

**METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE TIEMPOS DE FRAGUADO ACCELERADO TOMANDO DATOS
DE PROYECTOS PREEXISTENTES**

BRAYAN DAVID ORTIZ BARRANTES - 000297606

HONEL MAURICIO PLATA SERRANO - 000297652

DIRECTOR:

ING. MSc. LUDWING PEREZ BUSTOS

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2020**

.

**METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE TIEMPOS DE FRAGUADO ACELERADO TOMANDO DATOS
DE PROYECTOS PREEXISTENTES**

BRAYAN DAVID ORTIZ BARRANTES - 000297606

HONEL MAURICIO PLATA SERRANO - 000297652

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, PRESENTADO COMO REQUISITO DE GRADO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

ING. MSc. LUDWING PEREZ BUSTOS

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2020**

Nota de aceptación:

Firma Presidente del Jurado

Firma Jurado N°1

Firma Jurado N°2

Bucaramanga, Noviembre de 2020

DEDICATORIA

“Quiero dedicarle este trabajo de grado a mis padres quienes han sido un motor muy grande y han estado ahí cuando más los necesite, a mis todos mis profesores quienes han hecho de mí una mejor persona para llegar a ser un gran profesional; por último y no menos importante este trabajo se lo dedico a Dios que me ha dado la vida, la perseverancia y la fortaleza necesaria para terminar este proyecto de mi vida.” **BRAYAN DAVID ORTIZ BARRANTES**

“A YOLANDA SERRANO Y CARLOS PLATA, mis padres por darme la vida, su apoyo, comprensión, y amor. A LUIS CARLOS PLATA, HARBY PLATA Y SERGIO PLATA mis hermanos Por su buenos consejos y acompañamiento durante toda mi carrera. A mi familia por todo su apoyo incondicional y sabios consejos. A mis amigos, por sus voces de aliento cuando lo necesite. También dedico este logro a los docentes por su buen acogimiento, colaboración y gran ambiente de estudio.”

HONEL MAURICIO PLATA SERRANO

AGRADECIMIENTO

A la universidad Pontificia Bolivariana, por transmitirnos el conocimiento y las herramientas necesarias para formarnos como buenos profesionales.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la universidad por la ayuda y la fortaleza que nos dieron a todos nosotros en nuestra preparación.

A nuestros profesores de carrera quienes fueron nuestros principales modelos a seguir en toda nuestra carrera.

A nuestro asesor del Trabajo de Grado MSc. LUDWING PEREZ BUSTOS, por su ayuda incondicional y profesionalismo en el proceso de este trabajo.

A todas las personas que fueron participes en este documento como amigos, profesores y laboratoristas.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo general:.....	3
3.2. Objetivos específicos.....	3
4. MARCO TEÓRICO.....	4
4.1. Cemento.....	4
4.2. Características del Cemento.....	4
4.2.1. Proceso de fabricación del cemento	5
4.2.2. Tipos de cemento	6
4.3. Componentes del cemento	7
4.4. Propiedades Físicas del Cemento.....	9
4.4.1. Fineza	9
4.4.2. Fraguado	9
4.4.3. Estabilidad Volumétrica	10
4.4.4. Resistencia del Cemento	10
4.5. Agregado	10
4.6. Clasificación de los Agregados Para el Concreto.....	11
4.6.1. Por su Procedencia	11
4.6.2. Por su Gradación	11
4.6.3. Por su Densidad	12
4.7. Propiedades Físicas de los Agregados.....	12
4.7.1. Humedad	12
4.7.2. Peso Unitario	13
4.7.3. Granulometría	13
4.7.4. Peso Específico y Absorción	15
4.8. Propiedades Mecánicas de los Agregados	15
4.8.1. Resistencia	15
4.8.2. Tenacidad	16

4.8.3.	Dureza	16
4.8.4.	Módulo de Elasticidad	16
4.9.	Mortero	16
4.10.	Propiedades del mortero	17
4.11.	Usos del mortero.....	18
4.12.	Propiedades de los morteros en estado plástico	18
4.12.1.	Trabajabilidad	18
4.12.2.	Hidratación, Tiempo de Fraguado y Endurecimiento	19
4.12.3.	Velocidad de Secado del Mortero	19
4.13.	Propiedades de los morteros en estado de endurecimiento.....	19
4.13.1.	Retracción	19
4.13.2.	Adherencia	19
4.13.3.	Resistencia	20
4.13.4.	Durabilidad	20
4.13.5.	Apariencia	20
4.14.	Concreto	20
4.15.	Propiedades del Concreto en Estado Fresco.....	21
4.15.1.	Trabajabilidad	21
4.15.2.	Estabilidad	21
4.15.3.	Movilidad	21
4.15.4.	Compactibilidad	21
4.15.5.	Segregación	22
4.15.6.	Exudación	22
4.15.7.	Contracción	22
4.16.	Propiedades del Concreto en Estado Endurecido	23
4.16.1.	Elasticidad	23
4.16.2.	Resistencia	23
4.16.3.	Extensibilidad	24
4.17.	Curado del Concreto	24
4.17.1.	Curado Inicial	24
4.17.2.	Curado Final	24
4.18.	Curado Acelerado.....	25
4.19.	Acelerantes por medio de Aditivos	25

4.19.1.	Acelerantes más comunes en el mercado colombiano	25
4.20.	Acelerantes por medio de cambios en su temperatura.....	25
4.21.	Diagrama de cajas y bigotes.....	26
4.22.	Minitab	29
4.23.	Análisis de Varianza “ANOVA”	30
5.	EXTRACCIÓN DE DATOS DE PROYECTOS PREEXISTENTES	31
5.1.	Metodología Curado Convencional.....	31
5.1.1.	Revisión bibliográfica	31
5.1.2.	Extracción de Datos.....	31
5.2.	Metodología Curado Acelerado por Agua Caliente	33
5.2.1.	Revisión bibliográfica	35
5.2.2.	Extracción de datos	35
5.3.	Metodología Curado Acelerado por Agua Hirviendo.....	37
5.3.1.	Revisión bibliográfica	37
5.3.2.	Extracción de datos	37
5.4.	Metodología Curado Acelerado por Implementación de Aditivos	38
5.4.1.	Revisión bibliográfica	38
5.4.2.	Extracción de Datos.....	39
6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
6.1.	Análisis Estadístico Método Curado Convencional	42
6.2.	Análisis Estadístico Método Curado por Agua Caliente	45
6.3.	Resultado del Método Curado por Agua Hirviendo	48
6.4.	Resultados del Método Aceleración por Adición de Aditivos	51
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO	56
8.	ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RESISTENCIA OBTENIDA	66
9.	METODOLOGÍA PROPUESTA	70
9.1.	Caracterización del Material	71
9.2.	Diseño de Mezcla	72
9.3.	Paso a paso del diseño de mezcla ACI 211.1.....	73
9.4.	Creación de Especímenes.....	78
9.4.1.	Método de Elaboración de Mortero Convencional.....	78
9.4.2.	Método Agua Hirviendo	79
9.4.3.	Método agua caliente	79

9.4.4.	Método Aditivos.....	80
9.5.	Tiempo De Curado de Especímenes.....	80
9.6.	Ensayos a Compresión.....	81
9.7.	Análisis y Procesamiento de Datos	81
10.	CONCLUSIONES	82
11.	RECOMENDACIONES	84
	Referencias.....	85
	ANEXOS	89
11.1.	Anexo A	89
11.1.1.	GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	89
11.1.2.	PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO.....	92
11.1.3.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	92
11.1.4.	GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO MTC E-204.....	93
11.1.5.	PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-29	94
11.1.6.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-128	94
11.1.7.	DISEÑO DE MEZCLA MÉTODO DEL COMITÉ 211-ACI	95
11.1.8.	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL DEL CONCRETO	99
11.2.	Anexo B.....	101
11.3.	Anexo C.....	108
11.4.	Anexo D	117
11.5.	Anexo E.....	121
11.6.	ANEXO F.....	123

Lista de imágenes

IMAGEN 1: CEMENTO GRIS	4
<i>IMAGEN 2: FÁBRICA DE ELABORACIÓN DE CEMENTO</i>	5
<i>IMAGEN 3: TIPOS DE CEMENTO</i>	6
<i>IMAGEN 4: JUEGO DE TAMICES PARA ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</i>	13
<i>IMAGEN 5 CONTEXTURA DE UN MORTERO</i>	17
<i>IMAGEN 6: CORTE EN MUROS DE MORTERO O CONCRETO</i>	18
IMAGEN 7. CURVA DE CRECIMIENTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y SU INFLUENCIA DE HUMEDAD.	23
IMAGEN 8. REPRESENTACIÓN DE CAJA Y BIGOTES	27
IMAGEN 9. REPRESENTACIÓN DE LA CAJA Y BIGOTES	28
IMAGEN 10. REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN UNA GRÁFICA DE CAJA Y BIGOTES	29
IMAGEN 11. MINITAB	29
IMAGEN 12. DISTRIBUCIÓN F, GRÁFICAMENTE	30

Lista de tablas

TABLA 1: LÍMITES DE LA COMPOSICIÓN APROXIMADOS PARA EL CEMENTO.	7
TABLA 2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO	7
TABLA 3: LÍMITES GRANULOMÉTRICOS AGREGADO FINO	14
TABLA 4: LÍMITES GRANULOMÉTRICOS AGREGADO GRUESO.....	14
TABLA 5: FLUIDEZ RECOMENDADA DEL MORTERO PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN.....	17
TABLA 2. MÉTODOS PARA EL CURADO ACELERADO POR MEDIO DE CAMBIOS DE TEMPERATURA	26
TABLA 3: NUMERO DE MUESTRAS DISEÑADO POR EL MÉTODO CONVENCIONAL	32
TABLA 4: CONTROL DE PRODUCCIÓN Y RESISTENCIA DEL CONCRETO POR MÉTODO CONVENCIONAL	33
TABLA 5. CUADRO DE RESUMEN NORMA ASTM C684 CURADO ACELERADO	34
TABLA 6. RESUMEN DE LA DOSIFICACIÓN UTILIZADA	35
TABLA 7. RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN CURADO CON AGUA CALIENTE.....	36
TABLA 8. RELACIÓN AGUA-CEMENTO USADA Y RESISTENCIA ESTIMADA POR EL MÉTODO ACI	37
TABLA 9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES A LOS 28 DÍAS, CON AGREGADO DE CANTERA PARA UN ESFUERZO DE 210KG/CM2 (PIEDRA CHANCADA)	38
TABLA 10. NÚMERO DE MUESTRAS A DISEÑAR POR MÉTODO DE ADITIVOS	39
TABLA 11. CONTROL DE PRODUCCIÓN Y RESISTENCIA DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE 1:10 PARTES DE AGUA DE SIKA-3	40
TABLA 12. CONTROL DE PRODUCCIÓN Y RESISTENCIA AL CONCRETO CON ADICIÓN DE 47.06 CM ³ DE CHEMA-5 POR KG DE CEMENTO	41
TABLA 13. RESUMEN DATOS A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS, MÉTODO CONVENCIONAL	42
TABLA 14. ESFUERZOS OBTENIDOS - MÉTODO CONVENCIONAL	43
TABLA 15. ANÁLISIS ESTADÍSTICO MÉTODO CONVENCIONAL	44
TABLA 16. RESUMEN DE RESULTADOS ACEPTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN CURADO CON AGUA CALIENTE	45
TABLA 17. ESFUERZOS OBTENIDOS - AGUA CALIENTE.....	46
TABLA 18. ANÁLISIS ESTADÍSTICO AGUA CALIENTE	47
TABLA 19. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CON AGREGADO DE CANTERA PARA UN AGREGADO DE 210KG/CM ² (PIEDRA CHANCADA)	48
TABLA 20. RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN CON AGREGADO DE CANTERA (PIEDRA CHANCADA).....	48
TABLA 21. ESFUERZOS OBTENIDOS - AGUA HIRVIENDO	49
TABLA 22. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO AGUA HIRVIENDO.....	50
TABLA 23. RESUMEN DATOS A COMPRESIÓN ADITIVO SIKA-3.....	51
TABLA 24. RESUMEN DATOS A COMPRESIÓN ADITIVO CHEMA-5.....	51
TABLA 25. ESFUERZOS OBTENIDOS - ADITIVO SIKA-3	52
TABLA 26. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO SIKA-3	53
TABLA 27. ESFUERZOS OBTENIDOS - ADITIVO CHEMA-5.....	54
TABLA 28. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO CHEMA-5	55
TABLA 29. ANÁLISIS DE VARIANZA – ESFUERZOS Y MEDIA DE CADA MÉTODO.....	56
TABLA 30. ANÁLISIS DE VARIANZA - SUMA DE CUADRADOS TOTALES	58
TABLA 31. ANÁLISIS DE VARIANZA - SUMA DE CUADRADOS DE TRATAMIENTO	59
TABLA 32. ANÁLISIS DE VARIANZA - SUMA DE CUADRADOS POR ERROR.....	61
TABLA 33. ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN Y SISTEMAS DE COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN	73
TABLA 34. TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.	74
TABLA 35. REQUERIMIENTO APROXIMADO DE AGUA DE MEZCLADO PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADO, CON PARTÍCULAS DE FORMA REDONDEADA Y TEXTURA LISA, EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO.	74

TABLA 36. REQUERIMIENTO APROXIMADO DE AGUA DE MEZCLADO PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADO, CON PARTÍCULAS DE FORMA ANGULAR Y TEXTURA RUGOSA, EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO.	75
TABLA 37. RESISTENCIA REQUERIDA DE DISEÑO CUANDO NO HAY DATOS QUE PERMITEN DETERMINAR LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.75	
TABLA 38. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO.....	77
TABLA 39. TIEMPO DE CURADO DE ESPECÍMENES.....	81
TABLA 40. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN DE FISHER	123

Lista de gráficas

GRÁFICA 1. RESISTENCIA VS TIEMPO CURADO CONVENCIONAL	43
GRÁFICA 2. CAJA Y BIGOTES MÉTODO CONVENCIONAL.....	44
GRÁFICA 3. RESISTENCIA VS TIEMPO MÉTODO AGUA CALIENTE.....	46
GRÁFICA 4. CAJA Y BIGOTES MÉTODO AGUA CALIENTE	47
GRÁFICA 5. RESISTENCIA VS TIEMPO AGUA HIRVIENDO.....	49
GRÁFICA 6. CAJA Y BIGOTES AGUA HIRVIENDO	50
GRÁFICA 7. RESISTENCIA VS TIEMPO ADITIVO SIKA-3.....	52
GRÁFICA 8. CAJA Y BIGOTES SIKA-3	53
GRÁFICA 9. RESISTENCIA VS TIEMPO ADITIVO CHEMA-5.....	54
GRÁFICA 10. CAJA Y BIGOTES CHEMA-5	55
GRÁFICA 11. ANÁLISIS DE VARIANZA, GRÁFICA GENERAL DE CAJA Y BIGOTES.....	65
GRÁFICA 12. COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE CURADO CONVENCIONAL VS CURADO AGUA CALIENTE.....	66
GRÁFICA 13. COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE CURADO CONVENCIONAL VS CURADO AGUA HIRVIENDO	67
GRÁFICA 14. COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE CURADO CONVENCIONAL VS IMPLEMENTACIÓN DE ADITIVO SIKA-3.....	67
GRÁFICA 15. COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE CURADO CONVENCIONAL VS IMPLEMENTACIÓN DE ADITIVO CHEMA-5	68
GRÁFICA 16. COMPARACIÓN DE MÉTODOS: CONVENCIONAL, AGUA CALIENTE Y AGUA HIRVIENDO	68
GRÁFICA 17. COMPARACIÓN DE MÉTODOS: CONVENCIONAL, ADITIVO SIKA-3 Y ADITIVO CHEMA-5	69
GRÁFICA 18. CORRESPONDENCIA ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA – CEMENTO PARA LOS CEMENTOS COLOMBIANOS, PORTLAND TIPO 1 EN CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO	76

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE TIEMPOS DE FRAGUADO ACELERADO TOMANDO DATOS DE PROYECTOS PREEXISTENTES

AUTOR(ES): Brayan David Ortiz Barrantes
Honel Mauricio Plata Serrano

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): ING. MSc. LUDWING PEREZ BUSTOS

RESUMEN

El presente proyecto de grado busca comparar los distintos métodos que se tienen en la construcción para acelerar el tiempo de fraguado de un mortero, para eso investigaremos los distintos métodos usados en diferentes proyectos de grado preexistentes, con el fin de reunir toda la información posible que nos ayude a dar una idea más clara y eficiente del problema planteado en este proyecto de grado. El proyecto se formuló una metodología tomando datos provenientes de distintas fuentes de investigación (artículos, libros y trabajos de grado), que ayudó a tener distintos métodos de aceleración del tiempo de fraguado y por medio de estas, obtener ideas más claras mediante distintos procesos estadísticos de los métodos investigados. La investigación fue enfocada en los métodos de aceleración por medio de cambios de temperatura (35°C y 100°C), y aditivos convencionales. Los métodos por cambios de temperatura están mencionados en la norma NTC 1513 y los aditivos convencionales en el campo de la construcción.

PALABRAS CLAVE:

FRAGUADO, MORTERO, MEZCLA, ADITIVOS, TIEMPOS DE CURADO ACELERADO

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: METHODOLOGY FOR THE STUDY OF ACCELERATED SETTING TIMES TAKEN DATA FROM PRE-EXISTING PROJECTS

AUTHOR(S): Brayan David Ortiz Barrantes
Honel Mauricio Plata Serrano

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: ING. MSc. LUDWING PEREZ BUSTOS

ABSTRACT

This degree project seeks to give a clearer idea of the different methods used in construction to accelerate the setting time of a mortar, for that we will remotely investigate the different methods used in different pre-existing degree projects, with the [in](#) order to gather all the possible information that helps us to give a clearer and more efficient idea of the problem raised in this degree project. The project will consist of formulating a methodology taking data from different research sources (articles, books and degree works), which will help us to have different methods of accelerating the setting time and through these, obtain clearer ideas through processes statistics of the methods that we found from the different sources investigated. The research will be focused on acceleration methods through temperature changes (35°C and 100°C), and conventional additives. The methods for temperature changes are mentioned in the NTC 1513 standard and conventional additives in the construction field

KEYWORDS:

HARDENING, MORTAR, MIX, ADDITIVE, ACCELERATED CURING TIME

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El concreto producido por la mezcla entre agua, cemento y agregados (arena y piedra) que al ser combinados y luego de un tiempo de curado (normal o acelerado mediante métodos naturales o químicos) se forma una masa endurecida y potentemente resistente a compresión, todo esto será viable cuando el diseño de mezcla tenga la dosificación ideal para que sus componentes cumplan con la resistencia deseada por el diseñador.

Una mezcla de concreto está diseñada para llegar a su resistencia máxima en un lapso de 28 días para una mezcla convencional, sin embargo, este factor puede ser modificado de dos maneras, la primera por medios químicos adicionando una proporción óptima de aditivo o por medio de variaciones de temperatura, dichos métodos del curado son recomendados por la Norma INV-E-412 (Método curado por agua caliente, Método curado por agua hirviendo, Método de curado en autoclave y Método de alta presión y temperatura).

Los aditivos cumplen la función de variar las propiedades tanto física como mecánica del concreto y así mejorar su resistencia. Se analizará dos marcas distintas de aditivos siendo unas de las más comunes y utilizadas en el mercado llamadas Sika-3 y Chema-5.

Bajo la norma INV-E-412 se estudiará dos de los 4 métodos nombrados en dicha norma, Método de curado por agua caliente que básicamente se debe controlar el agua de la pila de curado manteniéndola en 35 °C y sumergir las probetas inmediatamente después del vaciado; Método de curado por agua hirviendo que se deberán sumergir las probetas 23h ± 30 min después del vaciado y controlar que el agua de la pila de curado se mantenga en ebullición.

Por motivo al cierre temporal de la UPB debido a la crisis generada por el COVID-19 y adoptando las medidas de bioseguridad recomendadas, se optó por tomar los datos de dichos métodos mencionados de 3 proyectos preexistentes y analizar estadísticamente cada uno; las tesis del cual se sacaron los datos son tituladas “ESTUDIO COMPARATIVO DEL EFECTO DE ADITIVOS CHEMA Y SIKA ACELERADORES DE FRAGUA EN LA CIUDAD DEL CUSCO EN CONCRETOS EXPUESTOS A CLIMAS ALTO ANDINOS [1]” “ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CURADO ACELERADO FRENTE AL CURADO CONVENCIONAL EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO [2]” “ACELERACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO CON EMPLEO DE AGUA EN EBULLICIÓN [3]”

De cada tesis se tomó los resultados a compresión arrojados por los ensayos realizados por cada tesista, una vez obtenido dichos datos, se hace un análisis estadístico y un análisis de varianza “Anova”; dicho estudio es netamente ESTADÍSTICO.

Por último, se sugiere una metodología, en donde se incentiva a otros estudiantes a que lleven esta metodología teórica a la parte experimental en campo y a que se continúe investigando sobre mejores métodos para la aceleración en el fraguado de un concreto o mortero.

2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

En Colombia, durante las últimas décadas, el principal problema en algunos procesos constructivos es el extenso tiempo que se demora una estructura en llegar a su resistencia final, esto ha llegado a convertirse en una de las áreas que afecta tanto al cronograma como a un presupuesto de obra.

De acuerdo a la norma INVIAS, La INV-E-412 [4] y la NTC 1513 [5] nos menciona una alternativa para este problema y nombrados como “método de agua caliente y método de agua hirviendo”, estos métodos garantiza que podemos llegar a la resistencia máxima en cuestión de horas y que alcanza la misma resistencia que un curado convencional; El problema radica en que la norma solo menciona estas alternativas como propuestas a esta problemática, no menciona un procedimiento ni tablas de resultado, así mismo pasa con los aditivos acelerantes los cuales solo mencionan su funcionamiento y los ensayos que realizaron las empresas que venden estos aditivos que comprueban y garanticen la efectividad del producto pero no dan una ficha técnica con los resultados de laboratorio y bajo que parámetros se aplicaron estas pruebas. Este proyecto de grado se realizará por medio de métodos investigativos lo cual estará enfocado al tiempo de curado siguiendo metodologías propuestas en investigaciones preexistentes.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general:

- ✓ Investigar distintos métodos utilizados en diferentes proyectos preexistentes con respecto a la aceleración del tiempo de fraguado, por medio del uso de aditivos y variaciones de temperatura.

3.2. Objetivos específicos

- ✓ Recopilar información de distintas fuentes de investigación como artículos, libros y trabajos de grado, que mencionen la aceleración del tiempo de fraguado por métodos de cambio de temperatura o aditivos.
- ✓ Analizar estadísticamente la información recopilada.
- ✓ Tomar el método de fraguado convencional y compararlo con las fuentes de investigación obtenidas en nuestro proyecto para poder dar una validez en el proceso de fraguado acelerado.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Cemento

El Cemento es un material de construcción el cual es un polvo fino que se deriva de un proceso de calcinación a altas temperaturas de una mezcla entre arcilla, piedra caliza y un mineral del hierro. El material del procedimiento de calcinación es el Clinker, el cual se muele con otros materiales como lo es el yeso y aditivos químicos.

El cemento es uno de los principales materiales de construcción utilizados en el mundo, ya que aporta demasiadas propiedades útiles a la hora de hacer cualquier clase de construcción.

4.2. Características del Cemento

Imagen 1: Cemento gris



Fuente: tomado de internet. Disponible en www.Fierros.com

Es un proceso de transformación de arcillas y calizas que son sometidas a hornos con altas temperaturas, que al ser mezcladas con agua forma una pasta que reacciona teniendo un proceso de endurecimiento y obteniendo una resistencia ultima incluso sometiénola la mezcla a condiciones debajo del agua.

4.2.1. Proceso de fabricación del cemento

Imagen 2: Fábrica de elaboración de cemento



Fuente: tomado de internet. Disponible en www.Ennomotive.com

- Extracción de la materia prima en las canteras
- Obtención del triturado de la materia prima
- Se transporta por banda y se pasa por una máquina de rayos gamma y se pre homogeniza
- se almacena la materia prima para obtener minerales de hierro y caliza
- se pulveriza
- obtención del Clinker. El material se pasa por hornos a altas temperaturas y se transforma en Clinker
- el Clinker se pasa por unos rodillos y se tritura con yeso (se determina el tipo de cemento)
- se empaqueta y se vende

4.2.2. Tipos de cemento

Imagen 3: Tipos de cemento



Fuente: tomado de internet. Disponible en www.ÁgoraMateriales.com

Se pueden clasificar dependiendo el porcentaje de la dosificación que se le agregue y así se puede obtener diferentes propiedades y características:

- Cemento tipo 1: es el más utilizado en la industria, también conocido como cemento gris.
- Cemento tipo 1 especial: este tiene mayor resistencia que el tipo 1 y es utilizado industrialmente.
- Cemento tipo 2: es usado principalmente cuando se tiene presencia de sulfatos.
- Cemento tipo 3: tiene un proceso de endurecimiento más rápido y con alta resistencia iniciales.
- Cemento tipo 4: tiene un secado lento y se usa en construcciones que no se necesitan tener rápido altas resistencias iniciales.
- Cemento tipo 5: resiste a la presencia de sulfatos y se obtiene una gran resistencia, gracias a esto se utiliza mucho en estructuras hidráulicas o estructuras que estarán expuestas al agua.

4.3. Componentes del cemento

Los elementos que forman el cemento son principalmente el Sílice, alúmina, cal y óxido de hierro.

Tabla 1: Límites de la composición Aproximados para el cemento.

ÓXIDO	CONTENIDO %
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0.5 – 6
MgO	0.1 – 4
Álcalis	0.2 – 1.3
SO ₃	1 - 3

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. [6] Pag.23.

“Esta composición interactúa en el horno, para unificarse y formar un producto más completo, hasta alcanzar una uniformidad entre ellos y alcanzar un equilibrio químico. Sin embargo, el equilibrio no se mantiene durante el enfriamiento, y esto ocasiona que la velocidad de este afecte el grado de cristalización y la cantidad de material amorfo, más conocido como vidrio ya que difieren notoriamente de los compuestos cristalinos de una composición química nominal similar” [6].

