiciones correctas de humedad y temperatura en el concreto.

Todo el curado del concreto que contiene EUCON MSA debe iniciar inmediatamente después de que se concluye el procedimiento de acabado. Los métodos de curado aceptables son arpillera húmeda, polietileno y el uso de una membrana líquida alta en sólidos que forme compuesto de curado, tal como SUPER REZ-SEAL o SUPER AQUA-CURE VOX.

Si no desea un compuesto de curado, deberá realizar curado húmedo por lo menos durante siete (7) días.

Limpieza

Limpie con agua las herramientas y el equipo antes de que el material se endurezca.

Precauciones/Limitaciones

- Se recomienda hacer diseños de mezcla, mezclas de prueba y losas de prueba dadas las variaciones en el cemento y los agregados de cada lugar.
- No permita que se congele hasta que haya alcanzado la resistencia mínima de 7 MPa (1000 psi).
- El producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.

Rev. 05.16

NOTA: Para mayor información sobre este producto diríjase al Departamento de Servicio a Clientes de EUCOMEX o a su Asesor Técnico Comercial en la región. Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previas a su empleo en gran escala. EUCOMEX se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo. La única garantía sobre los productos fabricados o comercializados por EUCOMEX, se describe en la página electrónica www.eucomex.com.mx



EUCLD GROUP
EUCOMEX



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 (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:
CARLOS FRANK GOMEZ SANCHEZ

Código N° 2012800741

Ha realizado los ensayos en el Laboratorio de Suelos y Concreto correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada: **"COMPARACIÓN E INFLUENCIA DE LA PUZOLANA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO CURADO EN AUTOCLAVE CON UN CONCRETO CURADO EN CONDICIONES NORMALES"**.

Los ensayos efectuados por los señores bachilleres fueron los siguientes:

DESCRIPCIÓN	CANT.
Análisis Granulométrico por Tamizado Ag. Fino	4
Peso Específico A. Fino y Absorción	1
Peso Unitario Suelto	3
Peso Unitario Varillado	3
Resistencia a la Compresión de Probetas	253
Contenido de Humedad de los Agregados	3
Contenido de Aire	2

El costo total de los ensayos realizados asciende a: S/. 844.00

El costo cancelado por dichos ensayos asciende a: S/. 500.00* (Comprobante BO17-00000675)

*Según autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, se llevaron a cabo entre el **03/05/17** y el **05/04/18**.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para continuidad en el trámite de titulación.

Arequipa, 30 de Abril del 2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA


Dr. Ing. ALEJANDRO VÍCTOR HIDALGO VALDIVIA
COORDINADOR DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
EPIC-PAICA - CAMPUS PARQUE INDUSTRIAL