Tabla 2: Composición química del cemento

Nombre del compuesto	Formula	Notación Abreviada
Silicato Dicálcico	2CaO.SiO ₂	C2S
Silicato Tricálcico	3CaO.SiO ₂	C3S
Aluminato Tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A
Aluminio Ferrita Tricálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O	C4AF

Fuente: [7].

- **Silicato Tricálcico, C3S**

Este componente también conocido como Alita, es la Fase más importante de los cementos portland, ya que es el 73.7 % cal y 26.3% ácido silícico. Este silicato aporta de manera eficaz a la resistencia inicial de nuestra mezcla, siendo su velocidad de hidratación muy alta, y a su vez desarrolla un alto porcentaje de hidratación llegando a una hidratación completa de 120 cal/gr.

Se ha demostrado que concretos hechos a base de este componente tricálcico presentan una eficaz acción a los ciclos de hielo y deshielo, los cuales han sido recomendadas para zonas de climas fríos.

- **Aluminato Tricálcico, C3A**

Este componente está hecho de 62.3% cal y 37.7% de alúmina. Este presenta una tonalidad oscura ante el examen microscópico de Clinker, el compuesto aluminato es el compuesto que primero reacciona al contacto con el agua. Su proceso de fraguado ocurre a una velocidad muy rápida, casi instantáneo, por esta razón la adición del sulfato de calcio se hace obligatoria para regular la velocidad de hidratación. El aluminato tricálcico constituye a las resistencias en las primeras horas y su calor de hidratación es de 207 cal/gr.

El aluminato tricálcico es demasiado sensible a la acción de sulfatos y cloruros, esto ocurre ya que las sales de los sulfoaluminatos y los cloroaluminatos, son de carácter expansivo y pueden originar a la mezcla un agrietamiento o desintegración del concreto.

“Los cementos que presentan porcentajes bajos de silicato tricálcico(C3A), son los que mejor reaccionan a suelos y aguas con sulfatos” [6].

- **Ferroaluminato Tetracálcico, C4AF**

“Está conformado por 46.1% de cal, 21% de alúmina y 32.9% de óxido de hierro. Este compuesto también es conocido como Celita Clara o Ferrito. Este presenta calor de hidratación de 100 cal/gr y a su vez una estabilidad química para la reducción de la temperatura de clinkerización durante el proceso de elaboración del cemento, aquellos cementos con mayor cantidad de Ferroaluminato Tetracálcico obtienen condiciones específicas a la hora de que se priorice más la durabilidad frente a los agresivos químicos de las resistencias mecánicas” [6].

La Celita o Ferrito constituye a un poco resistencia ya que la mayoría de los cementos grises se deben al C4F y sus respectivos hidratos.

- **Silicato Dicálcico**

También conocida como Belita y es la segunda fase más importante del Clinker. su conformación está dada por 65.1% de cal y 34.9% de ácido silícico. Este compuesto está conformado por cristales anchos, redondos y variados en su tamaño.

Este compuesto tiene una lenta velocidad de hidratación y un bajo desarrollo de calor de 62 cal/gr, debido a su lento endurecimiento, es muy pequeña la resistencia inicial debido a la contribución del silicato Dicálcico. Su estabilidad química es muy buena lo cual su alto contenido es usado para producir concretos resistentes al sulfato. Gracias a la usencia de sulfatos, el proceso de fraguado es más apresurado, y a su vez también puede ayudar al control de la retracción por secado y a la influencia en la resistencia de los 28 días.

4.4. Propiedades Físicas del Cemento

4.4.1. Fineza

Esta propiedad es muy importante ya que, a mayor finura, este desarrolla una resistencia alta, pero eleva su temperatura y esto es debido a que las partículas más grandes tardan mucho tiempo en hidratarse o en muchas ocasiones a nunca hacerlo completamente, mientras que, cuando se es más fino el cemento, mayor será la cantidad de partículas que se hidrataran. Cuando una gran parte del porcentaje de masa total del cemento se hidrata, esta reacciona y logra un desarrollo alto en su resistencia, pero también será mayor cantidad de calor que desprenda.

4.4.2. Fraguado

En términos generales la propiedad de fraguado describe el tiempo en el cual una pasta de cemento se endurece, se refiere a un cambio de estado fluido a un estado rígido. En este cambio la pasta adquiere cierta resistencia.

En este proceso el fraguado va acompañado de cambios de temperatura y también produce una fuerte caída en la conductividad eléctrica por lo cual se han realizado intentos por tratar de medir una resistencia por métodos eléctricos.

4.4.3. Estabilidad Volumétrica

Esta propiedad va después del proceso de fraguado y es evitar que durante el proceso de fraguado no sufra cambios significativos en su volumen ni mucho menos una expansión apreciable, la cual, podría ocasionar un rompimiento de la pasta una vez terminada su proceso de endurecimiento. Tal expansión puede ser debido a una hidratación retardada o una muy lenta o también por una reacción de algún compuesto en el cemento.

4.4.4. Resistencia del Cemento

El desarrollo de esta propiedad en el aspecto de resistencia del cemento es mayor, y el endurecimiento tiende a disminuir gradualmente con el tiempo. Según algunas normas el proceso de endurecimiento de una pasta de cemento se concluye a los 28 días de edad. La finura en un cemento es un factor importante en la resistencia de esta y a su vez, el grado de hidratación, el contenido de agua-cemento y su composición química.

4.5. Agregado

Este material de construcción también es conocido como Árido y es un material inerte, granular que podría ser natural o artificial. El árido se usa regularmente para ser mezclado con el cemento y con la presencia del agua, se crea una masa compacta denominada como concreto o mortero en algunas ocasiones.

La clasificación de este material constructivo depende del tamaño de su partícula o de su resistencia adecuada, así mismo se debe tener en cuenta que no tenga ningún factor que pueda desfavorecer a las propiedades o características de la masa de mortero o concreto, y para esto, se debe garantizar la adherencia con el cemento endurecido.

“la mayoría de áridos son inertes, es decir, que no incluyen ningún tipo de reacciones con los otros materiales de la mezcla, en especial con el cemento; no obstante, hay un tipo de agregado cuyas partículas más finas exponen cierta reacción en virtud de las propiedades hidráulicas ayudando al proceso de la resistencia mecánica, una de estas es: las escorias de alto horno de las siderúrgicas, también algunos áridos de procedencia volcánica en donde hay presencia de sílice activo” [6].

4.6. Clasificación de los Agregados Para el Concreto

Este material de construcción se puede clasificar dependiendo su procedencia, densidad y por su gradación.

4.6.1. Por su Procedencia

Los agregados se pueden dividir según su procedencia en dos grupos:

- **Agregado Natural**

Son aquellos cuya formación fue por medio de procesos geológicos que ocurrieron muchos años atrás en el planeta. Estos materiales tienen su proceso de selección, extracción y procesamiento para su debido uso en la construcción.

Este agregado es usado mucho en nuestro país ya que Colombia dispone de inmensa disponibilidad de este material, por lo que lo hace un material eficiente y fácil de conseguir para la producción de buena calidad de concretos de alta calidad.

- **Agregado Artificial**

Son aquellos cuya procedencia viene de un proceso detallado de transformación del material natural, estos proveen de productos secundarios que con un debido proceso pueden algunos a llegar a ser utilizados para la elaboración de masas de concreto hidráulico. Dentro de estos agregados artificiales se encuentra la conocida piedra chancada la cual es muy utilizada para los concretos de altas resistencias, debido a la angularidad de estas.

Otros tipos de materiales artificiales es la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el microsílíce, el concreto reciclado, entre otros.

4.6.2. Por su Gradación

Se refiere a su distribución volumétrica del mismo, esta propiedad es la encargada de diferenciar el agregado fino (arena) con el agregado grueso (piedra). Su distribución va en base al tamaño de la partícula ya que su relación es que se les llama agregado fino a las partículas menores de 4.75 mm y que pasen por un tamiz con malla N°4, en cambio al agregado grueso es todo aquel que sea mayor a 4.75 mm y que debidamente quede retenido en el tamiz con malla N°4.

4.6.3. Por su Densidad

También llamada gravedad específica, es decir, el peso del árido entre el volumen de esta, con respecto a una densidad del agua. Usualmente este material se clasifica de tipo normal con una gravedad específica G_e : 2.5 a 2.75, tipo ligeros con una gravedad de $G_e < 2.5$ y de tipo pesados con un $G_e > 2.75$. cada uno de estos tipos de agregados influyen de manera particular en el concreto, por lo cual se debe establecer un particular método, técnica de diseño y su tipo de uso para cada caso.

4.7. Propiedades Físicas de los Agregados

Una de las propiedades más importantes de estos materiales son la porosidad, resistencia, granulometría la cual es la distribución volumétrica de sus partículas, densidad y humedad.

Para poder determinar estas propiedades es necesario desarrollar una serie de laboratorios específicos dependiendo del tipo de material y las propiedades que queremos conocer de estas, estos ensayos o pruebas de laboratorio se deben de conocer para una buena caracterización de cada material y seguidamente un diseño de mezcla óptimo.

4.7.1. Humedad

Esta propiedad representa la cantidad de agua presente en los áridos, en pocas palabras es el agua que se encuentra dentro de los agregados.

Esta característica se debe de tener en cuenta ya que puede afectar la cantidad de agua en la mezcla de concreto, por tal motivo se debe tener en consideración acompañado de la absorción. La fórmula de contenido de humedad está determinada por:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W : Contenido de humedad del agregado en %.

W_w : Peso del agua en gr.

W_s : Peso seco del agregado en gr.

4.7.2. Peso Unitario

La fórmula del peso unitario para los agregados es el resultado de dividir el peso de los sólidos entre su respectivo volumen (se debe considerar en la ecuación los espacios). Una vez se tiene en cuenta los espacios entre agregados, este afecta, ya que depende al momento de saber cómo se acomodan las partículas y esto lo hace un parámetro incierto si no se tiene en cuenta este parámetro.

El peso unitario se efectúa sabiendo como es el acomodo de los agregados luego de un proceso de compactación en un recipiente, su método se realiza por medio de 25 apisonamientos con una varilla de 5/8 "dividida en 3 capas. Este resultado se debe de conocer al momento de un diseño de mezcla ya que nos ayuda a conocer la cantidad necesaria de agregado para el diseño.

Los pesos unitarios de los agregados más usuales varían entre 1500 Kg/m³ – 1700 Kg/m³.

4.7.3. Granulometría

Esta propiedad se estima como la distribución de los diferentes tipos de tamaños que tiene el agregado; esta se calcula mediante un conjunto de tamices de diferente tamaño de malla y está en todas las normas de cada país (en Colombia está establecido en la NTC 174), corresponde en hacer un proceso de cuarteo (dividir una muestra representativa que contenga distintos tamaños del agregado), la norma dice que una vez hecho el cuarteo se debe tomar una parte de ese cuarteo y pasarlo por una familia de tamices los cuales van muchas veces desde el tamiz 3/8" con un abertura de 9.5 mm hasta un pasa 200 con abertura del 0.074mm .

Imagen 4: Juego de tamices para Ensayo de Granulometría



Fuente: Propia

La NTC 174 [8] menciona los límites granulométricos tanto para agregado fino como para agregado grueso y están de la siguiente manera.

Tabla 3: Límites granulométricos Agregado Fino

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	10 a 30
150 µm	2 a 10

Fuente: [8] . Pag.5.

Tabla 4: Límites granulométricos Agregado Grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	-	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	-	-	-	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5	-

Fuente: [8] Tabla 2. Pag 8.

4.7.4. **Peso Específico y Absorción**

Resulta de la división entre el peso del agregado y el volumen de este sin tomar los vacíos que hay entre cada partícula del agregado. La [9] menciona un procedimiento estandarizado para el cálculo de este dato.

- Peso específico (Pe)

$$Pe = \frac{B}{Wc + B + W}$$

- % de Absorción (%Abs)

$$\%Abs = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso de agregado secada al horno

B: Peso de agregado saturada seca (SSS)

Wc: Peso del picnómetro + peso de agua

W: Peso del picnómetro + muestra + agua

4.8. **Propiedades Mecánicas de los Agregados**

4.8.1. **Resistencia**

Hay distintos factores que pueden influenciar en la resistencia de las partículas de los agregados como lo son la textura, estructura o su composición, por tal motivo esta propiedad del concreto no puede ser mayor al del árido, ya que, si las partículas no están bien cementadas unas a otras posiblemente serán partículas débiles. La resistencia al desgaste o a compresión de este deberá ser la misma a tal punto que permita una resistencia definitiva del matriz cementante.

4.8.2. Tenacidad

Esta propiedad está relacionada con la capacidad de resistencia al impacto del agregado y esta depende directamente de sus propiedades físicas como lo son su textura, flexión de las partículas y angularidad.

4.8.3. Dureza

Esta se define como la rigidez de cada partícula del agregado al someterse a una resistencia a la abrasión, desgaste o erosión. Los áridos que se usan en los diseños de mezcla de concreto hidráulico tienen que estar sometidos a pruebas las cuales certifiquen su resistencia a la abrasión o erosión.

La Norma Técnica Colombiana menciona unas pruebas de laboratorio las cuales determinan la resistencia a la abrasión o desgaste del agregado menor a 1 ½ “, se realiza por la maquina llamada “Máquina de Los Ángeles”.

4.8.4. Módulo de Elasticidad

Esta propiedad es poco inusual su estudio en los agregados, pero el concreto podría sufrir distorsiones por lo que se recomienda conocer la elasticidad que puede tener los agregados en un tipo de concreto determinado. Este módulo puede influir en el proceso de escurrimiento plástico y las contracciones de este. El módulo de elasticidad se define como el cambio que puede sufrir un material debido a un esfuerzo con relación a una deformación elástica, se puede considerar como una medida de resistencia de cada partícula a un proceso de deformación.

4.9. Mortero

El mortero es la mezcla entre cemento, arena y agua; al reaccionar estos tres componentes se crea una masa similar a la de una piedra. Los agregados se pueden dividir en finos y gruesos. Los agregados finos son arenas naturales o artificiales con partículas hasta de 3/8 pulg; el agregado grueso son las partículas retenidas en el tamiz N°16 hasta (3/4 pulg o 1 pulg). [10]

Imagen 5 Contextura de un mortero



Fuente: Probacons.com

4.10. Propiedades del mortero

Las propiedades de esta mezcla principalmente son afectadas directamente por las características de sus elementos especialmente de su aglutinante, estas propiedades deberán estudiarse en su estado endurecido y plástico.

Tabla 5: Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.

CONSISTENCIA	FLUIDEZ %	CONDICIÓN DE COLOCACIÓN	EJEMPLO DE TIPOS DE ESTRUCTURA	EJEMPLO DE SISTEMA DE COLOCACIÓN
Dura (seca)	80 – 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaldes
Media (plástica)	100 – 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120 – 150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

Fuente: Civiling9.com

4.11. Usos del mortero

Imagen 6: Corte en muros de mortero o concreto



Fuente: Perfodiam.com

Los morteros pueden usarse tanto estructuralmente como en la construcción de elementos estructurales en donde puede ser de relleno para celdas de muros o de pega. Existen unos que no tienen función estructural y se utilizan para recubrimientos como rellenos, pañetes o revoques.

- **Mortero de relleno:** son utilizados para llenar celdas de mampostería estructural.
- **Morteros de recubrimiento:** son utilizados para brindar una superficie uniforme para la aplicación de pintura; su función no es estructural.
- **Morteros de pega:** son utilizados para adherir elementos estructurales y deben tener unas cualidades especiales ya que deben absorber esfuerzos de tensión y compresión.

4.12. Propiedades de los morteros en estado plástico

4.12.1. Trabajabilidad

Es necesario que al diseñar una mezcla de mortero se haga con la manejabilidad adecuada para su aplicación; esto depende de la dosificación de los agregados y la calidad del cemento. Los factores principales que influyen en la Trabajabilidad del concreto son: el método y la duración del transporte; una dosificación adecuada de los materiales cementantes y los agregados; una buena consistencia del concreto (ensayo de asentamiento en cono de Abrams); aire incluido; cantidad de agua; temperatura del concreto y del aire-, y los aditivos. [10]

4.12.2. Hidratación, Tiempo de Fraguado y Endurecimiento

La reacción química que se da al mezclar el cemento con el agua es conocida como hidratación. Mientras el concreto se endurece se debe tener precaución para que éste no quede con mucho porcentaje de vacíos debido a que esto alterará la resistencia de la mezcla, para que no suceda estos inconvenientes se deben a la mala hidratación que se le da a la mezcla (mucho agua). [10]

4.12.3. Velocidad de Secado del Mortero

Para que el mortero cumpla con sus funciones y reacciones químicas necesita de una hidratación y no del secado de sus compuestos, cuando el mortero se seca la resistencia para y no se logra las propiedades físicas deseadas. [10]

4.13. Propiedades de los morteros en estado de endurecimiento

4.13.1. Retracción

Se puede evidenciar el aumento de la retracción de la pasta del cemento y el proceso se aumenta cuando en el mortero se tiene altos contenidos de cemento. Un proceso para la mejora de la retracción y evitar agrietamiento en la mezcla es utilizar arena con granos rugosos y evitar tener la mezcla en un clima caliente o de mucho viento ya que el agua tiende a evaporarse mucho más rápido y esto puede ocasionar tensiones internas que se evidenciaran cuando se endurezca el mortero con agrietamientos.

4.13.2. Adherencia

Es la capacidad que tiene la mezcla de absorber tensiones tanto tangenciales como superficiales con la estructura, por lo tanto, es la capacidad de adherir monolíticamente Las piezas para una estructura.

4.13.3. Resistencia

Es la máxima resistencia a compresión debido a una carga axial en especímenes de mortero, normalmente se mide en Kilogramos por centímetros cuadrados (Kg/cm²), Mega pascales (Mpa) o libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg² o psi) a una edad de curado de 28 días. [10]

4.13.4. Durabilidad

Es la resistencia del mortero a la acción del ambiente, ataques químicos y a la abrasión, manteniendo sus propiedades fisicoquímicas de ingeniería, y esto depende de qué tipo de mortero se lleve a cabo y sus cambios climáticos. [10]

4.13.5. Apariencia

La apariencia juega un punto importante después de que la mezcla pasa el proceso de fraguado ya que por su apariencia se puede dar opinión un poco acertada de su buena o mala plasticidad.

4.14. Concreto

Es un material heterogéneo el cual está formado por la combinación de cemento, arena, agregado grueso y agua. Este material al crearse contiene una cantidad pequeña pero considerable de aire atrapado, y otro aire adicional al adicionar algún tipo de aditivo.

La estructura interna de este material en su estado endurecimiento consiste en el aglomerante, está constituida principalmente por una pasta de cemento (agua y cemento) la cual es aglutinada con los otros materiales que son el agregado grueso y fino, aire y aditivos, estableciendo una gran capacidad de resistencia debido a la capacidad de todos estos materiales de adherirse uno del otro la cual ocasiona una resistencia a soportar esfuerzos de tracción y compresión (especialmente compresión), así mismo obtiene un efecto mecánico ocasionado por el acomodamiento de sus partículas inertes.

Un punto importante en su estructura de concreto endurecido es su porosidad. Una parte significativa en la participación del agua en esta mezcla es lubricar el estado plástico ubicando líneas de fluidez y partes de sedimentación en los sólidos, ya que al ocasionar un endurecimiento y evaporar una parte de agua ocasiona unos vacíos y condicionan al comportamiento del concreto para absorber algún tipo de líquido.

4.15. Propiedades del Concreto en Estado Fresco

4.15.1. Trabajabilidad

Está definida como la menor o mayor dificultad para el mezclado, colocación, compactación y transporte de la pasta de concreto. Esta depende realmente de su proceso mecánico o manual que se disponga durante todas las etapas, ya que la pasta se puede comportar de manera trabajable bajo unas condiciones de compactación y colocación específicas.

El proceso estándar para medir esta propiedad ha sido durante muchos años el “Slump” o asentamiento por el “cono de Abrams”, ya que es un método que se puede hacer en obra y me permite estimar un aproximado numérico de esta condición, sin embargo, se debe tener un concepto claro que es una idea más de uniformidad que de trabajabilidad.

4.15.2. Estabilidad

Se puede definir como el flujo de la pasta de concreto antes de aplicársele una fuerza externa. Esta propiedad se puede cuantificar por el método de la exudación y la segregación, para estos métodos se tienen procesos convencionales que permiten la comparación de estas características entre otros diseños y así poder llegar a obtener valores mínimos de esta propiedad.

4.15.3. Movilidad

Es la facilidad de la pasta de concreto para ser desplazada durante la aplicación de esta en un trabajo externo. Su evaluación va en funcionamiento con su viscosidad, resistencia interna al corte o cohesión. Esta propiedad, su viscosidad viene dada por una fuerza de fricción entre las capas de cemento, su cohesión es la fuerza de adherencia entre los agregados y el cemento, y la resistencia interna al corte la define como la capacidad de las partículas de los áridos a rotar y a moverse dentro de la pasta de concreto

4.15.4. Compactibilidad

Se puede definir como la capacidad o facilidad de la pasta para sufrir un proceso de compactación en estado de concreto fresco. Para poder conocer el denominado “Factor de compactación”, existen muchos métodos que evalúan esta capacidad de trabajo que se necesita para una compactación total de la mezcla, esta se define como el cociente entre la densidad suelta de la masa de concreto en prueba, dividido en la densidad del concreto compactado

4.15.5. Segregación

“La segregación es el funcionamiento de la consistencia en la mezcla, ya que se tiene un gran riesgo en cuanto a que la mezcla esta más húmeda y un menor riesgo cuando se tiene más seca la mezcla. Estos procesos usualmente tienen una inadecuada manipulación y colocación, y esto produce ciertas causas que involucran a la segregación de la mezcla. Esta segregación está presente cuando una parte de la mezcla se mueve más rápido y no toda en general como una pasta uniforme, un ejemplo claro sería el transporte de la mezcla de concreto por medio de carretillas con ruedas metálicas en un terreno que no es plano, la vibración de la carretilla hace que el agregado grueso se asiente al fondo de la mezcla mientras que la lechada asciende a la parte superior de la mezcla.” [11]

4.15.6. Exudación

Esta propiedad es la que una parte del agua de la mezcla se aparta de la masa y sube a la parte superior del concreto hidráulico. Es una especie de sedimentación en la cual se asientan los sólidos por dentro de la masa en estado plástico. Este proceso sigue las leyes físicas del flujo de un líquido.

Esta propiedad es creada inevitablemente en la pasta de concreto ya que es una propiedad inherente a su conformación, por lo tanto, es importante evaluarla y controlarla ya que, si no se toma en cuenta, puede ocasionar efectos negativos considerables.

4.15.7. Contracción

Es una propiedad que se tiene en cuenta en problemas de fisuración del concreto. Naturalmente la pasta de cemento sufre un proceso de contracción debido a la evaporación del agua en el momento de su mezclado, este proceso es considerado contracción intrínseca y es un proceso que no se puede revertir.

Existe otra clase de contracción inherente y es llamada contracción por secado, esta contracción es una de las más responsables en la mayoría de los problemas de fisuración en el concreto.

4.16. Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

4.16.1. Elasticidad

Es la capacidad que tiene un concreto para sufrir una deformación producto de una carga y que a su vez no tenga una deformación permanente.

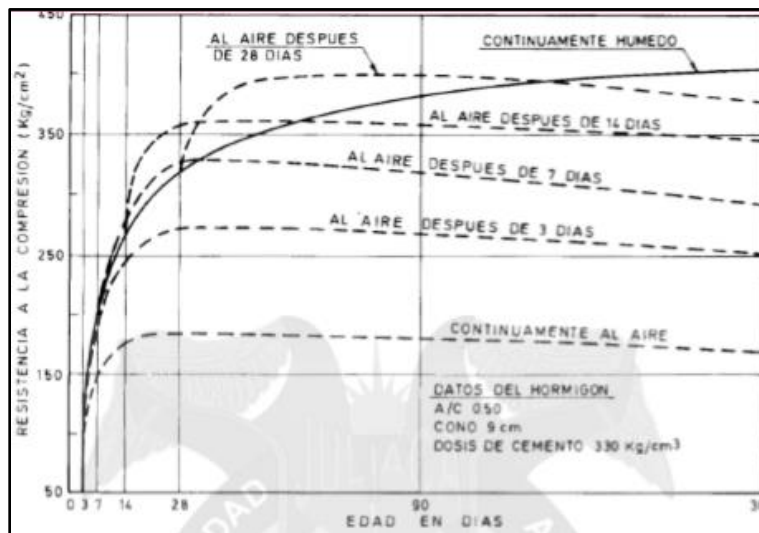
Usualmente el concreto no está denominado un concreto elástico, ya que su comportamiento no es lineal en ninguna parte de su diagrama de carga vs deformación en una carga de compresión, sin embargo, se trata de definir un “módulo de elasticidad estático” que está representado por una recta tangente en la parte inicial del diagrama, o en algunas veces, en una recta secante que está unida en el origen de la gráfica con un punto que usualmente es un porcentaje a la tensión última.

4.16.2. Resistencia

“Es la capacidad que tiene el concreto para soportar cargas y esfuerzos, el excelente comportamiento del concreto se puede evidenciar más en los esfuerzos a compresión que en los esfuerzos a tensión, debido a que el concreto tiene propiedades adherentes a la pasta del cemento, esto se acostumbra a expresarse en el diseño de mezcla más específicamente en la relación agua-cemento” [12]

A continuación, se evidencian las condiciones ambientales a las que el concreto está sometido durante toda su vida útil, se muestra las influencias que ejercen en la resistencia de un concreto a compresión.

Imagen 7. Curva de crecimiento en la resistencia a la compresión y su influencia de humedad.



Fuente: [12], Pag 33.

En esta grafica se puede evidenciar la importancia que puede tener la humedad del ambiente y su consecuencia en la exposición al aire libre, por tal motivo se debe tener un claro conocimiento del proceso de curado en sus primeros días.

4.16.3. Extensibilidad

Es la capacidad que tiene el concreto hidráulico de deformarse sin sufrir un proceso de agrietamiento. Está definido en función de la deformación unitaria máxima que puede “aguantar” el concreto sin recibir fisuraciones. Esto depende de la elasticidad y su flujo plástico, ya que está constituido por la deformación del concreto sometido a una carga baja constante del tiempo.

El estado de microfisuración se encuentra normalmente alrededor de un 60% del esfuerzo último, ya que en condiciones normales una fisuración puede ser visible en 0.003 de deformación unitaria.

4.17. Curado del Concreto

4.17.1. Curado Inicial

Según la norma NTC 550 [13] dice que “después del proceso de moldeo de los especímenes, estos deben almacenarse con una temperatura ambiente de 16 °C a 27°C con un ambiente húmedo, ya que se trata de estimar una pérdida de humedad de 48 h. se debe controlar constantemente su temperatura y su exposición al sol o de dispositivos de calefacción radiantes. Los especímenes que se deben transportar antes de 48 h, al laboratorio para su curado final, deben permanecer en sus correspondientes moldes con un ambiente húmedo, hasta su llegada al laboratorio para su curado final. Si los especímenes no van a ser transportados en un lapso de 48 horas, los moldes pueden ser retirados en 24 h \pm 8 h y se hace su respectivo curado final hasta que sean transportados.” [13].

4.17.2. Curado Final

La norma NTC 550 [13] menciona que “para el curado final se permite tener temperaturas entre 20°C y 30°C con periodo no mayor a 3 horas antes del ensayo, se puede mantener la humedad libre en una superficie, excepto cuando se adiciona un compuesto de azufre. Cuando se aplica el proceso de refrentado con el azufre, se deben secar los extremos del espécimen cilíndrico. Los cilindros no pueden ser afectados a un goteo o a corrientes de agua.” [13].

4.18. Curado Acelerado

Representa un tiempo más corto a la hora del endurecimiento y resistencia última del espécimen de mortero. Esto se debe a que su proceso de fraguado es acelerado por distintos que métodos a la hora de la manejabilidad del mortero lo cual permite principalmente un mayor rendimiento de la obra. [10].

4.19. Acelerantes por medio de Aditivos

Es un aditivo líquido que tiene como función acelerar los tiempos de fraguado y desarrollar resistencias más altas a menor tiempo, con el fin de obtener mejores rendimientos en obra.

4.19.1. Acelerantes más comunes en el mercado colombiano

- PLASTOCRETE 169 HE (SIKA): Acelerante con cloruro destinada a acelerar la hidratación en el concreto.
- SIKASET L (SIKA): Acelerante que contiene ion cloruro y es aplicado para todo tipo de concreto
- SIKARAPID 1 (SIKA): Es un acelerante de resistencias
- SIKASET NC (SIKA): Es un acelerante enfocado a fraguados
- ACCELGUARD 25 (TOXEMENT): Es un acelerante que combina un acelerante con un reductor de agua para concreto
- ACCELGUARD 80 (TOXEMENT): Es un acelerante reductor de agua para concreto y mortero que no contiene cloruro.
- ACCELGUARD 90 (TOXEMENT): Es un acelerante reductor de agua para concreto que no contiene cloruro de calcio ni iones cloruro adiciones.
- EUCON HE 4530 (TOXEMENT): Aditivo líquido, reductor de agua de alto poder, con efecto Acelerante que no contiene cloruros.

4.20. Acelerantes por medio de cambios en su temperatura

Según la NTC 1513 [5] las probetas de concreto se pueden exponer a altas temperaturas y también a zonas con alta humedad las cuales sean adecuadas para un incremento en su resistencia final en un lapso de 48h, Esta norma menciona 4 procedimientos los cuales tienen como función la implementación de cambios de temperatura en una mezcla de concreto para la aceleración en sus tiempos de fraguado

Tabla 6. Métodos para el curado acelerado por medio de cambios de temperatura

Procedimiento	Moldes	Medio de curado	Temperatura de curado °C	Edad de inicio del curado	Duración del curado	Edad de ensayo
A. Agua tibia	Reutilizable o	Agua	35	Inmediatamente después de	23½ h ± 30 min	24 h ± 15 min
B. Agua hirviendo	Desechable Reutilizable o Desechable	Agua	Hirviendo	fundidos 23½ ± ¼ h después	3½ h ± 5 min	28½ h ± 15 min
C. Autógeno	Desechable	Calor de hidratación del concreto más calor de hidratación	Temperatura inicial	Inmediatamente después de fundidos	48 h ± 15 min	49 h ± 15 min
D. Alta temperatura y presión	Reutilizable	Calor y temperatura externos	149	Inmediatamente después de fundidos	5 h ± 15 min	5½ h ± 5 min

Fuente: NTC 1513, Tabla 1 - Pag 2 [5]

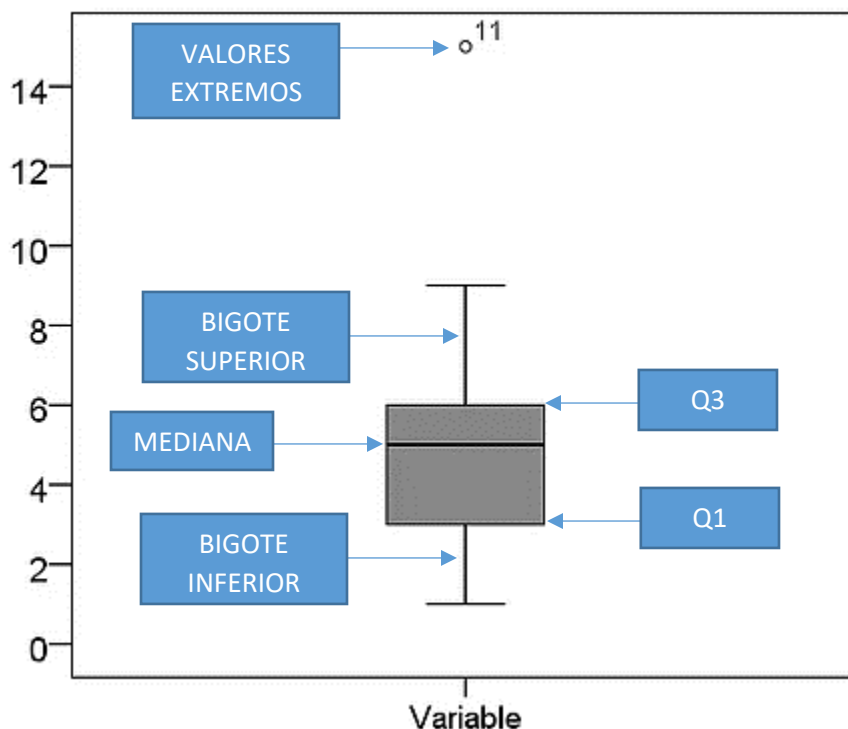
La tabla #2 menciona los 4 procedimientos que la norma recomienda para la aceleración del fraguado de un concreto. Los procedimientos propuestos como A y B se debe utilizar el almacenamiento de probetas en aguas con su temperatura elevada de fraguado tratando evitar la pérdida de humedad. Para el caso de estos dos procedimientos los cuales serán nuestro punto de investigación, será comprobar su función principal, el cual es decir que el agua caliente en el procedimiento A será servir como aislante para la conservación de calor generado en el proceso de hidratación y para el caso del agua hirviendo en el procedimiento B será tratar de usar sus altas temperaturas para la generación de aceleración térmica. Los métodos de curado acelerado indican una resistencia potencial en el concreto en el menor tiempo posible.

4.21. Diagrama de cajas y bigotes

Son diagramas que llegan a representar de manera gráfica una distribución de datos puntuales dentro de un esquema de cajas que representan una variable. Este diagrama busca describir los datos puntuales que contiene una variable con una distribución más visible y más clara de los datos. Una de las ventajas que tiene este diagrama es que señala los valores atípicos (valores extremos) de la variable a analizar.

La representación de la caja y bigotes es:

Imagen 8. Representación de Caja y Bigotes



Fuente: Elaboración Propia

Mediante este diagrama se puede evidenciar:

- **Mediana:** Es el valor central de la caja y es la que separa la mitad superior de la caja a la mitad inferior de la caja
- **Cuartiles:** son los que limitan la caja de los bigotes inferiores y superiores. Son los encargados de dividir la muestra en cuatro partes (bigote superior que representa 25% de la muestra, mitad superior de la caja que representa 25% de la muestra, mitad inferior de la caja que representa 25% de la muestra, bigote inferior que representa 25% de la muestra)
- **Caja:** es la que representa el mayor número de datos concentrados. La caja completa representa el 50 % de los datos de la muestra.
- **Bigotes:** es la línea la cual representa la puntuación más alta o baja de la variable. Cada bigote representa el 25% de la muestra
- **Valores extremos:** son los que representan datos muy alejados a todos los datos de la muestra, su puntuación esta por fuera de los rangos leves.
- **Desviación estándar:** está definido como la separación que tiene un dato del otro. Es una medida que cuantifica la dispersión en un conjunto de datos. La desviación es la raíz cuadrada de la varianza.

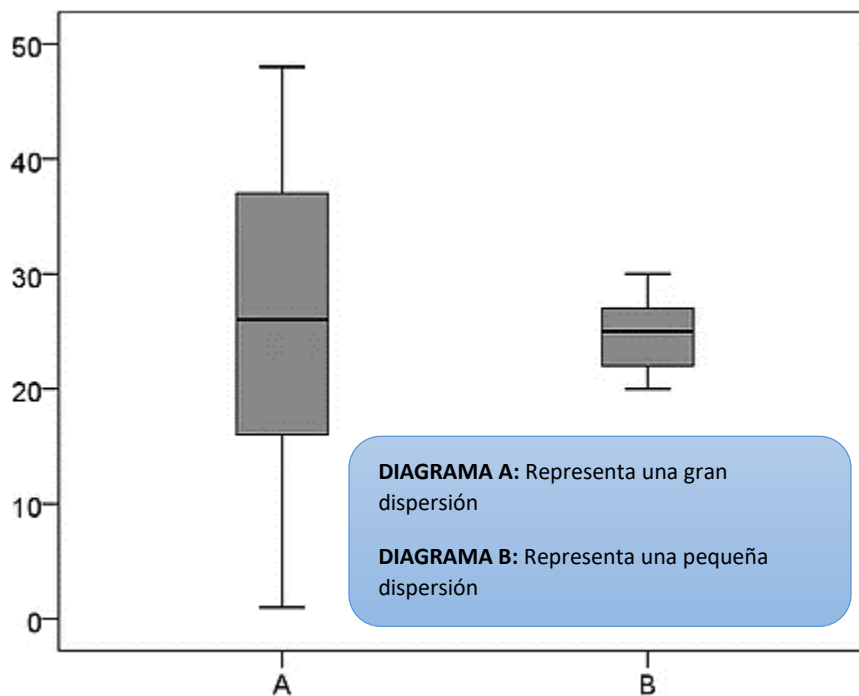
$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (1.1)$$

- **Varianza:** es un valor numérico que define una variabilidad partiendo desde la media aritmética. Se define como un valor variable que indica la extensión de los miembros de un grupo de valores y se representa por la siguiente ecuación:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N} \quad (1.2)$$

La otra información que se puede sacar en estos diagramas es la dispersión de los datos y está representada en el tamaño general del diagrama. La dispersión trata de referirse a que, si el rango de datos es muy grande, o si por el contrario los datos están muy cercanos unos de los otros.

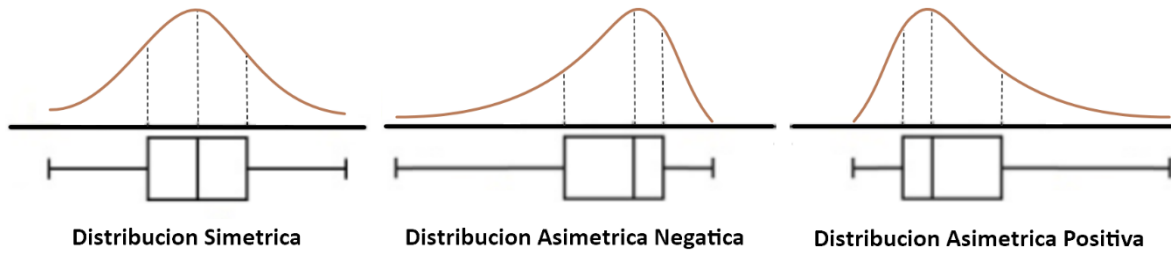
Imagen 9. Representación de la Caja y Bigotes



Fuente: Elaboración Propia

Los diagramas de cajas y bigotes nos permiten observar y comparar varios valores de datos, percibiendo intuitivamente su mediana, dispersión y su simetría. También se puede definir un sesgo con su respectiva dirección.

Imagen 10. Representación de la distribución en una gráfica de caja y bigotes

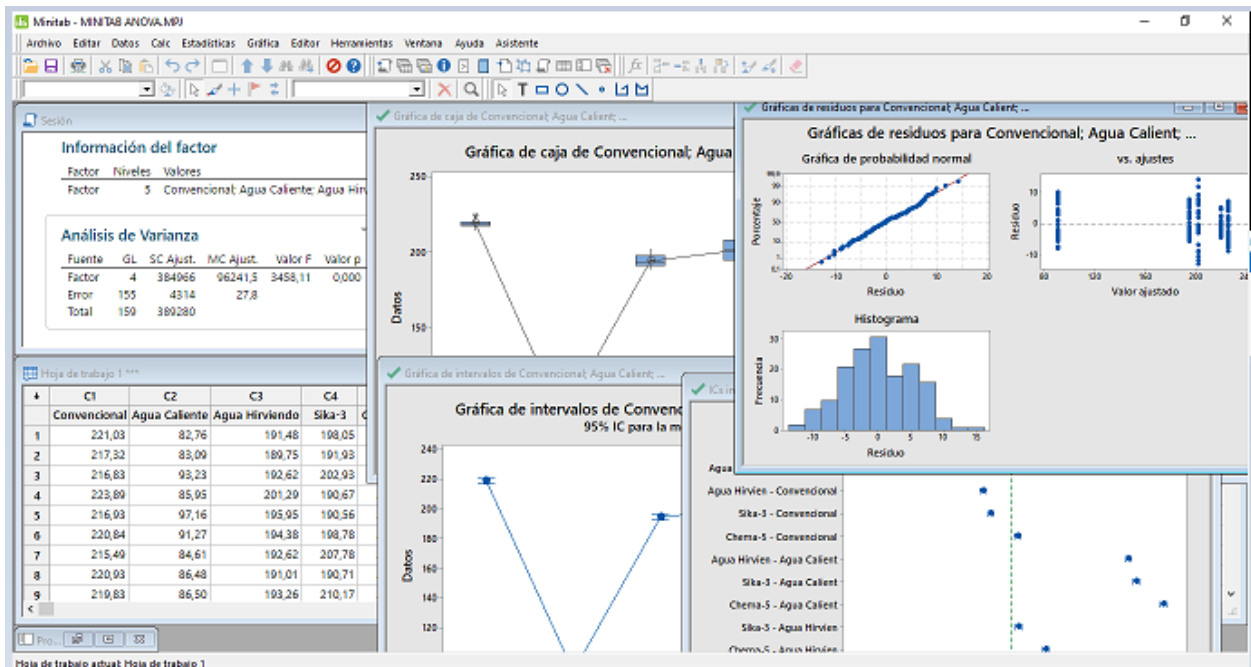


Fuente: Cursosgis.com

4.22. Minitab

Programa diseñado para calcular cualquier tipo de funciones estadísticas independientemente si son básicas o avanzadas, fácil de usar por su combinación con Microsoft Excel.

Imagen 11. Minitab



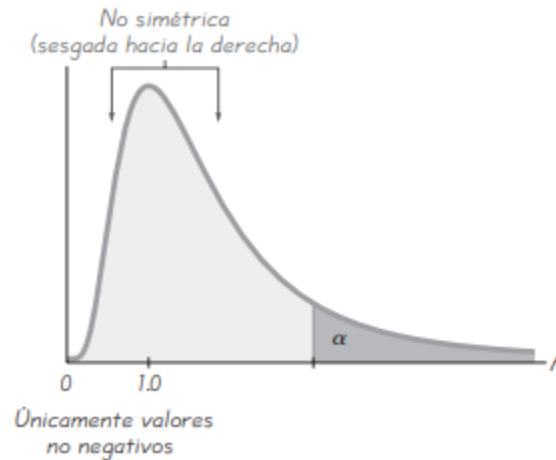
Fuente: Elaboración Propia

4.23. Análisis de Varianza “ANOVA”

El análisis de varianza se usa para comprobar una hipótesis denominada “hipótesis nula” y tiene como fin comparar si tienen igualdad tres o más medias poblacionales; ó si esto no cumple se dirá que al menos una media es distinta “hipótesis altera”. [14]

Para el buen análisis de varianza se requiere de la distribución de Fisher y se obtiene bajo unas tablas que dependen de los grados de libertad que se maneje el estudio estadístico, Se tienen unas propiedades importantes como que los valores deben ser positivos incluyendo el Cero, la distribución F no es simétrica y deberá estar sesgada a la derecha. [15]

Imagen 12. Distribución F, gráficamente



Fuente: Estadística de Triola [15],Pag 637

5. EXTRACCIÓN DE DATOS DE PROYECTOS PREEXISTENTES

5.1. Metodología Curado Convencional

El presente estudio metodológico es tomado del autor Bach. Edison Simón Ponce Córdova en la tesis [1], el cual analizó el comportamiento de 4 aditivos comunes en 3 distintas relaciones en proporción de aditivo, en una resistencia a la compresión con un $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Este trabajo fue realizado para la obtención del título como Ingeniero Civil de la Universidad Andina del Cusco En Perú en el año 2016.

5.1.1. Revisión bibliográfica

Este trabajo se realizó bajo la Norma Técnica Peruana (NTP), la cual es su principal fuente de investigación junto con las fichas técnicas de cada producto para la elaboración de ensayos requeridos para el buen desempeño de este estudio. Para (Bach. Edison Simón Ponce Córdova) la elaboración del diseño de mezcla fue por medio del Método de Diseño de Mezcla del ACI.

La región de Cusco tiene una temperatura media anual de $13 \text{ }^\circ\text{C}$ y es ubicada al sureste de Perú en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes.

5.1.2. Extracción de Datos

La tesis [1] se dividió en varias fases que ayuden a la extracción de datos que se necesitan. Se escogió como base a analizar el curado por método convencional con una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ o 3000 psi aproximadamente, con el fin de generalizar un solo diseño en todos los análisis de esta metodología de estudio.

Fase 1. Diseño de Mezcla

Se plantea un diseño de mezcla para el concreto convencional, para los diseños de mezcla del método convencional, el autor Bach. Edison Simón Ponce Córdova se guio por el método de diseño de mezclas de la ACI, con un tiempo de rotura de los especímenes a los 3, 7, 14 días.

Se elaboraron 33 especímenes de la muestra de $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, de estos, 5 para el concreto convencional, de estos se fallan en cada día asignado que serían a los 3, 7,14 días.

Tabla 7: Numero de muestras diseñado por el método convencional

Diseño f'c kg/cm2	Aditivo	N° de Probetas por edad de ensayo			N° total de probetas
		3 días	7 días	14 días	
210	NO	5	5	5	15
					$\Sigma = 15$

Fuente: Elaboración Propia

Fase 2. Planteamiento del Proceso

A continuación, se evidenciarán las resistencias a la compresión que se obtuvo en el diseño de mezcla de Concreto convencional, especificando el tiempo de fraguado en el que se falló cada espécimen (3, 7, 14 días), con el fin de dar a conocer su efectividad y además para saber el tiempo en que el concreto logra obtener su resistencia temprana. A continuación, se presentan las resistencias que se obtuvieron al fallar los especímenes mediante tablas e ilustraciones.

Tabla 8: Control de producción y resistencia del concreto por Método convencional

LUGAR	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				HORA DE ELABORACION	12:30 p. m.						
FECHA DE ELABORACION	22/02/2014	ELABORADO POR	EDISON SIMON PONCE CORDOVA									
F' C DISEÑO	210 Kg/Cm2	TIPO DE MUESTRA	TESTIGOS DE CONCRETO									
FACTOR DE SEGURIDAD Frc	295 Kg/Cm2	SLUMP DE DISEÑO	3" , 4"									
N° DE BRIQUETAS	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA			AREA DE TESTIGO	CARGA (Kg)			RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/Cm2)			RESISTENCIA PROMEDIO
		3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS		3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	
1	22/02/2014	25/02/2014			182,41	26653,75			146,12			
2	22/02/2014	25/02/2014			182,41	26909,12			147,52			
3	22/02/2014	25/02/2014			182,41	26558,9			145,6			146,67
4	22/02/2014	25/02/2014			182,41	26910,95			147,53			
5	22/02/2014	25/02/2014			182,41	26734,01			146,56			
6	22/02/2014		1/03/2014		182,41		32912,24			180,43		
7	22/02/2014		1/03/2014		182,41		32186,24			176,45		
8	22/02/2014		1/03/2014		182,41		32819,21			179,92		180,65
9	22/02/2014		1/03/2014		182,41		33784,16			185,21		
10	22/02/2014		1/03/2014		182,41		33056,34			181,22		
11	22/02/2014			8/03/2014	182,41			40699,32			223,12	
12	22/02/2014			8/03/2014	182,41			39666,88			217,46	
13	22/02/2014			8/03/2014	182,41			39391,44			215,95	219,09
14	22/02/2014			8/03/2014	182,41			39920,43			218,85	
15	22/02/2014			8/03/2014	182,41			40139,32			220,05	

Fuente: [1], Tabla N° 45, Pag 137

Nota: Ver Completa en Anexo E

5.2. Metodología Curado Acelerado por Agua Caliente

El presente estudio metodológico es tomado de los autores Henry Bladimir Arévalo Vera y Jorge Xavier Herrera Añazco en la tesis [2], el cual tiene como objetivo analizar dos métodos de aceleración recomendados por la ASTM C684 (método de agua caliente y método de agua hirviendo) dosificado para una resistencia a la compresión $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$.

La principal fuente de referencia sería la **Norma ASTM C 684** que nos recomienda unos métodos de aceleración mediante el curado del concreto, en esta metodología nos centraremos en el curado mediante agua caliente procedimiento A.

Procedimiento A. (Método del agua caliente).

Una vez se haya hecho el proceso de mezclado y moldeo de muestras cilíndricas de concreto fueron sumergidas en un tanque de curado, donde el agua estuvo a una temperatura de 35 ± 3 °C durante un periodo de $23 \frac{1}{2}$ horas \pm 30 min. Antes de sumergir las muestras la norma recomienda cubrir la parte superior de los especímenes con el fin de que la masa del concreto no se mezclara con el agua del tanque. Luego de que se cumplió con el tiempo requerido retiraron los moldes del tanque de curado y procedieron a desencofrar los moldes, verificaron si los especímenes cumplen con las condiciones para la rotura, ya que de no cumplir con las condiciones se aplica las normas ASTM C617 capeo de especímenes de concreto o la Norma ASTM C1231, uso de almohadillas de neopreno para cilindros de concreto.

Finalmente procedieron a fallar los especímenes siguiendo la Norma ASTM C39 determinación del esfuerzo a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Tabla 9. Cuadro de resumen Norma ASTM C684 Curado Acelerado

Conceptos	Procedimientos de curado acelerado (ASTM C 684)			
	METODO A	METODO B	METODO C	METODO D
Especímenes	Cilindros estándar			Cilindro Reducido
Forma:	Cilindros estándar			Cilindro Reducido
Diámetro y h (mm)	152 x 304	152 x 304	152 x 304	76 x 152
Tamaño máx. de agregado ad (mm)	38 mm	38 mm	38 mm	25 mm
Procedimiento de elaboración.	Estándar ASTM C 31	Estándar ASTM C 31	Estándar ASTM C 31	Modificado ASTM C 684
Curado acelerado Medio para elevar la temperatura del concreto	Agua tibia	Agua en ebullición	Calor de Hidratación Del cemento	Resistencia eléctrica
Temperatura de prueba (°C)	35 ± 3 °C	100°C al nivel del mar	Variable según ti, contenido y tipo de cemento	149 ± 3 °C
Presión de prueba	Atmosférica	Atmosférica	Atmosférica	105 ± 2 kg / cm ²
Edad del concreto al iniciar el curado acelerado a los especímenes	Inmediatamente Después del Fraguado i.	23 h \pm 15 min Después del Moldeo	Inmediatamente Después del Fraguado i.	Inmediatamente Después del Fraguado i.
Duración del curado acelerado	23 $\frac{1}{2}$ horas \pm 30 min	3 $\frac{1}{2}$ horas \pm 5 min	48 horas \pm 15 min	5 horas \pm 15 min
Preparación y ensayo				
Cabeceo de los especímenes	Estándar en todos los casos (ASTM C 17)			
Aplicación de carga	Estándar en todos los casos (ASTM C 39)			
Edad del concreto al ensayar los especímenes	24 h \pm 15 min	28 $\frac{1}{2}$ horas \pm 15 min.	49 horas \pm 15 min.	5 $\frac{1}{4}$ horas \pm 5 min.

Fuente: Tesis [2] Tabla 3.2, pag 19.

5.2.1. Revisión bibliográfica

Este trabajo fue basado principalmente en la norma American Society of Testing Materials “ASTM” C684 la cual es la principal fuente para el buen desarrollo y éxito de esta investigación, el diseño de mezcla lo manejaron bajo el método de diseño de mezcla de la ACI.

Para que Henry Bladimir Arévalo Vera y Jorge Xavier Herrera Añazco tuvieran buen desempeño en el curado acelerado acondicionaron un tanque de acero inoxidable, con manejo de temperatura mediante una resistencia regulable y con capacidad para 6 especímenes

5.2.2. Extracción de datos

Los datos de la tesis [2] se mostrará en varias fases que ayudarán a mostrar los datos que se necesitan para el desarrollo de la tesis. De la metodología de Henry Bladimir Arévalo Vera y Jorge Xavier Herrera Añazco se tendrá en cuenta solo en el método del curado acelerado por medio de agua caliente, por ende, solo se mostrarán los datos obtenidos en dicho método.

Fase 1. Diseño de Mezcla

Se planteó un diseño de mezcla por medio del método ACI 211.1 aplicando el procedimiento del volumen absoluto, para una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c=180\text{Kg/cm}^2$ en condiciones de consistencia blanda (6 – 9 cm).

La mezcla se diseñó para una cantidad de 6 cilindros por cochada, siendo en total 118 especímenes entre los tres métodos que se centran en la tesis de Arévalo Vera y Herrera Añazco (Curado Convencional, agua caliente y agua hirviendo), de estos 118 especímenes se mostrará solo los 38 del método de agua caliente. A continuación, se podrá observar un resumen de la dosificación que utilizaron para la investigación.

Tabla 10. Resumen de la dosificación utilizada

Material	Volumen Real (dm3)	Dosificación peso 6 cilindros (Kg)	Dosificación Unitaria
Cemento	98.78	12.13	1.00
Agua	205.00	5.40	0.45
Arena	285.75	31.60	2.61
Grava	390.47	41.56	3.43

Fuente: Tesis [2] Tabla 2.1, pag 11.

Fase 2. Planteamiento del Proceso

Se podrá observar a continuación las resistencias a la compresión que obtuvo cada uno de los especímenes ensayados por el método de curado por agua caliente, en la tabla 6 se puede observar que se tomó una serie de muestras con dos especímenes por cada conjunto de datos, y a este se le hizo un esfuerzo promedio; en la tabla 6 también se podrá ver las dimensiones de los especímenes, la carga aplicada, edad en la que se falló, coeficiente de variabilidad entre dos cilindros hermanos y coeficiente de variabilidad medio de diferentes mezclas.

Tabla 11. Resultados Ensayo a Compresión Curado con Agua Caliente

MU EST RA	FECHA		EDAD (días)	Diámetros				Carga Kg	ϕ mm	Esfuerzo f'c (MPA)	Promedio f'c (MPA)
	MOLDEO	ROTURA		ϕ1 (pulg)	ϕ2 (pulg)	med	%Var.				
A3	12/03/2005	14/03/2005	2	6,018	6,025	6,022	0,12	17610	152,96	9,6	9,55
	12/03/2005	14/03/2005	2	6,003	6,017	6,01	0,23	17310	152,65	9,5	
A4	15/03/2005	16/03/2005	1	5,913	5,89	5,902	-0,39	16570	149,91	9,4	9,15
	15/03/2005	16/03/2005	1	5,987	5,942	5,965	-0,75	15970	151,51	8,9	
A6	17/03/2005	18/03/2005	1	5,972	5,987	5,98	0,25	16860	151,89	9,3	9,15
	17/03/2005	18/03/2005	1	5,967	5,89	5,929	-1,29	16090	150,6	9	
A7	19/03/2005	21/03/2005	2	5,971	5,932	5,952	-0,65	16570	151,18	9,2	9,35
	19/03/2005	21/03/2005	2	5,952	5,948	5,95	-0,07	17000	151,13	9,5	
A9	17/04/2005	19/04/2005	2	5,907	5,968	5,993	1,03	14980	152,22	8,2	7,95
	17/04/2005	19/04/2005	2	5,93	5,993	5,952	1,06	13890	151,18	7,7	
A10	17/04/2005	19/04/2005	2	5,963	5,962	5,963	-0,02	16360	151,46	9,1	9,00
	17/04/2005	19/04/2005	2	5,942	5,987	5,965	0,76	16040	151,51	8,9	
A11	19/04/2005	21/04/2005	2	5,674	5,987	5,998	1,92	16910	152,35	9,4	9,65
	19/04/2005	21/04/2005	2	5,886	5,953	5,965	1,15	17560	151,51	9,9	
A18	19/04/2005	29/04/2005	1	5,94	5,937	5,939	-0,05	15040	150,85	8,4	8,70
	19/04/2005	29/04/2005	1	5,956	5,78	5,868	-2,96	15630	149,05	9	
A19	19/04/2005	2/06/2005	2	5,886	5,879	5,883	-0,12	15130	149,43	8,6	8,35
	19/04/2005	2/06/2005	2	5,928	5,946	5,937	0,3	14440	150,8	8,1	

Fuente: Tesis [2] Tabla de resultados, pag 21-30.

5.3. Metodología Curado Acelerado por Agua Hirviendo

La presente metodología es tomada del autor Quispe Paye, David en la tesis [3], el cual nos habla de una evolución en la resistencia de una mezcla de concreto con distintas relaciones de a/c empleando el proceso de aceleración en el tiempo de fraguado con el método de agua en ebullición. Este trabajo fue creado para la obtención de su título como profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” (UANCV).

5.3.1. Revisión bibliográfica

Este trabajo estará basado principalmente a la Norma Técnica Peruana (NTP) la cual es su principal fuente de investigación para la realización de [3]. La Norma menciona la determinación a la resistencia a compresión por medio de moldes cilíndricos siguiendo los parámetros establecidos en la NTP 339.033 y la elaboración de un tanque de curado acelerado establecido por la NTP 339.213 del 2015.

Para [3] Se elaboraron 2 distintos métodos de diseños de mezcla los cuales fueron el Método ACI y el Método Fuller.

5.3.2. Extracción de datos

La tesis [3] la dividiremos en varias fases que ayudan a la extracción de los datos que necesitaremos

Fase 1. Diseño de Mezcla

En este documento plantearon para esta metodología el diseño de mezcla ACI con un agregado llamado Piedra chancada (agregado de cantera), y se utilizará solamente la dosificación de agua-cemento para una mezcla de **F’C: 210 Kg/Cm²**.

Tabla 12. Relación Agua-Cemento usada y resistencia estimada por el método ACI

Relación Agua-Cemento Método ACI	Resistencia Estimada (Kg/Cm²)	Resistencia Estimada (PSI)
0.56	210	3000

Fuente: Elaboración Propia.

Fase 2. Planteamiento del Proceso

Se extraerá 3 especímenes los cuales corresponden a un agregado de cantera (piedra chancada) con una relación de agua-cemento de 0,56 (210 Kg/Cm² – 3000 PSI). Estos especímenes corresponden a un método de aceleramiento en el fraguado de un concreto hidráulico por Agua Hirviendo.

Tabla 13. Resistencia a la compresión de Especímenes a los 28 días, con agregado de cantera para un esfuerzo de 210Kg/Cm² (PIEDRA CHANCADA)

N.º De Probeta	Relación Agua-Cemento	Tipo de Curado	Diámetro Promedio (Cm)	área Efectiva (Cm²)	Carga (Kgf)	Resistencia Compresión (F'c) (Kg/Cm²)
31	0.56	Acelerado	15.05	177.89	17310	97.30
32	0.56	Acelerado	15.01	176.95	21390	120.88
33	0.56	Acelerado	14.85	173.20	19670	113.57

Fuente: Tesis [3] Tabla 40, Pag 81.

5.4. Metodología Curado Acelerado por Implementación de Aditivos

El presente estudio metodológico es tomado del autor Bach. Edison Simón Ponce Córdova en la tesis [1], el cual analizó el comportamiento de 4 aditivos comunes en 3 distintas relaciones en proporción de aditivo, en una resistencia a la compresión con un F'c = 210 kg/cm². Este trabajo fue realizado para la obtención del título como Ingeniero Civil de la Universidad Andina del Cusco En Perú en el año 2016.

5.4.1. Revisión bibliográfica

Este trabajo se realizó bajo la Norma Técnica Peruana (NTP), la cual es su principal fuente de investigación junto con las fichas técnicas de cada producto para la elaboración de ensayos requeridos para el buen desempeño de este estudio. Para (Bach. Edison Simón Ponce Córdova) la elaboración del diseño de mezcla fue por medio del Método de Diseño de Mezcla del ACI.

La región de Cusco tiene una temperatura media anual de 13 °C y es ubicada al sureste de Perú en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes.

5.4.2. Extracción de Datos

La tesis [1] se dividirá en varias fases que ayuden a la extracción de datos que necesitaremos. Se escogió como base a analizar los aditivos Sika-3 y Chema-5 con una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ o 3000 psi aproximadamente, con el fin de generalizar un solo diseño en todos los análisis de esta metodología de estudio.

Fase 1. Diseño de Mezcla

Se plantea un diseño de mezcla para el concreto convencional y para las mezclas de concreto con aditivo SIKA-3 y concreto con aditivo CHEMA-5, para los diseños de mezcla con los aditivos solo se le modifica un porcentaje en el peso del agua del convencional y se compensa con un porcentaje de aditivo según la ficha técnica de cada producto, la resistencia a la compresión en la que nos enfocaremos será un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ o 3000 psi, el autor Bach. Edison Simón Ponce Córdova se guio por el método de diseño de mezclas de la ACI, con un tiempo de rotura de los especímenes a los 3, 7, 14 días.

Para saber la dosificación adecuada de los aditivos se tuvo en cuenta las especificaciones indicadas en la hoja técnica de cada producto, con el fin de obtener la proporción adecuada para las resistencias. (Ver anexos)

Se elaboraron 33 especímenes de la muestra de $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, de estos, 5 para el concreto convencional y 9 para cada tipo de concreto con aditivo (Convencional+SIKA-3 y Convencional+CHEMA-5), de estos se fallan 5 en convencional y 3 especímenes para cada concreto en cada día asignado que serían a los 3,7,14 días.

Tabla 14. Número de muestras a diseñar por método de Aditivos

Diseño $f'c$ kg/cm ²	Aditivo	N° de Probetas por edad de ensayo			N° total de probetas
		3 días	7 días	14 días	
210	NO	5	5	5	15
210	SIKA-3	3	3	3	9
210	CHEMA-5	3	3	3	9
					$\Sigma = 33$

Fuente: Tesis [1] Tabla 5, pag 80.

Fase 2. Planteamiento del Proceso

A continuación, se evidenciarán las resistencias a la compresión que se obtuvo en cada uno de los diseños de mezcla (Concreto convencional, Concreto con aditivos SIKA-3 y Concreto con aditivo CHEMA-5), especificando el tiempo de fraguado en el que se falló cada espécimen (3, 7, 14 días), con el fin de dar a conocer la efectividad de cada aditivo estudiado y además saber el tiempo en que el concreto logra obtener una resistencia temprana. A continuación, se presentan las resistencias que se obtuvieron al fallar los especímenes mediante tablas e ilustraciones.

Tabla 15. Control de producción y resistencia del concreto con adición de 1:10 partes de agua de Sika-3

LUGAR	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			HORA DE ELABORACION	3:35 p. m.							
FECHA DE ELABORACION	21/03/2014	ELABORADO POR	EDISON SIMON PONCE CORDOVA									
F'c DISEÑO	210 Kg/Cm2	TIPO DE MUESTRA	TESTIGOS DE CONCRETO									
FACTOR DE SEGURIDAD Frc	295 Kg/Cm2	SLUMP DE DISEÑO	3" , 4"									
N° DE BRIQUETAS	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA			AREA DE TESTIGO	CARGA (Kg)			RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/Cm2)			RESISTENCIA PROMEDIO
		3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS		3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	
1	21/03/2014	24/03/2014			182,41	27715.38			151.94			
2	21/03/2014	24/03/2014			182,41	28240.72			154.82			154.34
3	21/03/2014	24/03/2014			182,41	28505.21			156.27			
4	21/03/2014		28/03/2014		182,41		36294.12			198.97		
5	21/03/2014		28/03/2014		182,41		36584.15			200.56		198.81
6	21/03/2014		28/03/2014		182,41		35918.35			196.91		
7	21/03/2014			4/04/2014	182,41			36102.59			197.92	
8	21/03/2014			4/04/2014	182,41			37620.24			206.24	205.15
9	21/03/2014			4/04/2014	182,41			38545.06			211.31	

Fuente: Tesis [1] Tabla 51, pag 146.

Nota: Ver Completa en Anexo E

Tabla 16. Control de producción y resistencia al concreto con adición de 47.06 cm³ de Chema-5 por Kg de cemento

LUGAR	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				HORA DE ELABORACION	12:30 p. m.						
FECHA DE ELABORACION	22/02/2014	ELABORADO POR			EDISON SIMON PONCE CORDOVA							
F' C DISEÑO	210 Kg/Cm ²	TIPO DE MUESTRA			TESTIGOS DE CONCRETO							
FACTOR DE SEGURIDAD Frc	295 Kg/Cm ²	SLUMP DE DISEÑO			3" , 4"							
N° DE BRIQUETAS	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA			AREA DE TESTIGO	CARGA (Kg)			RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/Cm ²)			RESISTENCIA PROMEDIO
		3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS		3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	
1	03/04/2014	06/04/2014			182,41	27770.1			152.24			
2	03/04/2014	06/04/2014			182,41	28839.02			158.10			156.92
3	03/04/2014	06/04/2014			182,41	29260.39			160.41			
4	03/04/2014		10/04/2014		182,41		37248.12			204.20		
5	03/04/2014		10/04/2014		182,41		36383.50			199.46		200.39
6	03/04/2014		10/04/2014		182,41		36025.98			197.50		
7	03/04/2014			17/04/2014	182,41			39816.45			218.28	
8	03/04/2014			17/04/2014	182,41			41104.27			225.34	224.03
9	03/04/2014			17/04/2014	182,41			41673.39			228.46	

Fuente: Tesis [1] Tabla 69, pag 176.

Nota: Ver Completa en Anexo E

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.1. Análisis Estadístico Método Curado Convencional

A continuación, en la tabla 12 se muestra los datos extraídos de la tesis [1] los cuales representan valores obtenidos a los 3, 7 y 14 días de curado de la mezcla convencional.

Tabla 17. Resumen datos a compresión a los 7 días, método convencional

MUESTRA	FECHA		EDAD (días)	Carga Kgf	Área de Testigo	F'c MPA	F'c PSI	F'c Kg/cm2
	MOLDEO	ROTURA						
CONVENCIONAL								
1	22/02/2014	25/02/2014	3	26653,75	182,41	14,33	2078	146,12
2	22/02/2014	25/02/2014	3	26909,12	182,41	14,47	2098	147,52
3	22/02/2014	25/02/2014	3	26558,9	182,41	14,28	2071	145,60
4	22/02/2014	25/02/2014	3	26910,95	182,41	14,47	2098	147,53
5	22/02/2014	25/02/2014	3	26734,01	182,41	14,37	2085	146,56
6	22/02/2014	1/03/2014	7	32912,24	182,41	17,69	2566	180,43
7	22/02/2014	1/03/2014	7	32186,24	182,41	17,30	2510	176,45
8	22/02/2014	1/03/2014	7	32819,21	182,41	17,64	2559	179,92
9	22/02/2014	1/03/2014	7	33784,16	182,41	18,16	2634	185,21
10	22/02/2014	1/03/2014	7	33056,34	182,41	17,77	2578	181,22
11	22/02/2014	8/03/2014	14	40699,32	182,41	21,88	3174	223,12
12	22/02/2014	8/03/2014	14	39666,88	182,41	21,33	3093	217,46
13	22/02/2014	8/03/2014	14	39391,44	182,41	21,18	3072	215,95
14	22/02/2014	8/03/2014	14	39920,43	182,41	21,46	3113	218,85
15	22/02/2014	8/03/2014	14	40139,32	182,41	21,58	3130	220,05

Fuente: Elaboración Propia

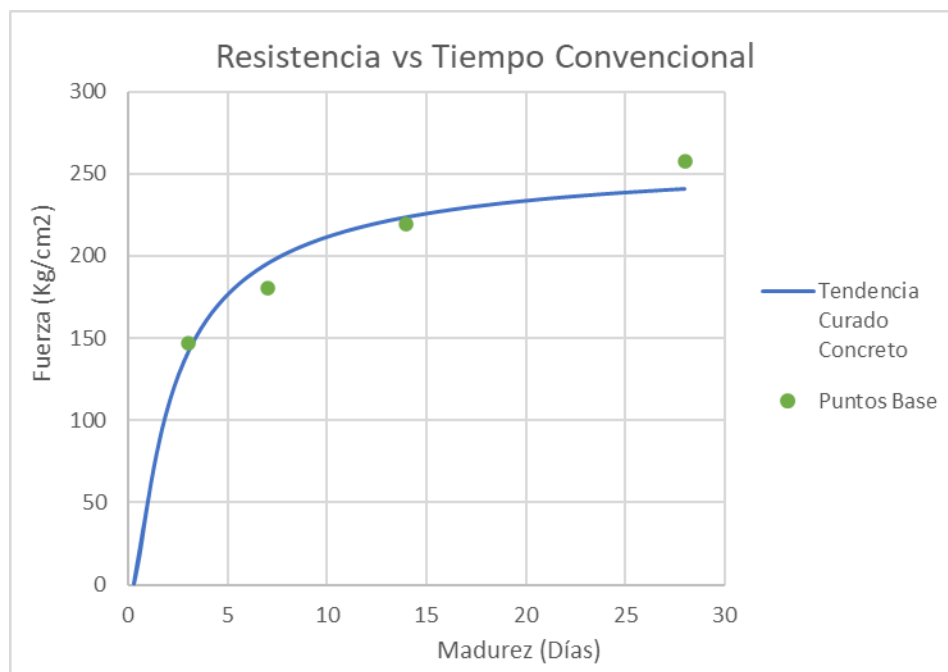
Dado que solo se tienen 15 datos válidos y debido a que se decidió hacer el análisis estadístico por medio de una distribución normal, se requieren más de 30 datos para su análisis. Para ello se acude a graficar el comportamiento del curado de un concreto convencional entre la resistencia vs el tiempo de curado y de allí según la tendencia de la gráfica se generan 36 datos; todo esto se hará bajo la tesis de maestría en ingeniería civil [16], el cual habla del comportamiento del concreto entre la resistencia y la madurez, también facilita una hoja de Excel programada para graficar dicho comportamiento [17].

Tabla 18. Esfuerzos obtenidos - método convencional

DATOS PARA ANALIZAR - CURADO CONVENCIONAL							
N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2
1	2,108	10	188,962	19	223,215	28	235,289
2	18,598	11	195,672	20	225,088	29	236,175
3	40,748	12	201,201	21	226,783	30	237,003
4	61,482	13	205,842	22	228,324	31	237,779
5	107,493	14	209,796	23	229,733	32	238,508
6	136,407	15	213,208	24	231,026	33	239,194
7	155,941	16	216,185	25	232,218	34	239,841
8	170,008	17	218,806	26	233,319	35	240,453
9	180,636	18	221,134	27	234,340	36	241,031

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 1. Resistencia Vs Tiempo Curado Convencional



Fuente: [17]

Al analizarlo estadísticamente se trabaja con el programa Minitab, se debe digitar los datos y el programa analiza estadísticamente obteniendo como resultado una media, desviación estándar, varianza, mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo; A este estudio se le diseñó una gráfica de caja y bigotes.

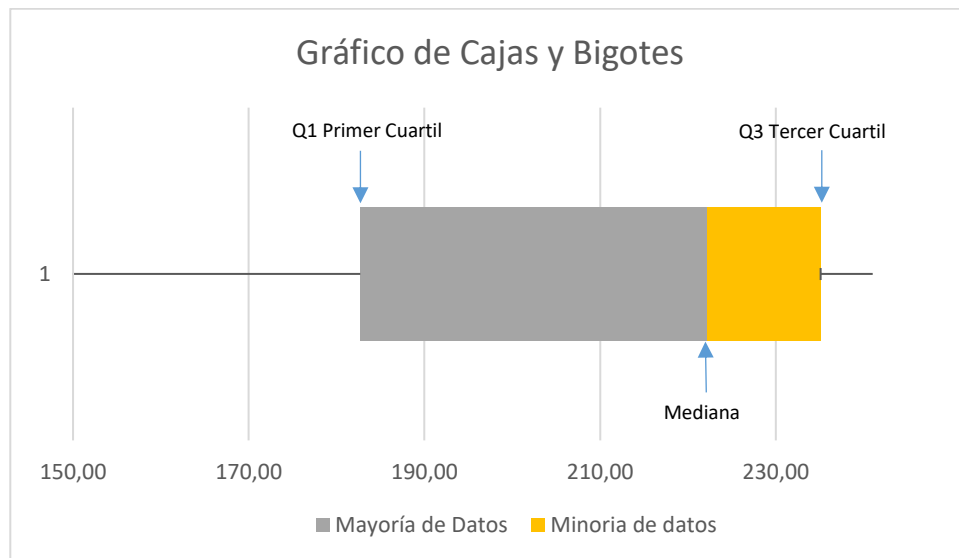
Tabla 19. Análisis Estadístico Método Convencional

<i>Estadística Descriptiva CONVENCIONAL</i>	
Media	193,20
E. Est. Media	11
Desv. Están.	66,20
Varianza	4382,70
Mínimo	2,11
Q1	182,70
Mediana	222,20
Q3	235,10
Máximo	241,03

Fuente: Elaboración Propia

Se pudo observar que la distribución de las resistencias extraídas de la tesis [1] la mayoría de los datos están distribuidos por debajo de su mediana

Gráfica 2. Caja y Bigotes Método Convencional



Fuente: Elaboración Propia

6.2. Análisis Estadístico Método Curado por Agua Caliente

De los datos extraídos de la tesis de Henry Bladimir Arévalo Vera y Jorge Xavier Herrera Añazco se tomaron los valores aceptados y a partir de ellos se encontró la media

Tabla 20. Resumen de resultados aceptados ensayo a compresión curado con agua caliente

MUESTRA	FECHA		EDAD (días)	Carga Kgf	Esfuerzo f'c (MPA)	Promedio f'c (MPA)	Promedio f'c PSI	Promedio Kg/cm2
	MOLDEO	ROTURA						
A3	12/03/2005	14/03/2005	2	17610	9,6	9,55	1385	97,38
	12/03/2005	14/03/2005	2	17310	9,5			
A4	15/03/2005	16/03/2005	1	16570	9,4	9,15	1327	93,30
	15/03/2005	16/03/2005	1	15970	8,9			
A6	17/03/2005	18/03/2005	1	16860	9,3	9,15	1327	93,30
	17/03/2005	18/03/2005	1	16090	9			
A7	19/03/2005	21/03/2005	2	16570	9,2	9,35	1356	95,34
	19/03/2005	21/03/2005	2	17000	9,5			
A9	17/04/2005	19/04/2005	2	14980	8,2	7,95	1153	81,07
	17/04/2005	19/04/2005	2	13890	7,7			
A10	17/04/2005	19/04/2005	2	16360	9,1	9,00	1305	91,77
	17/04/2005	19/04/2005	2	16040	8,9			
A11	19/04/2005	21/04/2005	2	16570	9,1	8,90	1291	90,75
	19/04/2005	21/04/2005	2	15630	8,7			
A18	28/04/2005	29/04/2005	1	15040	8,4	8,70	1262	88,72
	28/04/2005	29/04/2005	1	15630	9			
A19	31/05/2005	2/06/2005	2	15130	8,6	8,35	1211	85,15
	31/05/2005	2/06/2005	2	14440	8,1			
						Esfuerzo Promedio	1291	90,75

Fuente: Tesis [2] Tabla de resultados, pag 21-30.

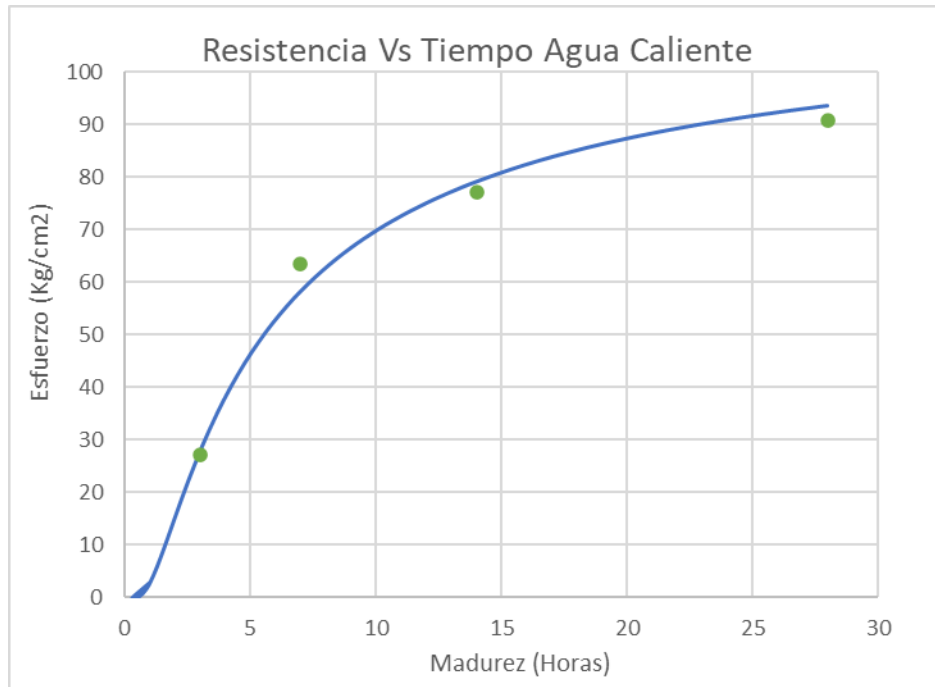
Igualmente, que el método convencional y dado que solo se tienen 18 datos válidos, se requirieron 36 datos para su análisis. Se generarán tal y como se explicó anteriormente, a continuación, en tabla 16, se mostrará los datos generados y la gráfica de Resistencia vs tiempo.

Tabla 21. Esfuerzos Obtenidos - Agua Caliente

DATOS PARA ANALIZAR - CURADO AGUA CALIENTE							
N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2
1	0,020	10	58,310	19	79,113	28	88,566
2	1,663	11	62,113	20	80,099	29	89,324
3	4,226	12	65,408	21	81,473	30	90,035
4	14,997	13	68,291	22	82,734	31	90,705
5	25,735	14	70,835	23	83,896	32	91,337
6	34,857	15	73,097	24	84,970	33	91,934
7	42,396	16	75,121	25	85,967	34	92,498
8	48,644	17	76,945	26	86,893	35	93,033
9	53,876	18	78,596	27	87,758	36	93,541

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3. Resistencia Vs Tiempo Método Agua Caliente



Fuente: [17]

Al analizarlo estadísticamente se trabajó con el programa Minitab, se debe digito los datos y el programa analiza estadísticamente obteniendo su media, desviación estándar, varianza, mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo; se le hizo una gráfica de caja y bigotes.

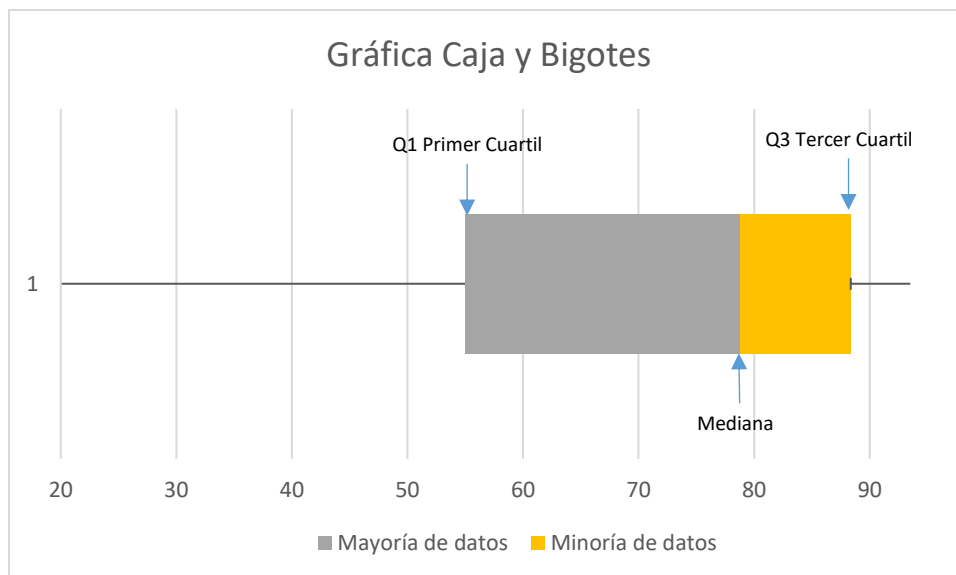
Tabla 22. Análisis Estadístico agua caliente

<i>Estadística Descriptiva Agua Caliente</i>	
Media	67,47
E. Est. Media	4,68
Desv. Están.	28,07
Varianza	787,71
Mínimo	0,02
Q1	54,98
Mediana	78,85
Q3	88,36
Máximo	93,51

Fuente: Elaboración Propia

Se pudo observar que la distribución de las resistencias extraídas de la tesis [2] la mayoría de los datos están distribuidos por debajo de su mediana

Gráfica 4. Caja y Bigotes Método Agua Caliente



Fuente: Elaboración Propia

6.3. Resultado del Método Curado por Agua Hirviendo

De los datos extraídos de la tesis [3] se tuvo en cuenta los valores finales obtenidos en el ensayo de compresión.

Tabla 23. Resistencia a la compresión de Especímenes con agregado de cantera para un agregado de 210Kg/Cm² (PIEDRA CHANCADA)

N.º De Probeta	Relación Agua-Cemento	Tipo de Curado	Diámetro Promedio (Cm)	área Efectiva (Cm ²)	Carga (Kgf)	Resistencia Compresión (F'c) (Kg/Cm ²)
31	0.56	Acelerado	15.05	177.89	17310	97.30*
32	0.56	Acelerado	15.01	176.95	21390	120.88
33	0.56	Acelerado	14.85	173.20	19670	113.57

Fuente: Tesis [3] Tabla 40, Pag 81.

NOTA: los valores con (*) en su resistencia a la compresión serán desestimados ya que no cumplen con lo establecido según lo indica la norma **NTP 339.034** y **NTP 339.213**.

Tabla 24. Resistencia Promedio a la Compresión con agregado de cantera (PIEDRA CHANCADA)

Nº de Relación a/c	Relación Agua/Cemento	Promedio Resistencia Compresión F'c ACELERADO (Kg/Cm ²) (Xi)	Porcentaje de Aceleramiento de Resistencia a la Compresión	Promedio Resistencia Compresión F'c ESTANDAR (Kg/Cm ²) (Yi)
6	0.56	117.23	60.04	195.25

Fuente: Tesis [3] Tabla 42, Pág. 83.

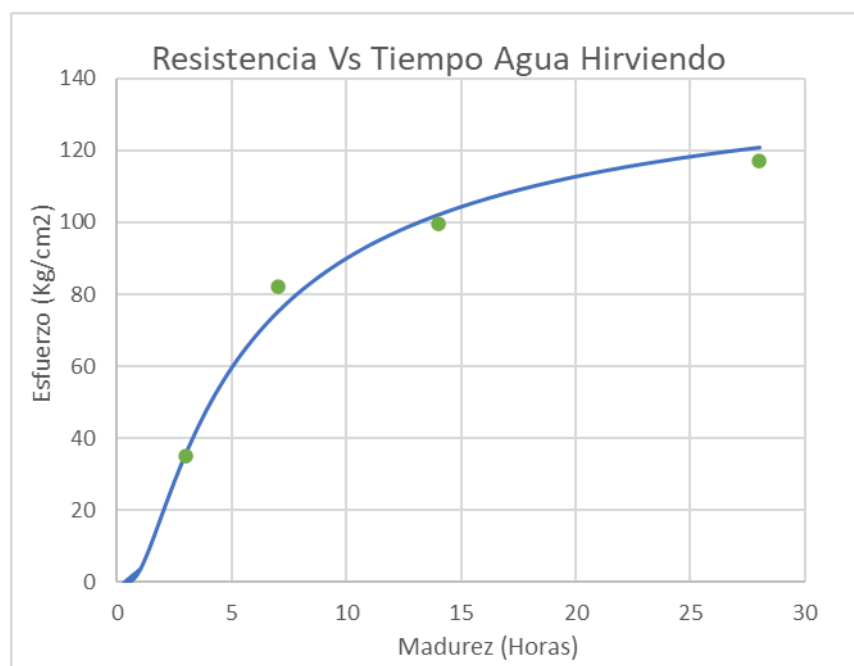
Al igual que con los métodos mencionados anteriormente se extrajeron 36 datos para analizar los cuales se mostrarán a continuación junto con su comportamiento gráficamente entre la resistencia vs tiempo.

Tabla 25. Esfuerzos Obtenidos - Agua Hirviendo

DATOS A ANALIZAR - CURADO AGUA HIRVIENDO							
N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2
1	0,026	10	75,314	19	102,187	28	114,733
2	0,363	11	80,226	20	104,070	29	115,692
3	5,456	12	84,483	21	105,795	30	116,592
4	19,366	13	88,207	22	107,379	31	117,441
5	33,236	14	91,493	23	108,841	32	118,241
6	45,018	15	94,415	24	110,194	33	118,998
7	54,756	16	97,031	25	111,450	34	119,714
8	62,827	17	99,387	26	112,620	35	120,394
9	69,585	18	101,520	27	113,712	36	120,827

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 5. Resistencia Vs Tiempo Agua Hirviendo



Fuente: Elaboración Propia

Se analizó estadísticamente con el programa Minitab, se digitó los datos y el programa analiza estadísticamente obteniendo la media, desviación estándar, varianza, mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo; A este estudio se le graficó un diagrama de caja y bigotes.

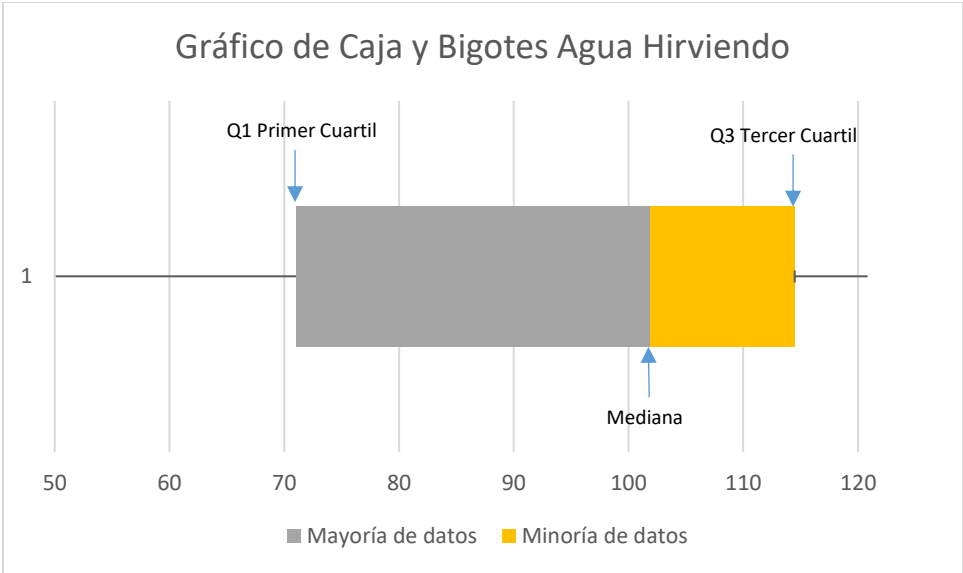
Tabla 26. Análisis Estadístico Descriptivo Agua Hirviendo

<i>Estadística Descriptiva Agua Hirviendo</i>	
Media	87,27
E. Est. Media	6,08
Desv. Están.	36,49
Varianza	1331,42
Mínimo	0,03
Q1	71,02
Mediana	101,85
Q3	114,48
Máximo	120,83

Fuente: Elaboración Propia

Se pudo observar que la distribución de las resistencias extraídas de la tesis [3] la mayoría de los datos están distribuidos por debajo de su mediana

Gráfica 6. Caja y Bigotes Agua Hirviendo



Fuente: Elaboración Propia

6.4. Resultados del Método Aceleración por Adición de Aditivos

De los datos extraídos de la tesis [1] se analizarán los valores obtenidos a los 3,7 y 14 días de curado de la mezcla de cada aditivo.

Tabla 27. Resumen datos a compresión aditivo Sika-3

MUESTRA	FECHA		EDAD (días)	Carga Kgf	Área de testigo	Promedio f'c (MPA)	Promedio f'c PSI	Promedio Kg/cm2
	MOLDEO	ROTURA						
Sika - 3								
1	21/03/2014	24/03/2014	3	27715,38	182,41	14,90	2161	151,94
2	21/03/2014	24/03/2014	3	28240,72	182,41	15,18	2202	154,82
3	21/03/2014	24/03/2014	3	28505,21	182,41	15,32	2223	156,27
4	21/03/2014	28/03/2014	7	36294,12	182,41	19,51	2830	198,97
5	21/03/2014	28/03/2014	7	36584,15	182,41	19,67	2853	200,56
6	21/03/2014	28/03/2014	7	35918,35	182,41	19,31	2801	196,91
7	21/03/2014	4/04/2014	14	36102,59	182,41	19,41	2815	197,92
8	21/03/2014	4/04/2014	14	37620,24	182,41	20,23	2933	206,24
9	21/03/2014	4/04/2014	14	38545,06	182,41	20,72	3006	211,31

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28. Resumen datos a compresión aditivo Chema-5

MUESTRA	FECHA		EDAD (días)	Carga Kgf	Área de destigo	Promedio f'c (MPA)	Promedio f'c PSI	Promedio Kg/cm2
	MOLDEO	ROTURA						
Chema - 5								
1	3/04/2014	6/04/2014	3	27770,1	182,41	14,93	2165	152,24
2	3/04/2014	6/04/2014	3	28839,02	182,41	15,50	2249	158,10
3	3/04/2014	6/04/2014	3	29260,39	182,41	15,73	2282	160,41
4	3/04/2014	10/04/2014	7	37248,12	182,41	20,03	2904	204,20
5	3/04/2014	10/04/2014	7	36383,5	182,41	19,56	2837	199,46
6	3/04/2014	10/04/2014	7	36025,98	182,41	19,37	2809	197,50
7	3/04/2014	17/04/2014	14	39716,45	182,41	21,41	3105	218,28
8	3/04/2014	17/04/2014	14	41104,27	182,41	22,10	3205	225,34
9	3/04/2014	17/04/2014	14	41673,39	182,41	22,40	3249	228,46

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que con los métodos mencionados anteriormente se extrajeron 36 datos para analizar los cuales se mostrarán a continuación junto con su comportamiento gráficamente entre la resistencia vs tiempo.

Tabla 29. Esfuerzos Obtenidos - aditivo Sika-3

DATOS A ANALIZAR - CURADO SIKA-3							
N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2
1	6,170	10	196,662	19	217,961	28	226,413
2	32,570	11	200,895	20	218,873	29	227,064
3	81,203	12	204,425	21	220,132	30	227,672
4	124,439	13	207,419	22	221,274	31	228,242
5	149,280	14	209,992	23	222,317	32	228,776
6	165,352	15	212,228	24	223,272	33	229,279
7	176,632	16	214,191	25	224,151	34	229,752
8	185,008	17	215,930	26	224,963	35	230,200
9	191,489	18	217,481	27	225,715	36	230,622

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 7. Resistencia Vs Tiempo Aditivo Sika-3



Fuente: Elaboración Propia

Se analizó y se procedió a digitarlos en el programa seleccionado llamado Minitab, este se encargará de hacer todo el análisis estadístico arrojando los valores de la media, desviación estándar, varianza, mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo. A partir de estos se realizó una gráfica de cajas y bigotes para verificar en qué lado se concentran la mayoría de los datos.

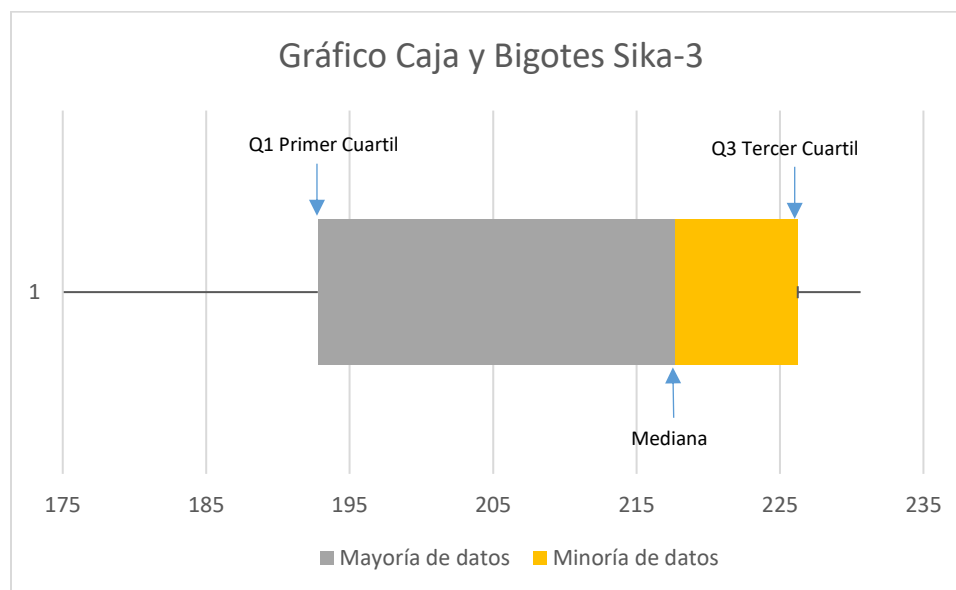
Tabla 30. Análisis estadístico descriptivo Sika-3

Estadística Descriptiva Sika-3	
Media	195,78
E. Est. Media	9,01
Desv. Están.	54,08
Varianza	2924,42
Mínimo	6,17
Q1	192,78
Mediana	217,72
Q3	226,24
Máximo	230,62

Fuente: Elaboración Propia

Se pudo observar que la distribución de las resistencias extraídas de la tesis [1] la mayoría de los datos están distribuidos por debajo de su mediana

Gráfica 8. Caja y Bigotes Sika-3



Fuente: Elaboración Propia

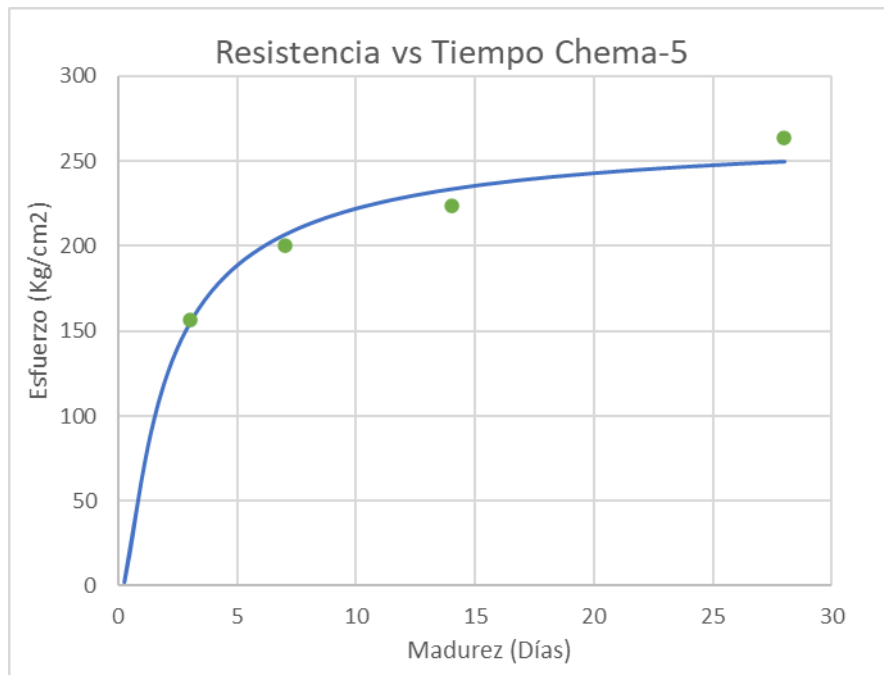
Chema-5:

Tabla 31. Esfuerzos Obtenidos - Aditivo Chema-5

DATOS PARA ANALIZAR - CURADO ADITIVO CHEMA-5							
N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2	N°	Esfuerzo Kg/cm2
1	3,378	10	206,618	19	233,471	28	244,553
2	24,392	11	211,912	20	235,185	29	245,368
3	72,226	12	216,345	21	236,737	30	246,132
4	119,945	13	220,115	22	238,151	31	246,847
5	148,905	14	223,363	23	239,444	32	247,520
6	168,143	15	226,192	24	240,632	33	248,153
7	181,858	16	228,681	25	241,726	34	248,750
8	192,151	17	230,888	26	242,739	35	249,314
9	200,175	18	232,860	27	243,678	36	249,674

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 9. Resistencia Vs Tiempo Aditivo Chema-5



Fuente: Elaboración Propia

Al igual que los métodos anteriores se hizo un estudio estadístico y gráfica de caja y bigotes.

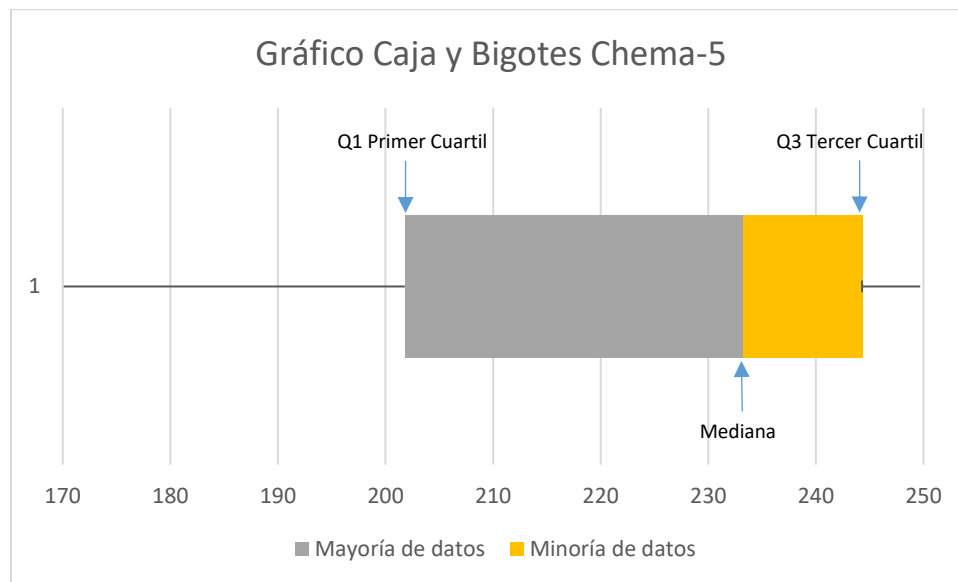
Tabla 32. Análisis Estadístico Descriptivo Chema-5

Estadística Descriptiva Chema-5	
Media	208,00
E. Est. Media	10,3
Desv. Están.	61,60
Varianza	3799,50
Mínimo	3,40
Q1	201,80
Mediana	233,20
Q3	244,30
Máximo	249,70

Fuente: Elaboración Propia

Se pudo observar que la distribución de las resistencias extraídas de la tesis [1] la mayoría de los datos están distribuidos por debajo de su mediana

Gráfica 10. Caja y Bigotes Chema-5



Fuente: Elaboración Propia

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO

Se analizan los resultados del proyecto bajo la metodología denominada ANOVA (Análisis de Varianza) [18] [19] [20], basada en el estudio comparativo de las medias de dos o más grupos de datos, y verificando el cumplimiento de la hipótesis nula H_0 : Todas las medias son iguales o la hipótesis alterna H_1 : Al menos una media sea distinta. A continuación, se mostrará su análisis:

- Se deben calcular las medias de cada grupo de datos que se tiene, en este caso sería la media de los esfuerzos de cada método: Convencional, agua caliente, agua hirviendo, convencional + aditivo Sika-3 y convencional + aditivo Chema-5

Tabla 33. Análisis de Varianza – Esfuerzos y Media de cada método

n	C				
	1	2	3	4	5
	Convencional	Agua Caliente	Agua Hirviendo	Chema-5	Sika-3
1	2,11	0,02	0,03	3,38	6,17
2	18,60	1,66	0,36	24,39	32,57
3	40,75	4,23	5,46	72,23	81,20
4	61,48	15,00	19,37	119,95	124,44
5	107,49	25,74	33,24	148,90	149,28
6	136,41	34,86	45,02	168,14	165,35
7	155,94	42,40	54,76	181,86	176,63
8	170,01	48,64	62,83	192,15	185,01
9	180,64	53,88	69,59	200,18	191,49
10	188,96	58,31	75,31	206,62	196,66
11	195,67	62,11	80,23	211,91	200,89
12	201,20	65,41	84,48	216,34	204,43
13	205,84	68,29	88,21	220,11	207,42
14	209,80	70,83	91,49	223,36	209,99
15	213,21	73,10	94,42	226,19	212,23
16	216,19	75,12	97,03	228,68	214,19
17	218,81	76,94	99,39	230,89	215,93
18	221,13	78,60	101,52	232,86	217,48
19	223,21	79,11	102,19	233,47	217,96
20	225,09	80,10	104,07	235,18	218,87
21	226,78	81,47	105,79	236,74	220,13
22	228,32	82,73	107,38	238,15	221,27
23	229,73	83,90	108,84	239,44	222,32
24	231,03	84,97	110,19	240,63	223,27

25	232,22	85,97	111,45	241,73	224,15
26	233,32	86,89	112,62	242,74	224,96
27	234,34	87,76	113,71	243,68	225,71
28	235,29	88,57	114,73	244,55	226,41
29	236,18	89,32	115,69	245,37	227,06
30	237,00	90,04	116,59	246,13	227,67
31	237,78	90,71	117,44	246,85	228,24
32	238,51	91,34	118,24	247,52	228,78
33	239,19	91,93	119,00	248,15	229,28
34	239,84	92,50	119,71	248,75	229,75
35	240,45	93,03	120,39	249,31	230,20
36	241,03	93,54	120,83	249,67	230,62
Media \bar{X}	193,154	67,472	87,266	207,951	195,779

Fuente: Elaboración Propia

- Se debe calcular el número de columnas, el número de filas y se busca el valor de n con la fórmula mostrada a continuación

$$n = C * r \quad (1)$$

Entonces:

C = Columnas = 5

R = Filas = 36

$$n = 5 * 36 = 180$$

- Se debe calcular la gran media, basada en la suma de las medias de cada grupo y se divide en la cantidad de medias

$$Gran\ media\ (\bar{\bar{X}}) = \frac{\sum X1 + X2 \dots Xn}{n} \quad (2)$$

$$\text{Gran media } (\bar{X}) = \frac{193,154+67,472+87,266+207,951+195,779}{5} = 150,324$$

- Se calcula la suma de cuadrados totales (SCT), se obtiene entre la diferencia de cada esfuerzo con la gran media todo esto elevado al cuadrado

$$SCT = \sum^r \sum^c = (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (3)$$

$$SCT = (2,11 - 150,324)^2 = 21968,24$$

Tabla 34. Análisis de Varianza - Suma de cuadrados totales

SUMA DE CUADRADOS TOTALES					
Convencional	Agua Caliente	Agua Hirviendo	Chema-5	Sika-3	Total
21968,24	22591,38	22589,62	21593,23	20780,57	109523,04
17351,90	22100,14	22488,53	15859,07	13866,23	91665,87
12007,07	21344,70	20986,74	6099,34	4777,85	65215,70
7893,05	18313,58	17150,10	922,91	670,07	44949,72
1834,51	15522,46	13709,74	2,02	1,09	31069,81
193,69	13332,70	11089,38	317,50	225,83	25159,10
31,54	11648,56	9133,26	994,38	692,08	22499,82
387,44	10339,01	7655,86	1749,45	1202,94	21334,71
918,79	9302,39	6518,81	2485,11	1694,51	20919,61
1492,89	8466,64	5626,59	3168,97	2147,21	20902,30
2056,40	7781,34	4913,82	3793,04	2557,34	21101,94
2588,46	7210,85	4335,14	4358,70	2926,90	21420,06
3082,20	6729,53	3858,58	4870,67	3259,77	21800,75
3536,88	6318,62	3461,10	5334,57	3560,16	22211,32
3954,39	5964,15	3125,83	5755,89	3832,04	22632,30
4337,63	5655,52	2840,20	6139,71	4078,98	23052,03
4689,79	5384,57	2594,66	6490,47	4304,06	23463,55
5013,95	5144,95	2381,88	6812,08	4509,96	23862,82
5313,00	5071,14	2317,21	6913,40	4574,74	24189,48
5589,52	4931,62	2139,43	7201,30	4698,96	24560,84

5845,83	4740,54	1982,91	7467,20	4873,04	24909,53		
6083,98	4568,47	1844,29	7713,51	5033,86	25244,12		
6305,78	4412,75	1720,87	7942,30	5182,89	25564,58		
6512,81	4271,18	1610,45	8155,36	5321,37	25871,16		
6706,48	4141,93	1511,21	8354,27	5450,39	26164,27		
6888,03	4023,50	1421,65	8540,39	5570,88	26444,44		
7058,56	3914,58	1340,51	8714,93	5683,68	26712,25		
7219,04	3814,08	1266,74	8878,94	5789,49	26968,30		
7370,33	3721,08	1199,44	9033,36	5888,97	27213,19		
7513,21	3634,77	1137,86	9179,02	5982,67	27447,53		
7648,36	3554,46	1081,35	9316,65	6071,08	27671,89		
7776,40	3479,54	1029,34	9446,90	6154,65	27886,83		
7897,87	3409,50	981,36	9570,36	6233,77	28092,86		
8013,28	3343,88	936,99	9687,56	6308,79	28290,49		
8123,07	3282,27	895,85	9798,97	6380,03	28480,19		
8227,66	3224,31	870,08	9870,23	6447,77	28640,05		
Total	219432,05	274690,69	189747,36	252531,74	176734,63	1113136,47	SCT

Fuente: Elaboración Propia

$$SCT = 1113136,47$$

- Se calcula la suma de cuadrados de tratamiento (SCTR), para ello se multiplica el número de filas r por la diferencia al cuadrado de la media de cada método entre la gran media como se muestra a continuación

$$SCTR = r(\bar{X} - \bar{\bar{X}})^2 \quad (4)$$

$$SCTR = 36(193,154 - 150,324)^2 = 66037.61$$

Tabla 35. Análisis de Varianza - Suma de cuadrados de tratamiento

Suma de Cuadrados de tratamiento					
SCTR					Total
66037,61	247120,93	143147,64	119547,51	74379,96	650233,64

Fuente: Elaboración Propia

Seguido se debe hacer la sumatoria y esta sería el valor de la suma de cuadrados de tratamiento SCTR

$$SCTR = 66037,61 + 247120,93 + 143147,64 + 119547,51 + 74379,96$$

$$\mathbf{SCTR = 650233,66}$$

- Se halla la suma de cuadrados de error (SCE), se hace igual que la suma de cuadrados totales a diferencia que no se le resta la gran media $\bar{\bar{X}}$ si no que su propia media \bar{X}

$$SCE = \sum^r \sum^c = (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (5)$$

$$SCE = (2,11 - 193,154)^2$$

$$\mathbf{SCE = 36498,76}$$

Tabla 36. Análisis de Varianza - Suma de Cuadrados por Error

Suma de Cuadrados por error							
Convencional	Agua Caliente	Agua Hirviendo	Chema-5	Sika-3	Total		
36498,76	4549,80	7610,88	41849,88	35951,63	126460,95		
30469,89	4330,83	7552,25	33693,86	26637,32	102684,15		
23227,71	4000,08	6692,86	18421,10	13127,76	65469,52		
17337,64	2753,69	4610,45	7744,97	5089,42	37536,18		
7337,78	1741,98	2919,29	3486,38	2162,17	17647,60		
3220,21	1063,75	1784,90	1584,65	925,79	8579,30		
1384,82	628,83	1056,90	680,81	366,61	4117,96		
535,74	354,53	597,30	249,63	116,02	1853,21		
156,70	184,87	312,62	60,45	18,40	733,05		
17,57	83,95	142,86	1,78	0,78	246,94		
6,34	28,73	49,57	15,69	26,17	126,50		
64,76	4,26	7,75	70,47	74,76	222,00		
160,98	0,67	0,88	147,97	135,49	445,99		
276,96	11,31	17,87	237,53	202,00	745,66		
402,17	31,63	51,11	332,75	270,57	1088,24		
530,43	58,51	95,35	429,74	339,02	1453,04		
658,04	89,73	146,90	526,12	406,06	1826,85		
782,86	123,74	203,16	620,47	470,97	2201,20		
903,64	135,49	222,63	651,31	492,05	2405,13		
1019,75	159,43	282,38	741,71	533,36	2736,62		
1130,87	196,01	343,30	828,69	593,05	3091,92		
1236,95	232,92	404,53	912,07	650,01	3436,47		
1338,04	269,73	465,47	991,84	704,26	3769,34		
1434,31	306,17	525,68	1068,05	755,88	4090,09		
1525,95	342,04	584,86	1140,79	804,98	4398,62		
1613,19	377,18	642,79	1210,22	851,70	4695,07		
1696,25	411,50	699,35	1276,47	896,14	4979,72		
1775,38	444,95	754,43	1339,71	938,46	5252,93		
1850,81	477,49	807,99	1400,10	978,76	5515,14		
1922,75	509,09	860,01	1457,80	1017,18	5766,82		
1991,41	539,77	910,48	1512,95	1053,82	6008,44		
2057,01	569,51	959,43	1565,71	1088,81	6240,47		
2119,71	598,35	1006,88	1616,21	1122,23	6463,39		
2179,70	626,29	1052,86	1664,58	1154,19	6677,64		
2237,14	653,37	1097,42	1710,95	1184,78	6883,66		
2292,19	679,60	1126,34	1740,81	1214,07	7053,01		
Total	153394,44	27569,76	46599,73	132984,23	102354,67	462902,83	SCE

Fuente: Elaboración Propia

$$SCE = 462902,83$$

- Se debe calcular los diferentes cuadrados, que serían el cuadrado medio total CMT, el cuadrado medio del tratamiento CMTR y el cuadrado medio del error CME; de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$CMT = \frac{SCT}{n - 1} \quad (6)$$

$$CMT = \frac{1113136,47}{180 - 1} = 6218,64$$

$$CMTR = \frac{SCTR}{C - 1} \quad (7)$$

$$CMTR = \frac{650233,64}{5 - 1} = 162558.41$$

$$CME = \frac{SCE}{n - C} \quad (8)$$

$$CME = \frac{462902,83}{180 - 5} = 2645,16$$

- Seguidamente se debe hacer la prueba de Fisher, básicamente es la división del Cuadrado medio de tratamiento entre el cuadrado medio de error:

$$f = \frac{CMTR}{CME} \quad (9)$$

$$f = \frac{162558.41}{2645,16} = \mathbf{61,46}$$

- Por último, se debe buscar en la tabla de Fisher mostrada a continuación el valor de F, para ello se debe tener en cuenta como buscar en la tabla de Fisher y por eso se halló los valores de entrada a la tabla con la siguiente fórmula

$$F = \frac{C - 1}{n - C} \quad (10)$$

$$F = \frac{5 - 1}{180 - 5} = \frac{\mathbf{4} \rightarrow \text{Número de columna}}{\mathbf{175} \rightarrow \text{Número de la fila}}$$

NOTA: la tabla de Fisher se encuentra en anexos F

Sabiendo la posición $\frac{4}{175}$ se debe entrar en la tabla de Fisher, viendo que el valor del denominador no aparece en la tabla se debe interpolar para encontrar el valor de F, Se sabe que:

$$X_0 = 100 ; Y_0 = 2,463$$

$$X = 175 ; F = ?$$

$$X_1 = 200 ; Y_1 = 2,417$$

Para hallar el valor de F se hace con la fórmula:

$$y_x = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} (y_1 - y_0) \quad (11)$$

$$\text{Reemplazando se tiene que } F = 2,463 + \left[\left(\frac{175 - 100}{200 - 100} \right) (2,417 - 2,463) \right]$$

$$F = 2,44$$

Seguido de tener el valor de F se procedió hacer la regla de decisión bajo las hipótesis planteadas al inicio del análisis de varianza, se dice que:

$$\text{Si } \int \leq \text{valor de } F, \text{ se acepta } H_0$$

$$\text{Si } \int > \text{valor de } F, \text{ se rechaza } H_0$$

$$61,46 > 2,44 \text{ entonces,}$$

Se rechazó la hipótesis nula H_0 y se aceptó la hipótesis alterna " H_1 " concluyendo que al menos una media es distinta, comprobándolo mediante la gráfica de caja y bigotes

Gráfica 11. Análisis de Varianza, Gráfica General de Caja y bigotes

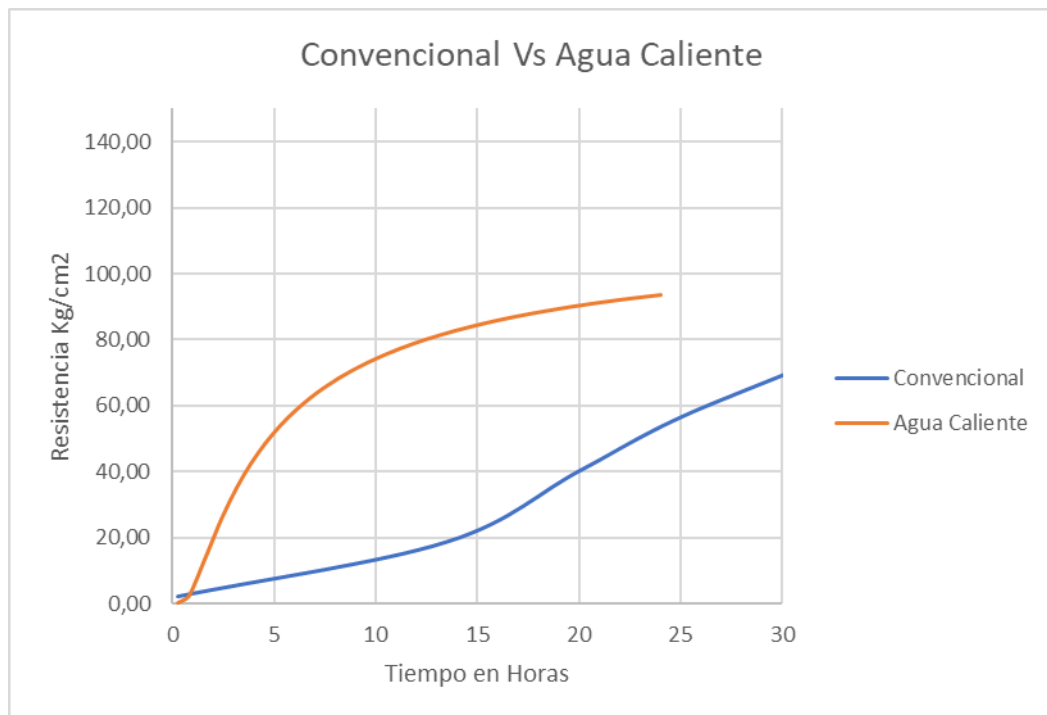


Fuente: Elaboración Propia

8. ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RESISTENCIA OBTENIDA

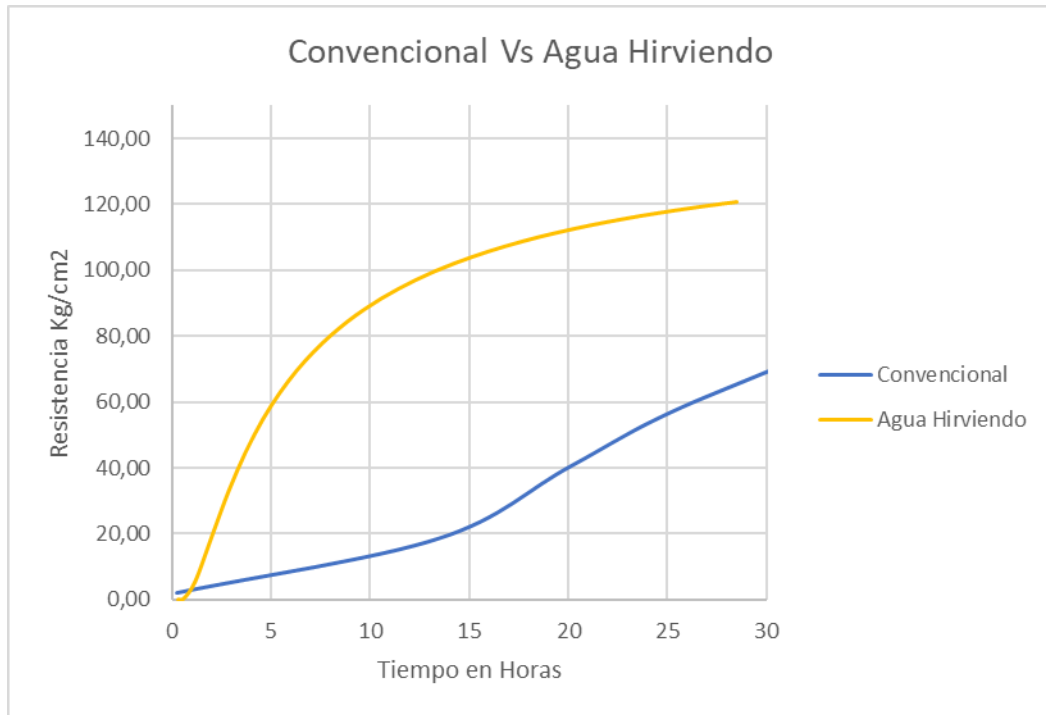
Mediante los datos recopilados anteriormente se analizó gráficamente el comportamiento de la resistencia a la compresión vs tiempo, con el fin de comparar el método de curado convencional con respecto a los métodos de variación de temperatura (Curado por agua caliente y curado por agua hirviendo) y por consiguiente los métodos de implementación de aditivos (implementación de aditivo Chema-5 y Sika-3).

Gráfica 12. Comparación del Método de Curado Convencional Vs Curado Agua Caliente



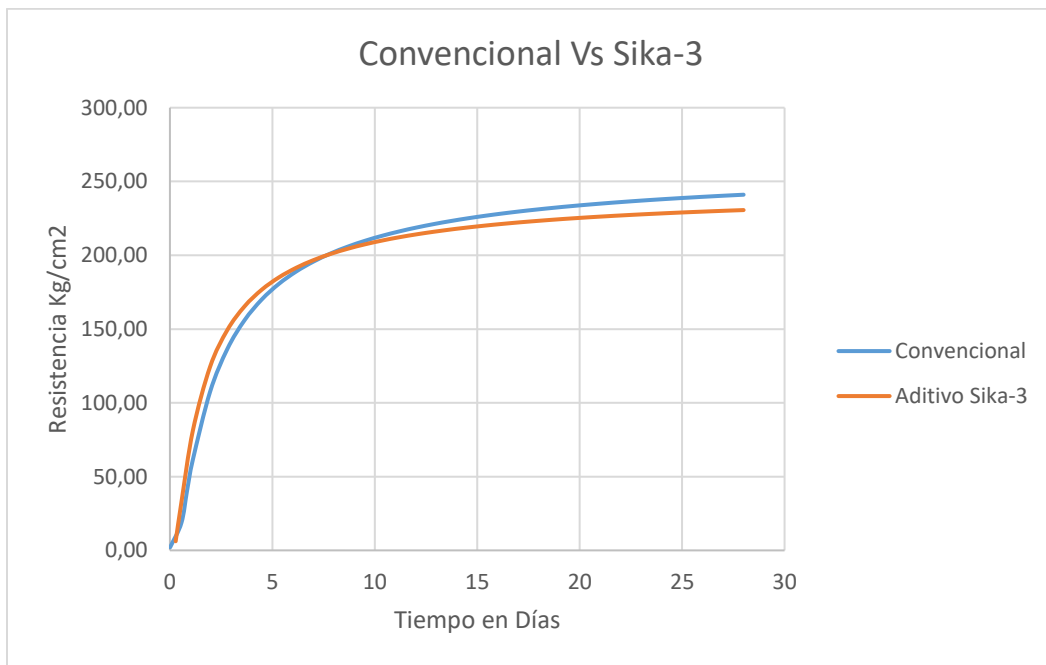
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 13. Comparación del Método de Curado Convencional Vs Curado Agua Hirviendo



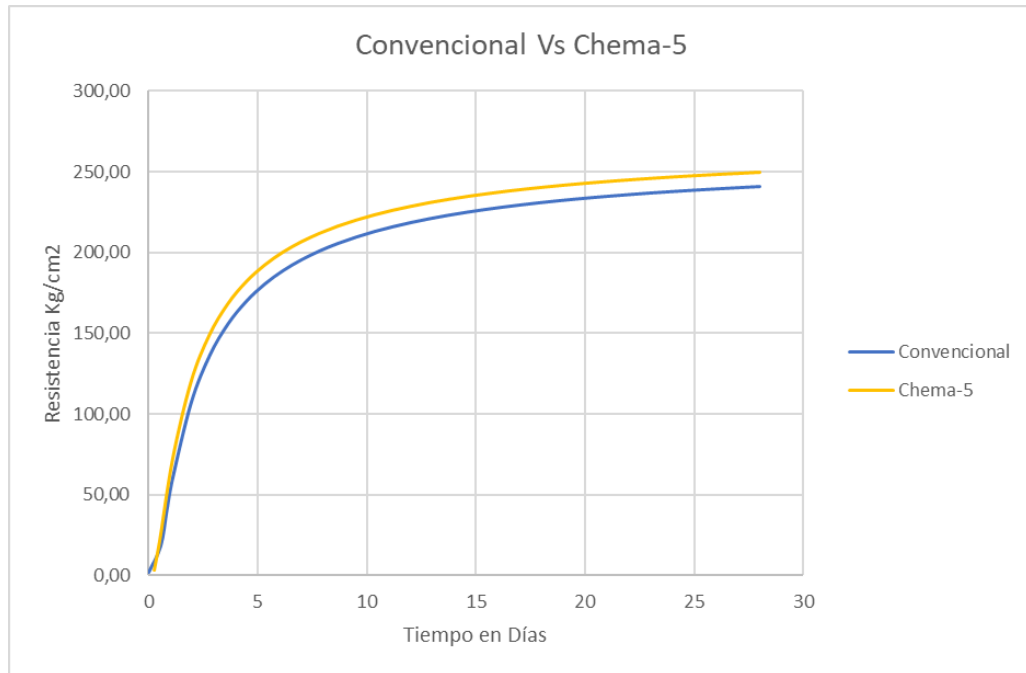
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 14. Comparación del Método de Curado Convencional Vs Implementación de Aditivo Sika-3



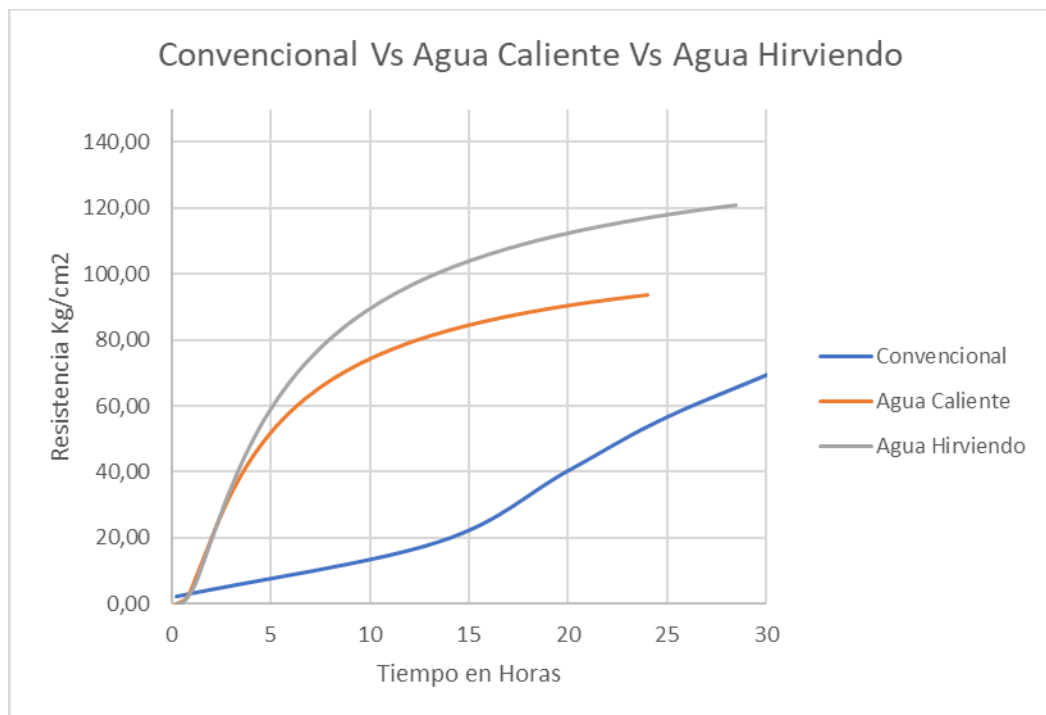
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 15. Comparación del Método de Curado Convencional Vs Implementación de Aditivo Chema-5



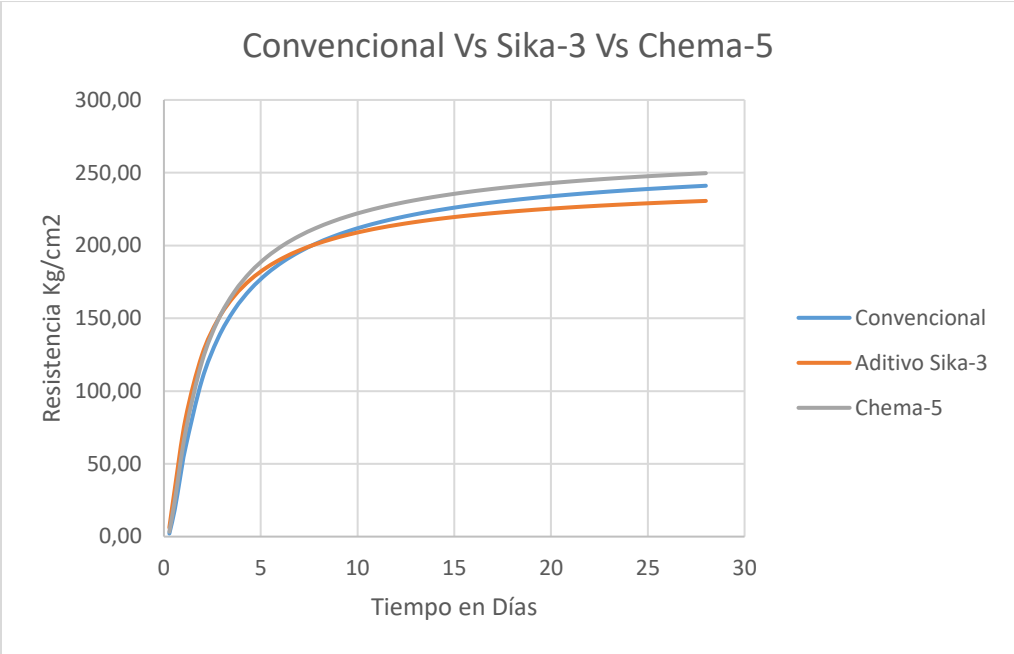
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 16. Comparación de Métodos: Convencional, Agua Caliente y Agua Hirviendo



Fuente: Elaboración Propia

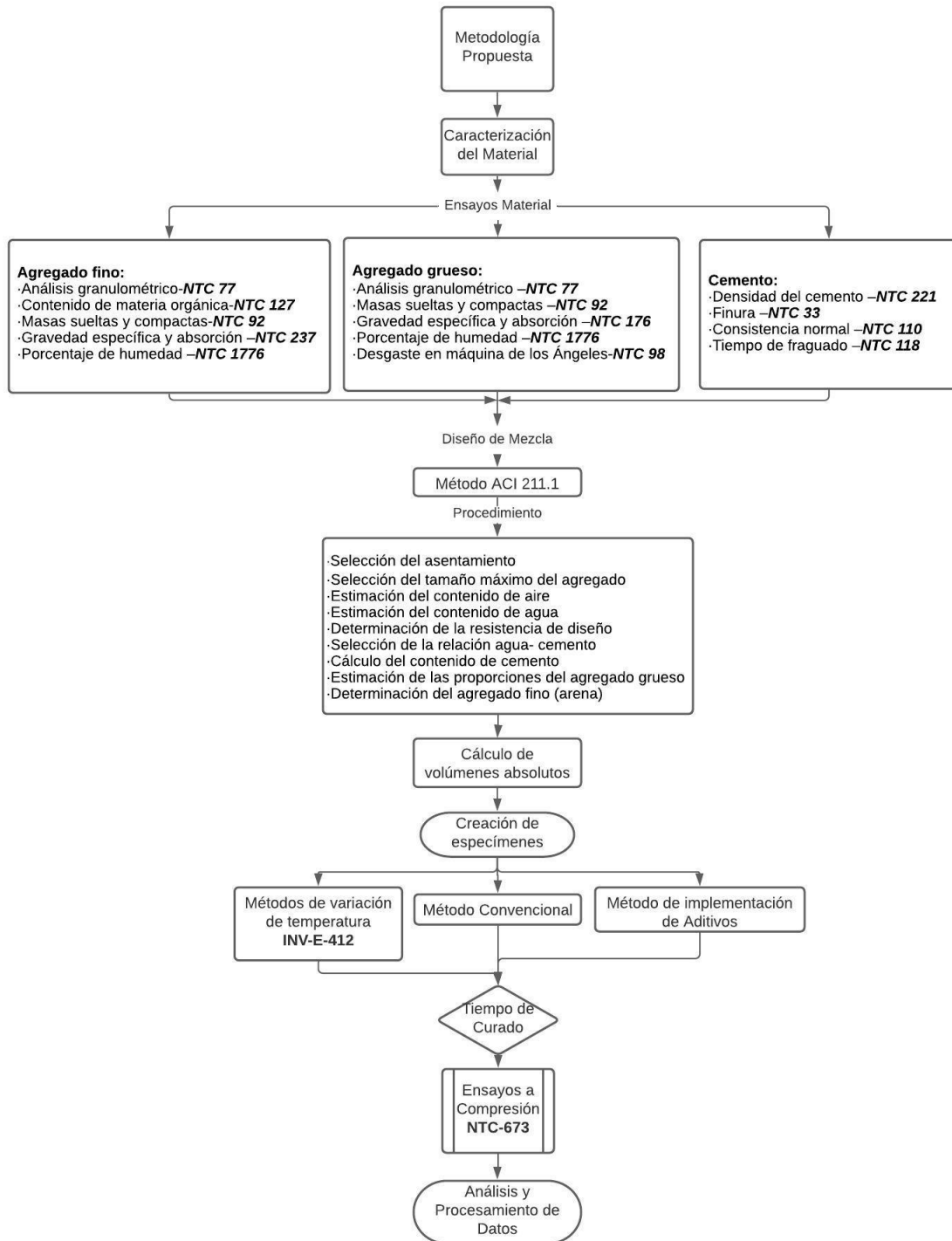
Gráfica 17. Comparación de Métodos: Convencional, Aditivo Sika-3 y Aditivo Chema-5



Fuente: Elaboración Propia

9. METODOLOGÍA PROPUESTA

Mediante todo el estudio que se pudo recopilar de proyectos preexistentes en esta investigación, se pudo generar una metodología para la investigación teórico-práctica que ayudaría a estudiantes futuros a continuar esta investigación implementando los respectivos trabajos de laboratorio y función en práctica.



9.1. Caracterización del Material

Según lo concluido en la extracción de datos del título 9 del proyecto “extracción de datos de proyectos preexistentes”, se debe hacer una caracterización de cada material a usar para la mezcla de concreto. Se deben hacer los ensayos pertinentes a cada tipo de material a usar (CEMENTO, AGREGADO FINO, AGREGADO GRUESO) a continuación, se mencionan algunos de los ensayos que se necesitan para una mezcla de concreto.

Agregado fino:

- Análisis granulométrico-**NTC 77** [21].
- Contenido de materia orgánica- **NTC 127** [22].
- Masas sueltas y compactas- **NTC 92** [23].
- Gravedad específica y absorción – **NTC 237** [24].
- Porcentaje de humedad –**NTC 1776** [25].

Agregado grueso:

- Análisis granulométrico – **NTC 77** [21].
- Masas sueltas y compactas – **NTC 92** [23].
- Gravedad específica y absorción – **NTC 176** [26].
- Porcentaje de humedad – **NTC 1776** [25].
- Desgaste en máquina de los Ángeles- **NTC 98** [27].

Cemento:

- Densidad del cemento – **NTC 221** [28].
- Finura – **NTC 33** [29].
- Consistencia normal – **NTC 110** [30].
- Tiempo de fraguado – **NTC 118** [31].

9.2. Diseño de Mezcla

Al momento de hacer un diseño de mezcla, se debe saber que hay diferentes maneras de hacerlo. Por lo que se sobre entiende que no hay un proceso definido a la hora de diseñar una mezcla, pero, se debe conocer que para hacer un diseño tanto para concreto como para mortero se debe hacer pensando en el estado fresco y en el estado endurecido de la pasta, por lo tanto, una de las principales cosas que se deben tener en cuenta en el estado fresco es la manejabilidad, durabilidad y resistencia.

Tras analizar los diseños de mezcla de los proyectos extraídos, se dio como propuesta, usar el diseño de mezcla por METODO ACI 211.1.

Para el diseño de mezcla por método ACI 211.1 se deben tener los siguientes datos de los ensayos que se hicieron en la caracterización de los materiales y tener claro la resistencia de diseño deseada.

Agregado fino:

- Masa unitaria suelta y compacta
- Densidad aparente seca
- Humedad natural
- Absorción
- Contenido de arcilla
- Contenido de materia orgánica
- Forma del agregado

Agregado grueso:

- Masa unitaria suelta y compacta
- Densidad aparente seca
- Humedad Natural
- Absorción
- Forma del agregado

Cemento:

- densidad del cemento
- finura
- consistencia (pasta de cemento)
- tiempos de fraguado (pasta de cemento)

9.3. Paso a paso del diseño de mezcla ACI 211.1

- Selección del asentamiento

Para este criterio, se debe tener claro la consistencia deseada, por lo tanto, se debe elegir la pasta de concreto deseada en el diseño.

Tabla 37. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de Compactación
Muy Seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones simplemente reforzadas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración. (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: [32] Pag 228, Tabla 11.3

NOTA: Una vez elegido el tipo de consistencia, se extraerá el valor del asentamiento en mm

- Selección del tamaño máximo del agregado

De acuerdo con el uso que se le dará al concreto, se estima el tamaño máximo de las partículas del agregado grueso tomando como referencia el tipo de construcción a realizar.

Tabla 38. Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción.

Tamaños máximos de agregado según el tipo de construcción				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulg. (mm)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15,	1/2"(12)-3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19)-1"(25)	3/4"(19)-1 3/4"(38)
19 - 29	3/4"(19)-1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)-3"(76)
30 - 74	1 1/2"(38)-3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38)-3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38)-3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38)-3"(76)	3"(76)-6"(152)

Fuente: [32] tabla 11.4, Pag 230

Para diseñar una estructura convencional se recomienda que el tamaño máximo nominal del agregado varíe entre 9,51 mm (3/8") y 76,1 mm (3").

- Estimación del contenido de aire

Durante el proceso de mezclado para la obtención de la pasta de concreto se puede encontrar aire naturalmente atrapado en la mezcla. Por lo general no se debe tener en cuenta el aire atrapado siempre y cuando se haga una extracción correcta, por eso para facilidad del diseño se debe de manera práctica eliminar estas partículas para que se pueda estimar un contenido de aire más aproximado a cero.

- Estimación del contenido de agua

Sabiendo el tipo de agregado que se tiene y el asentamiento deseado, se busca en alguna de las siguientes tablas la cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla estimado con un tipo de agregado específico (agregado de cantera de forma angular o agregado natural de forma redondeada)

Tabla 39. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido.

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg)							
		9,51 3/4"	12,7 1/2"	19,0 3/4"	25,4 1"	38,1 1 1/2"	50,8 2"	64,0 2 1/2"	76,1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m3 de concreto							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	143
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: [32] tabla 11.6, Pag 233

Tabla 40. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg)							
		9,51 3/4"	12,7 1/2"	19,0 3/4"	25,4 1"	38,1 1 1/2"	50,8 2"	64,0 2 1/2"	76,1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: [32] tabla 11.7, Pag 234.

- Determinación de la resistencia de diseño

En la siguiente tabla se estima una resistencia requerida de diseño el cual no dependerá de una desviación estándar.

Tabla 41. Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permiten determinar la desviación estándar.

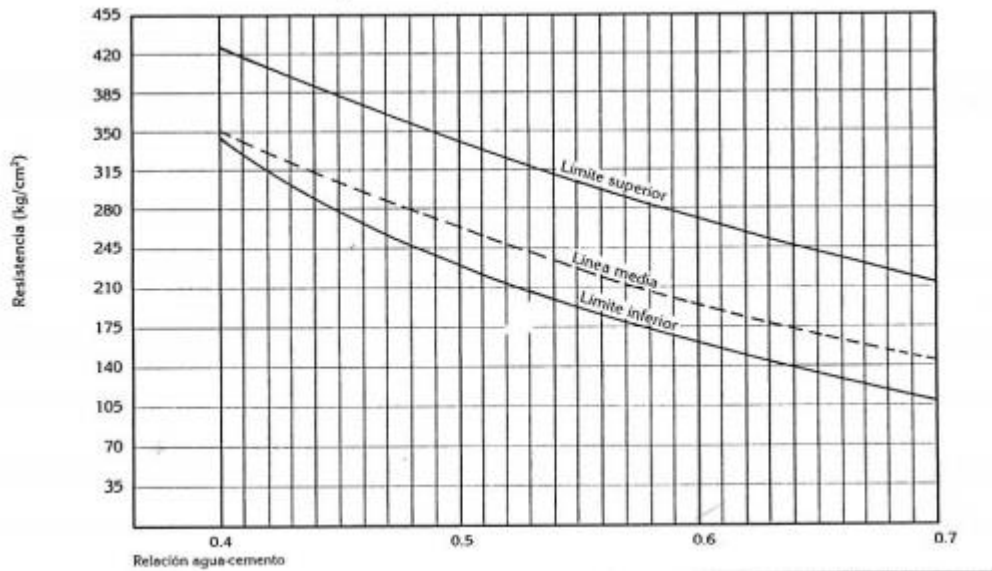
Resistencia especificada f'c (Kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f'cr (Kg/cm ²)
Menos de 210 Kg/cm ²	f'c+70 kg/cm ²
De 210 kg/cm ² a 350 kg/cm ²	f'c+85 kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	f'c+100 kg/cm ²

Fuente: [32] tabla 11.12, Pag 237.

- Selección de la relación agua- cemento

Según la resistencia de diseño escogida, se obtiene el valor de la relación de Agua Cemento con la siguiente grafica.

Gráfica 18. Correspondencia entre la resistencia a compresión y la relación agua – cemento para los cementos colombianos, Portland tipo 1 en concretos sin aire incluido



Fuente: [32] figura 11.4, pag 237

- Cálculo del contenido de cemento

Teniendo en cuenta la cantidad de agua obtenida y la relación agua-cemento, se estima el contenido de cemento con la siguiente ecuación.

$$C = \frac{A}{a/c} \quad (12)$$

Donde:

C = contenido de cemento Kg /m³

A = Requerimiento de agua de mezclado Kg/m³

a/c = Relación agua-cemento

- Estimación de las proporciones del agregado grueso

Por lo general, las proporciones del agregado fino y del agregado grueso están basados en su tamaño máximo nominal, por lo tanto, se debe usar su tamaño máximo nominal y su correspondiente finura.

Tabla 42. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena (b)					
Tamaño máximo nominal del agregado		Módulo de finura de la arena			
mm	pulg	2,40	2,60	2,80	3,00
9,51	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3	0,82	0,80	0,78	0,76
152	6	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: [32]tabla 11.15, pag 241.

- Determinación del agregado fino (arena)

Según el método de los volúmenes absolutos, se debe obtener los volúmenes específicos de cada ingrediente ya obtenido (cemento, agua, contenido de aire, agregado grueso). Para la obtención de cada volumen absoluto se debe usar la siguiente ecuación:

$$V_i = \frac{P_i}{G_i} \quad (13)$$

Donde:

V_i = volumen absoluto del ingrediente l/m³

P_i = Peso seco del ingrediente Kg/m³

G_i = Peso específico del ingrediente (para los agregados debe usarse el peso específico aparente seco), g/cm³

Una vez obtenido los volúmenes absolutos correspondientes a los materiales obtenidos y sabiendo que su dosificación se diseña para 1 m³ de concreto. El volumen del agregado fino se obtiene:

$$V_{af} = 1000 - V_c - V_a - V_{ca} - V_{ag} \quad (14)$$

Donde:

V_{af} = Volumen absoluto del agregado fino

V_c = Volumen absoluto del cemento

V_a = Volumen absoluto del agua

V_{ca} = Volumen absoluto del contenido de aire

V_{ag} = Volumen absoluto del agregado grueso

9.4. Creación de Especímenes

Para la elaboración de especímenes de concreto se seguirá las especificaciones de la norma INVIAS Y ASTM.

9.4.1. Método de Elaboración de Mortero Convencional

- Se deben preparar una cantidad considerable de especímenes cubos de medidas 5x5x5 cm tal como lo establece la norma **ASTM C31/C 31 M** [33]
- Se desencofran y se llevan a la pila de curado [34].
- Se debe llevar un seguimiento de la resistencia fallando los especímenes de acuerdo con la norma **INV-323(ASTM C109/C109M)** [35]

9.4.2. Método Agua Hirviendo

- Se deben preparar una cantidad considerable de especímenes cubos de medidas 5x5x5 cm tal como lo establece la **norma ASTM C31/C 31 M** [33].
- En el proceso de curado acelerado llevando un tiempo de 23 h \pm 15min después del moldeado, se colocan los moldes de cubierta en el tanque de agua hirviendo. Se debe garantizar la temperatura del agua durante el tiempo de inmersión y el periodo de curado de forma que el agua mantenga en ebullición (se debe hacer esta aceleración de acuerdo con la norma).
- Se debe registrar la temperatura del agua de forma continua o periódica.
- Después de un proceso de curado de 3.5 h \pm 5 min, se retiran los especímenes del agua hirviendo, se desencofran y se deja a la muestra enfriarse en un cuarto durante una hora antes de ser refrentados.
- Se verifican los bordes de la muestra que sean planos y sin desviaciones.
- Se debe llevar un seguimiento de la resistencia fallando los especímenes en periodos cortos de tiempo y así obtener un control de curado más eficiente.

Para el curado:

- Cubrir la parte superior de los moldes con una tapa rígida para impedir la pérdida de la mezcla al sumergirse en el baño de agua
- Almacenar las probetas para que no sufran un proceso de perturbación o que estén expuestas a vibración o irritación. En el área de almacenaje se debe tener una temperatura de 21 ± 6 °C.
- La temperatura del agua en el momento de introducir los especímenes debe de estar a hervir. La temperatura deberá estar a hervir desde el momento en que se introducen los especímenes al agua.

9.4.3. Método agua caliente

- Se deben preparar una cantidad considerable de especímenes cubos de medidas 5x5x5 cm tal como lo establece la norma **ASTM C31/C 31 M** [33].
- Después del moldeado se colocan en el tanque o pila de curado (se debe garantizar una temperatura del 35 ± 3 °C), se debe seguir el procedimiento establecido en la norma **INV-E-412** [4].
- Se debe registrar la temperatura del agua continua o periódicamente.
- Después de un tiempo de curado de 23.5 h \pm 30 min se logra alcanzar la resistencia máxima de un concreto curado convencionalmente (28 días).
- Se retiran los especímenes del tanque y se desencofran.
- Se verifican los bordes de la muestra que sean planos y sin desviaciones.
- Se debe llevar un seguimiento de la resistencia fallando los especímenes en periodos cortos de tiempo y así obtener un control de curado más eficiente.

Para el curado:

- Cubrir la parte superior de los moldes con una tapa rígida para impedir la pérdida de la mezcla al sumergirse en el baño de agua
- Una vez introducido la mezcla en los moldes, introducir inmediatamente al agua caliente (la temperatura del agua siempre se debe mantener en 35 ± 3 °C y no deberá bajarse la temperatura más de 3 °C cuando se introduzcan los especímenes)
- Una vez transcurrido el tiempo de curado acelerado (23.5 h \pm 30 min), quitar las probetas y desmoldar el espécimen.

9.4.4. Método Aditivos

- Se prepara el mortero, (teniendo en cuenta de mezclar primero el agua con el acelerante y luego si aplicarlo a la mezcla).
- La dosificación de este producto depende del grado de rapidez que necesitamos en el concreto, puede variar del 1% hasta el 3% del cemento. También puede variar dependiendo de las especificaciones del cemento (depende de la marca) y la temperatura del entorno.
- Se deben preparar una cantidad considerable de especímenes cubos de medidas 5x5x5 cm tal como lo establece la norma **ASTM C31/C 31 M** [33].
- En un lapso de 24 h se desencofran y se llevan a la pila de curado.
- Se debe llevar un seguimiento de la resistencia fallando los especímenes en periodos cortos de tiempo y así obtener un control de curado más eficiente.

9.5. Tiempo De Curado de Especímenes

El tiempo de curado se tendrá como punto base un tiempo de curado convencional que según la norma serán tiempos de 3,7,14 y 28 días. Para el caso de los demás métodos que son métodos de aceleramiento en el tiempo de curado dependerán del tipo de método (como se expresa en la creación de los especímenes). Para el caso de los métodos que son con variaciones de temperatura (agua hirviendo y agua caliente) sus tiempos de fraguado están estimados en la norma NTC 1513 la cual menciona los dos métodos seleccionados para acelerar. Para el caso de los aditivos se tomará como referencia la ficha técnica del aditivo a utilizar la cual se puede obtener en la página oficial de cada aditivo.

Tabla 43. Tiempo de curado de especímenes

MÉTODO	DURACIÓN HASTA EL FRAGUADO FINAL
CONVENCIONAL	28 DÍAS
AGUA HIRVIENDO	3 ½ h ± 5 min
AGUA CALIENTE	23 ½ h ± 30 min
ADITIVO	Depende de la ficha técnica del aditivo

Fuente: Elaboración Propia

9.6. Ensayos a Compresión

Para esta metodología se deben fallar los especímenes de concreto con el ensayo de compresión y para esto se debe seguir la NTC 673 la cual permite conocer el procedimiento adecuado para este ensayo, y así conocer la resistencia obtenida con cada método de aceleración de fraguado que se sugiere en esta metodología.

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial a cada espécimen de concreto hasta llegar a su rotura. Para el cálculo de su resistencia se debe calcular dividiendo la carga máxima final sobre la sección transversal a la cual se le aplico la carga.

9.7. Análisis y Procesamiento de Datos

Obteniendo todos los resultados provenientes de los ensayos a compresión, se analizarán por métodos estadísticos, planteando un análisis de regresión simple (para cada uno de los métodos propuestos). Esto permitirá ajustar los datos y así poder comparar cada método con otros métodos de curado incluido el convencional.

Planteado el análisis estadístico se podrá saber si se ha logrado cumplir con cada uno de los objetivos propuestos en el estudio como lo es la obtención de una metodología que ayude a conocer los diferentes procesos que se pueden llegar a tener en un proceso de curado acelerado del concreto.

10. CONCLUSIONES

- Se pudo obtener información teórico-práctica de distintas fuentes bibliográficas obtenidas por medio de artículos y proyectos de grado, cuya recopilación se obtuvo a través de distintas bases de datos, su fin fue la obtención de datos de resistencias últimas con sus respectivos tiempos de curado de cada método (Convencional, Curado Agua Caliente, Curado Agua Hirviendo, implementación de aditivos Chema-5 y Sika-3).
- Se logró demostrar bajo un análisis de varianza “ANOVA” que cada método investigado tiene una influencia diferente en su media; Los valores en sus medias de los métodos de cambio de temperatura como lo fueron la implementación de agua caliente fue de 67,472 y agua hirviendo de 87,27; En cambio, para las metodologías de adición de aditivos Chema-5 y Sika-3, uno obtuvo una media de 207,95 y 195,78 respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que cada una de las medias es diferente, por lo que se llevó a definir que cada tratamiento utilizado muestra diferencias significativas.
- Al comparar el análisis de resistencia obtenida con el método de agua caliente y un método convencional, se pudo analizar en la gráfica N°12, que el método de temperatura es más eficiente con 93,54 Kg/cm² en un periodo de 24 horas que el convencional con 54 Kg/cm² de resistencia en ese mismo periodo de tiempo.
- Al analizar la gráfica N°13 de resistencia obtenida entre el método de agua hirviendo y un método convencional, se pudo concluir que el método de agua hirviendo tiene mejoría en términos de resistencia ya que obtiene en 28 horas una resistencia de 120 Kg/cm² y el convencional solo obtiene 61,48 Kg/cm² en el mismo tiempo.
- Al comparar el proceso de curado de una implementación de aditivo como lo es Sika-3 y un método convencional como se muestra en la gráfica N° 14, se muestra primeramente una mejoría en términos de resistencia y tiempo por parte del aditivo Sika-3, aunque finalmente la mayor resistencia final sea por parte del método convencional con 241 Kg/cm² vs con 230,62 Kg/cm² de Sika-3..
- Tras analizar la gráfica N°15, se puede observar que el método de implementación del aditivo Chema-5 durante todo el proceso de curado del concreto sea más eficiente en términos de tiempo y resistencia con 249,67 Kg/cm² que el convencional con 241 Kg/cm², ya que gráficamente se observa el método de chema-5 como el método que mejor se comportó en el proceso de curado de sí mismo.
- Bajo el análisis de la gráfica a la compresión de los métodos de aditivos, y comparados con un análisis de fraguado convencional, se pudo observar que ofrece mejores resultados en términos de tiempo y resistencia fue la implementación de un aditivo Chema-5 en relación con sus otros métodos analizados.

- Se concluye que en cuestiones de tiempo el método que me ayuda a obtener resistencias altas en un periodo corto, son los métodos de variaciones de temperatura debido que la temperatura del agua acelera el calor de hidratación de la pasta de cemento, entre ellos dos, el método de agua hirviendo es mucho más eficiente que el de agua caliente, ya que, la resistencia obtenida a las 24 horas del método de agua hirviendo es de 117 kg/cm², mientras que la del método de agua caliente está en 91 kg/cm².

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar en climas controlados a la hora de la elaboración de la pasta de concreto y también su respectivo proceso de fraguado
- Debe considerarse que entre más especímenes se tengan, mejor será el análisis estadístico.
- Trabajar con más relaciones de agua cemento para poder determinar una regresión con más puntos de dispersión para así poder tener una línea de tendencia más exacta.
- Para el proceso de curado por variaciones de temperatura, se recomienda controlar de manera consecutiva.
- Se recomienda tener en cuenta el análisis de comparación de los distintos métodos, dando con propiedad la solución más eficiente, basados en hechos experimentales y ensayos pertinentes.
- Seguir con exactitud los procedimientos planteados tanto en las normas como en las fichas técnicas de los aditivos comerciales.
- Dar un análisis presupuestal de los métodos propuestos y compararlo con un método convencional, y así, saber si es viable la implementación de productos del mercado o métodos para acelerar un concreto en su tiempo de endurecimiento.

Referencias

- [1] B. E. S. P. Córdova, Estudio comparativo del efecto de aditivos Chema y Sika aceleradores de fragua en la ciudad del Cusco en concretos expuesto a climas alto andinos, Cusco - Peru: Universidad Andina del Cusco, 2016.
- [2] H. & H. J. Arévalo, «Análisis comparativo en la resistencia a la compresión del curado acelerado frente al curado convencional en probetas cilíndricas de concreto,» Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador, 2005.
- [3] D. Bach. Quispe Paye, Aceleracion de la evolucion de la resistencia a la compresio del concreto hidraulico en diferentes relaciones de agua-cemento con empleo de agua en ebullicion, Juliaca- Peru: Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez, 2017.
- [4] INVIAS, Normas y Especificaciones- TITULO E- SECCION 412, 2012.
- [5] ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana,» de *Métodos de ensayo para la elaboración, curado acelerado y ensayo a compresión de especímenes de concreto*, 2012.
- [6] G. Rivera Lopez, Tecnología Concreto y Mortero, 1997.
- [7] A. M. Neville, Properties of concrete 5th edition, London British Libriry, 2011.
- [8] NTC174, Norma Tecnica Colombiana - Especificaciones de los agregados para concreto, Colombia, 2006.
- [9] NTC237, Norma Tecnica Colombiana- Metodo para determinar la densidad y la absorcion del agregado Fino, Colombia, 2006.
- [10] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese y J. Tanesi, Diseño y control de mezclas de concreto, Illinois - EEUU: EB201.01, 2004.
- [11] I. F. Castillo, Tecnología del Concreto, Lima -Peru .
- [12] G. Zabaleta, Compendio de Tecnolgia del Hormigón, Santiago de Chile: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1992.
- [13] NTC550, Normas Tecnicas Colombiana NTC 550, Colombia, 2006.
- [14] D. S. R. Richard I. Levin, Estadística para administración y economía Séptima edición, Pearson Educación, 2004.
- [15] M. F. Triola, ESTADÍSTICA Décima edición, México: Pearson Educación, 2009.
- [16] C. E. Buys, «Investigation of a practical application of the Maturity Method to estimate the early-age strength of concrete,» Stellenbosch University, 2019.

- [17] C. E. Buys, «Google Drive,» Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://drive.google.com/file/d/18KH1fHOUXRxuwHfYI2Ym5UOd9xlzuQVH/view>. [Último acceso: Octubre 2020].
- [18] M. A. J. R. Marianela Luzardo Briceño, Manual de Inferencia estadística, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2018.
- [19] M. R. Spiegel, Estadística Cuarta edición, México: Mc Graw-Hill / INTERAMERICANA EDITORES S.A..
- [20] D. J. S. T. A. W. David R. Anderson, Estadística para administración y economía 10a edición, Cengage Learning.
- [21] ICONTEC, «NTC 77,» de *MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS PORTAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS YGRUESOS*.
- [22] ICONTEC, «NTC 127,» de *Método de Ensayo para Determinar las Impurezas Orgánicas en Agregado Fino para Concreto*.
- [23] N. T. COLOMBIANA, «NTC 92,» de *DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACIOS ENTRE PARTÍCULAS DE AGREGADOS*.
- [24] N. T. COLOMBIANA, «NTC 237,» de *MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO* .
- [25] N. T. COLOMBIANA, «NTC 1776,» de *Método de Ensayo para Determinar por Secado el Contenido Total de Humedad de los Agregados*.
- [26] N. T. COLOMBIANA, «NTC 176,» de *Método de Ensayo Para Determinar La Densidad y La Absorción Del Agregado Grueso*.
- [27] N. T. COLOMBIANA, «NTC 98,» de *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADOS GRUESOS HASTA DE 37,5 mm, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES*.
- [28] N. T. COLOMBIANA, «NTC 221,» de *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO*.
- [29] N. T. COLOMBIANA, «NTC 33,» de *Método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire*.
- [30] N. T. COLOMBIANA, «NTC 110,» de *MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO HIDRÁULICO*.
- [31] N. T. COLOMBIANA, «NTC 118,» de *MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MEDIANTE EL APARATO DE VICAT*.

- [32] D. S. D. Guzmán, TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO, Bhandar Editores, 2001.
- [33] A. International, «ASTM C31/C31M,» de *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra*.
- [34] ASTM, «C 192-02,» de *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*.
- [35] A. International, «ASTM C109/C109M,» de *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando especímenes cúbicos de 2 in. o [50 mm])*.
- [36] J. X. H. A. Henry Bladimir Arévalo Vera, Análisis comparativo en la resistencia a la compresión del curado acelerado frente al curado convencional en probetas cilíndricas de concreto, Loja - Ecuador, 2005.
- [37] S. C. S.A.S., «SIKA,» NOVIEMBRE 2017. [En línea]. Available: file:///C:/Users/civil/Downloads/co-ht_Sikaset%20L.pdf. [Último acceso: 2017].
- [38] Sika, «Sika Colombia,» Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/9/sika-3.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [39] Chema, «Chema,» 02 11 2016. [En línea]. Available: <http://www.chema.com.pe/assets/productos/ficha-tecnica/HT%20CHEMA%205%20V01.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [40] B. K. R. M. Sowjanya, «Accelerated curing method for concrete mix proportion by adding GGBS,» *International Journal of REcent Techology and Engineering (IJRTE)*, vol. 7, nº 466, p. 5, 2019.
- [41] P. CARBAJAL, Tecnología del Concreto (2da ed.), Lima, 2009.
- [42] W. R. K. Concha, MÉTODOS DE CURADO ACELERADO TEORIA, CUSCO, PERÚ: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- [43] A. Izzeddin, «How can you estimate 28 day compressive strength for concrete in 28 hours,» Izmir, Turkey, 2001.
- [44] M. VELASCO, «El Desarrollo de Resistencia en el Concreto con Curado Acelerado.,» IMCYC, XII, 1974.
- [45] F. A. Castillo, «Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas),» San Marcos. 2da. edición, Lima, Perú, 2009.
- [46] A. & S. J. Andrade, «Aplicación del ensayo de curado acelerado en cilindros de hormigón sometidos a compresión simple,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Ecuador, 2014.

[47] C. & T. E. Rodríguez, «Fabricación de un dispositivo, para generar el curado acelerado en cilindros de hormigón, para evaluar la resistencia a la compresión en un tiempo menor a las 24 horas,» Universidad Central del Ecuador.

ANEXOS

11.1. Anexo A

ENSAYOS TESIS [1]

11.1.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

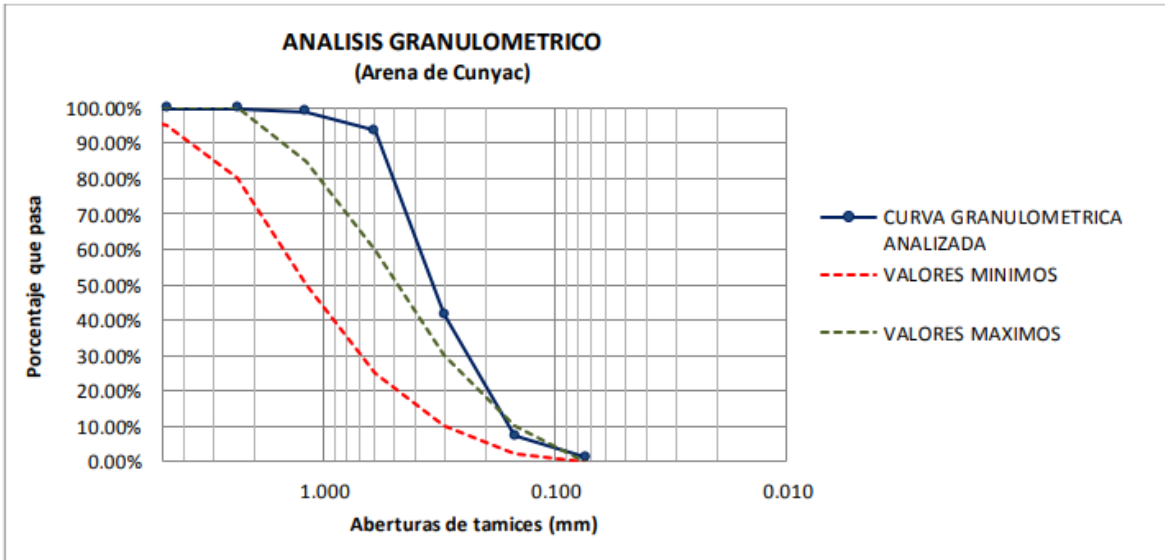
GRANULOMETRÍA DE LA ARENA FINA DE CUNYAC

CANTERA DE CUNYAC							
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	PESO				
Peso de la muestra más tara		gr.	1578.40				
Peso de la tara		gr.	345.20				
Peso de la muestra		gr.	1233.20				

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESOS (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM	
3/8"	9.525	0.0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
# 4	4.760	0.5	0.04%	0.04%	99.96%	95.00%	100.00%
# 8	2.360	2.5	0.20%	0.24%	99.76%	80.00%	100.00%
# 16	1.190	11.1	0.90%	1.14%	98.86%	50.00%	85.00%
# 30	0.600	66.0	5.35%	6.50%	93.50%	25.00%	60.00%
# 50	0.300	639.6	51.89%	58.38%	41.62%	10.00%	30.00%
# 100	0.149	424.3	34.42%	92.80%	7.20%	2.00%	10.00%
# 200	0.074	75.4	6.12%	98.92%	1.08%	-	-
Fondo	-	13.3	1.08%	100.00%	0.00%	-	-
		1232.7					

PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA No 200	1.08%
MODULO DE FINEZA	1.59%

Fuente: [1], Tabla N°10, pag 109



Fuente: [1], Figura N°3, pag 110

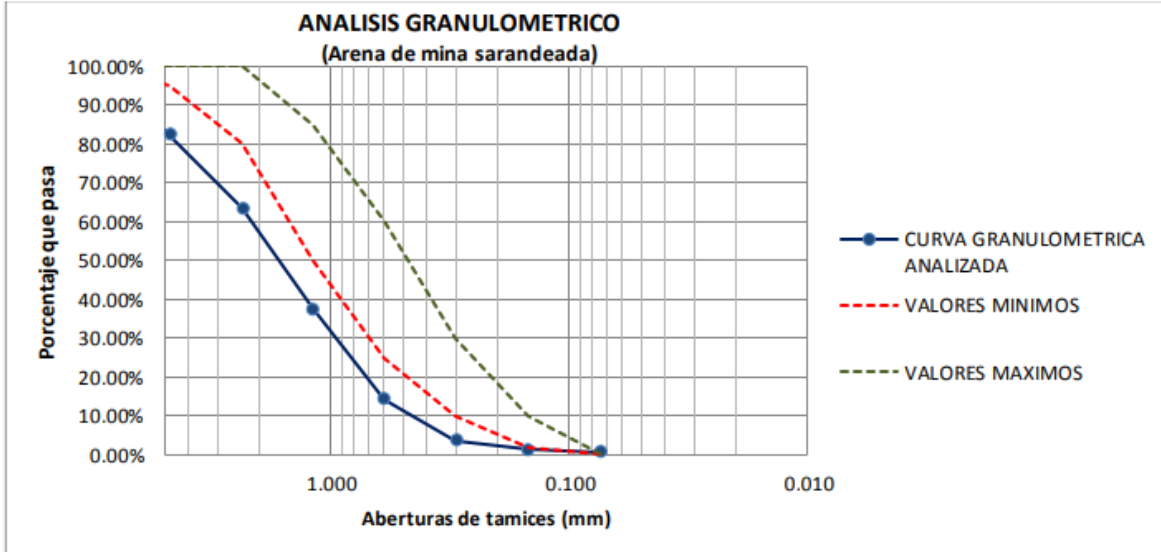
GRANULOMETRÍA DE LA ARENA ROJA ZARANDEADA

CANTERA DE HUAMBTIO		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PESO
Peso de la muestra más tara	gr.	2420.70
Peso de la tara	gr.	139.70
Peso de la muestra	gr.	2281.00

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESOS (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM	
3/4"	19.050		0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.525	50.6	2.22%	2.22%	97.78%	100.00%	100.00%
# 4	4.760	350.9	15.38%	17.60%	82.40%	95.00%	100.00%
# 8	2.360	432.6	18.97%	36.57%	63.43%	80.00%	100.00%
# 16	1.190	593	26.00%	62.56%	37.44%	50.00%	85.00%
# 30	0.600	529.1	23.20%	85.76%	14.24%	25.00%	60.00%
# 50	0.300	243.15	10.66%	96.42%	3.58%	10.00%	30.00%
# 100	0.149	51.5	2.26%	98.68%	1.32%	2.00%	10.00%
# 200	0.074	16.75	0.73%	99.41%	0.59%	-	-
Fondo	-	13.4	0.59%	100.00%	0.00%	-	-
		2281					

PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA No 200	0.59%
MODULO DE FINEZA	3.98%

Fuente: [1], Tabla N° 11, pag 111



Fuente: [1], Figura N°4, Pag 112

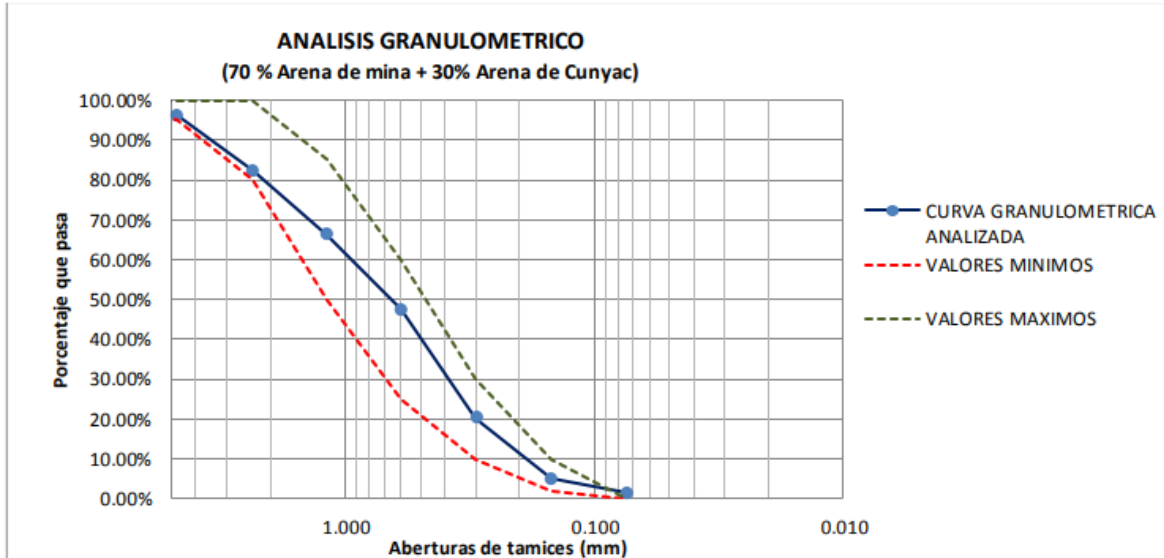
GRANULOMETRÍA DE LA COMBINACIÓN DE ARENAS (70% ARENA ROJA ZARANDEADA + 30% DE ARENA FINA DE CUNYAC) ASTM C-33

CANTERA DE HUAMBTUTIO Y CUNYAC		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PESO
Peso de la muestra más tara	gr.	1090.20
Peso de la tara	gr.	89.70
Peso de la muestra	gr.	1000.50

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESOS (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM	
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
# 4	4.760	38.90	3.89%	3.89%	96.11%	95.00%	100.00%
# 8	2.360	138.80	13.87%	17.76%	82.24%	80.00%	100.00%
# 16	1.190	160.50	16.04%	33.80%	66.20%	50.00%	85.00%
# 30	0.600	188.10	18.80%	52.60%	47.40%	25.00%	60.00%
# 50	0.300	272.40	27.23%	79.83%	20.17%	10.00%	30.00%
# 100	0.149	153.00	15.29%	95.12%	4.88%	2.00%	10.00%
# 200	0.074	35.50	3.55%	98.67%	1.33%	0.00%	0.00%
Fondo	-	13.30	1.33%	100.00%	0.00%	-	-
		1000.50	100%				

PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA No 200	1.33%
MODULO DE FINEZA	2.83%

Fuente: [1], Tabla N°12, pag 113



Fuente: [1], Figura N°5, pag 114

11.1.2. PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (70% ARENA ROJA ZARANDEADA + 30 % DE ARENA FINA DE CUNYAC) ASTM C-29

DETERMINACIÓN	SUELTO			COMPACTADO		
	1	2	3	1	2	3
Peso del molde + agregado seco (gr.)	12780	12830	12860	13200	13190	13250
Peso del molde (gr.)	7525	7525	7525	7525	7525	7525
Peso del agregado fino (gr.)	5255	5305	5335	5675	5665	5725
Volumen del molde (cm ³)	3011.67	3011.67	3011.67	3011.67	3011.67	3011.67
Peso específico del Bulk del agregado (gr/cm ³)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Absorción del agregado (%)						
Peso unitario en condición SSS (kg/m ³)						
Vacios en el agregado (%)						
Peso Unitario en condición Seca (kg/m ³)	1744.88	1761.48	1771.44	1884.34	1881.02	1900.94
Peso Unitario seco promedio (kg/m ³)	1759.27			1888.76		

Fuente: [1], Tabla N°13, Pag 115

11.1.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO 70% ARENA DE MINA ZARANDEADA + 30% ARENA FINA DE CUNYAC ASTM C-128

DESCRIPCIÓN	UND	PESO
Agregado Saturado con Superficie Seca	gr.	500.00
Peso del Picnómetro + Agua	gr.	718.70
Agregado Secado al Horno	gr.	493.60

Cálculos

A. Peso del material Saturado Superficialmente Seco (en aire) (gr)	500.00
B. Peso del picnómetro + Agua (gr)	718.70
C. = (A+B)	1218.70
D. Peso del material + agua en el Frasco	1028.90
E. Volumen de masa + volumen de vacíos = C-D	189.80
F. Peso del Material seco en estufa a 105 °C	493.60
G. Volumen de masa = E-(A-F)	183.40
P.e. Bulk (Base Seca) = F/E	2.60
P.e. Bulk (Base Saturada) = A/E	2.63
P.e. Aparente (Base Seca) = F/G	2.69
Absorción (%) = ((A-F)/F)x100	1.30

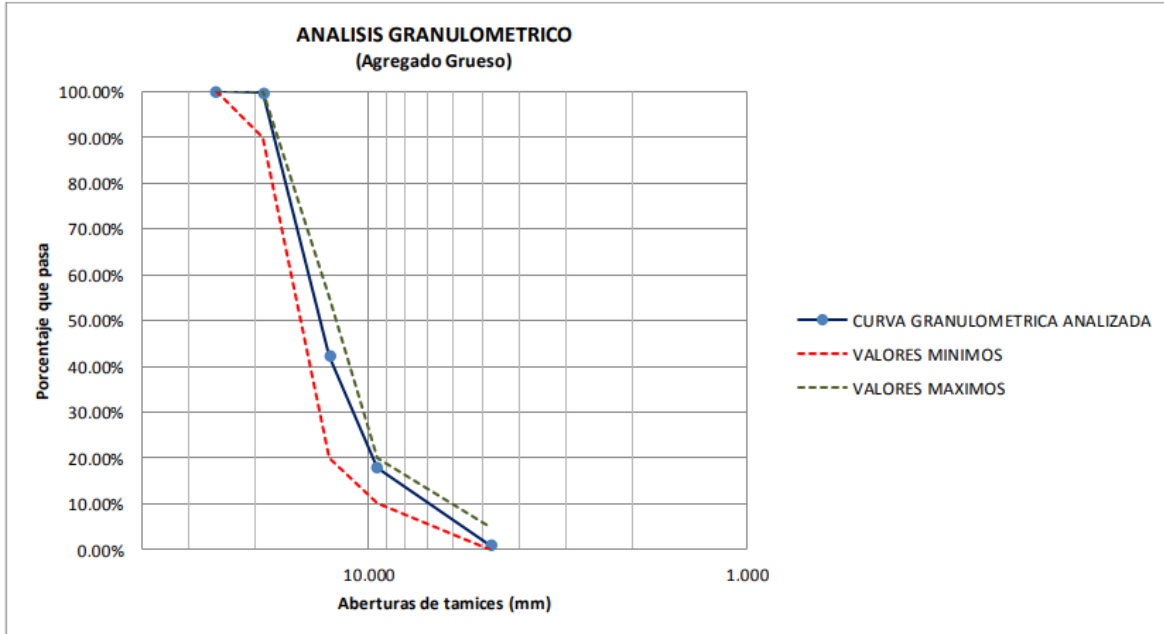
Fuente: [1], Tabla N°14, Pag 116

11.1.4. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO MTC E-204

Cantera: Vicho
 Peso de la muestra más tara 4818.80 gr.
 Peso de la tara 1689.30 gr.
 Peso de la muestra 3129.50 gr.
 Tamaño Máximo Nominal 3/4"

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESOS (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES ASTM	
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	19.050	6.9	0.22%	0.22%	99.78%	90.00%	100.00%
1/2"	12.700	1801.3	57.56%	57.78%	42.22%	20.00%	55.00%
3/8"	9.525	759.8	24.28%	82.06%	17.94%	10.00%	20.00%
# 4	4.760	534.4	17.08%	99.13%	0.87%	0.00%	5.00%
Fondo		27.1	0.87%	100.00%	0.00%	-	-
		3129.5	100.00%				

Fuente: [1], Tabla N°15, pag 117



Fuente: [1], Figura N°6, Pag 118

11.1.5. PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-29

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

CANTERA: PIEDRA CHANCADA DE 1/2" DE VICHO						
DETERMINACIÓN	SUELTO			COMPACTADO		
	1	2	3	1	2	3
Peso del molde + agregado seco (gr.)	13440	13520	13570	14300	14680	14750
Peso del molde (gr.)	6500	6500	6500	6500	6500	6500
Peso del agregado fino (gr.)	6940	7020	7070	7800	8180	8250
Volumen del molde (cm ³)	5627.7	5627.7	5627.7	5627.7	5627.7	5627.7
Peso específico del Bulk del agregado (gr/cm ³)	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155
Absorción del agregado (%)						
Peso unitario en condición SSS (kg/m ³)						
Vacios en el agregado (%)						
Peso Unitario en condición Seca (kg/m ³)	1233.2	1247.4	1256.3	1386	1453.5	1466
Peso Unitario seco promedio (kg/m³)	1245.63			1435.17		

Fuente: [1], Tabla N°16, Pag 119

11.1.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-128

Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Datos

DESCRIPCIÓN	UND	PESO
Agregado Saturado con Superficie Seca	gr.	3642.50
Agregado Saturado Sumergido	gr.	2259.50
Agregado Secado a l Horno + Recipiente	gr.	3569.10

Cálculos

A. Peso del material Saturado Superficialmente Seco (en aire) (gr)	3642.50
B. Peso del material Saturado Superficialmente Seco (en agua) (gr)	2259.50
C. Volumen de masa + Volumen de vacíos = (A-B)	1383.00
D. Peso del material seco al horno a 105 °C	3569.10
E. Volumen de masa = C-(A-D)	1309.60
P.e. Bulk (Base Seca) = D/C	2.58
P.e. bulk (base Saturada) = A/C	2.63
P.e. Aparente (Base Seca) = D/E	2.73
Absorción (%) = ((A-D)/D)x100	2.06

Fuente: [1], Tabla N°17, Pag 120

11.1.7. DISEÑO DE MEZCLA MÉTODO DEL COMITÉ 211-ACI

Características de los materiales

CEMENTO	Marca	Yura
	Tipo	IP
	Peso Específico	2.85
AGREGADO GRUESO	Tamaño Máximo Nominal	3/4"
	Peso Específico del BULK	2.73
	% de Absorción	2.06%
	Peso Seco Compactado	1435.15 kg/m ³
	Peso Seco Suelto	1245.63 kg/m ³
	Contenido de Humedad	0.81%
AGREGADO FINO	Peso Específico del BULK	2.69
	% de Absorción	1.30%
	Peso Unitario suelto	1759.27 kg/m ³
	Módulo de fineza	2.83
	Contenido de Humedad	5.17%
AGUA	Agua Potable de la Red Publica	

Fuente: [1], Tabla N°18, Pag 121

- CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (f'_{cr})
Para calcular le resistencia de diseño + el factor de seguridad se hará con el siguiente cuadro que recomienda la RNE tabla5.3

f'_{cr}	$f_{c'r}$
menor de 210	f_c+70
210 a 350	f_c+85
mayor a 350	$1.1f_c+50$

Fuente: [1], Tabla N°19, Pag 121

Se sabe que la resistencia deseada es de 210 kg/cm², entonces:

$$f'_{cr} = 210 + 85 = 295 \text{ Kg/Cm}^2$$

- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Según el manejo que se le dará a la mezcla se escogió que fuera una consistencia plástica con un asentamiento de 3" a 4"

- CÁLCULO DEL VOLUMEN UNITARIO DE AGUA (VA)

Para saber el volumen de agua necesario se necesita saber su asentamiento y el tamaño máximo de los agregados utilizados, y se procede a mirar en la tabla confeccionada por el comité 211 del ACI

$$\text{Tamaño máximo nominal} = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

$$\text{Asentamiento de} = 3 \text{ a } 4 \text{ pulg}$$

Volumen unitario de agua (lt/m³)

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máx. Nominales de agregados gruesos y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin Aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	***
Concreto con Aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	***

Fuente: [1], Tabla N°6, Pag 91

Por lo tanto, viendo la tabla y sabiendo que se requiere un concreto sin Aire entonces, el volumen unitario de agua son **205 lt/m³**

- SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Según la tabla confeccionada por el comité 211 del ACI se tiene que

tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente= [1], Tabla N°7, Pag 92

Contenido de aire atrapado = 2%

- CÁLCULO DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO
La relación agua cemento se podrá observar en la tabla mostrada a continuación

f'cr (28 días)	Relación agua - cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	***
450	0.38	***

Fuente: [1], Tabla N°8, Pag 92

Teniendo que se necesita un concreto de 295 kg/cm², se deberá interpolar los valores de la tabla para encontrar la relación agua cemento

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = 0,56$$

- FACTOR CEMENTO (VA / a/c)

Factor cemento	366 lt/m ³
----------------	-----------------------

- CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO

Siguiendo los lineamientos empleados por el comité 211 del ACI, se deberá entrar a la tabla 16.2.2, sabiendo que el módulo de finura es de 2.83 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de ¾", se pudo encontrar el volumen seco compactado del agregado siendo 0.617 m³, sabiendo el peso compactado seco en kg se deberá sacar el peso del agregado grueso.

Peso del agregado grueso	0.617 x 1435
Peso del agregado grueso	885.4 kg/m ³

- CÁLCULO DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LA PASTA

Cemento	366.07 / (2.85 x 1000)	0.128 m ³
Agua	205 / (1 x 1000)	0.205 m ³
Aire	2 %	0.020 m ³
Agregado grueso	885 / (2.73 x 1000)	0.324 m ³
Suma de volúmenes absolutos		0.678 m ³

Fuente: [1], Tabla N°21, Pag 123

Teniendo la suma de volúmenes absolutos se podrá sacar el volumen del agregado fino sabiendo que se diseña para 1 m³

Agregado fino	1.000 - 0.678	0.322 m ³
Peso del agregado fino seco	0.32 x 2.69 x 1000	867 kg / m ³

Fuente: [1], Pag 123

- VALORES DE DISEÑO

Se mostrará una tabla resumen de los valores de diseño

Cemento	366 kg
Agua	205 lt
Agregado grueso seco	885 kg
Agregado Fino seco	867 kg

Fuente: [1], Tabla N°22, Pag 123

A continuación, se podrá observar los valores de diseño para 9 BRIQUETAS con adición de 1:11 partes de agua de Sika-3

MATERIALES	Und.	CANTIDAD
Cemento	Kg.	18.45
Agregado Fino	Kg.	45.76
Agregado Grueso	Kg.	45.01
Agua	Lt.	9.23
Sika 3	Lt.	0.84

Fuente: [1], Tabla N°47, Pag 140

A continuación, se mostrará los valores de diseño para 9 BRIQUETAS con adición de 47.06 cm³ de Chema-5 por kg de cemento

MATERIALES	Und.	CANTIDAD
Cemento	Kg.	18.45
Agregado Fino	Kg.	45.76
Agregado Grueso	Kg.	45.01
Agua	Lt.	9.23
Chema 5	Lt.	0.87

Fuente: [1], Tabla N°68, Pag 175

11.1.8. TIEMPO DE FRAGUA INICIAL DEL CONCRETO

Con la aguja de Vicat se mide el grado de penetración de las pastas de cemento en un determinado tiempo, a continuación, se mostrará las tablas de los resultados arrojados por el ensayo

- Tiempo de fragua del concreto patrón

Nº VECES	HORA DE PENETRACIÓN	PENETRACIÓN	TIEMPO DE PENETRACIÓN
1	08:05	INDEFINIDO	1 ^{ra} HORA
2	09:05	INDEFINIDO	2 ^{da} HORA
3	10:05	35 mm	3 ^{ra} HORA
4	11:05	31 mm	4 ^{ta} HORA
5	12:05	19 mm	5 ^{ta} HORA

Fuente: [1], Tabla N°30, Pag 127

- Tiempo de fragua de la pasta con adición de 1:10 partes de agua de Sika-3

Nº VECES	HORA DE PENETRACIÓN	PENETRACIÓN	TIEMPO DE PENETRACIÓN
1	09:30	40 mm	1 ^{ra} HORA
2	10:30	37 mm	2 ^{da} HORA
3	11:30	25 mm	3 ^{ra} HORA
4	12:30	4 mm	4 ^{ta} HORA

Fuente: [1], Tabla N°32, Pag 128

- Tiempo de fragua de la pasta con adición de 47.06 cm³ de Chema-5 por kg de cemento

Nº VECES	HORA DE PENETRACIÓN	PENETRACIÓN	TIEMPO DE PENETRACIÓN
1	09:30	INDEFINIDO	1 ^{ra} HORA
2	10:30	INDEFINIDO	2 ^{da} HORA
3	11:30	35 mm	3 ^{ra} HORA
4	12:30	5 mm	4 ^{ta} HORA

Fuente: [1], Tabla N°38, Pag 131

11.2. Anexo B

ENSAYOS TESIS [2]

- AGREGADO FINO – DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA

MUESTRA		ENSAYO	
Tipo de árido:	Natural	Norma:	INEN 856
Procedencia:	Malacatos	Fecha:	07-ene-05
Sector:	Nangora	Realizado:	Henry Arévalo Jorge Herrera
DATOS DE ENSAYO			
No. Prueba	1	2	3
Masa de la muestra de ensayo (sss) (gr).	500	504.5	
Masa del matraz más agua (gr) : B	1299.60	1299.60	
Masa del matraz más agua más muestra (gr) : C	1604.70	1610.63	
Masa de la muestra seca al horno (gr). A	488.00	494.05	
Densidad real (estado sss): D _{sss} (gr/cm ³)	2.565	2.608	
Densidad seca (estado seco): D _s (gr/cm ³)	2.504	2.554	
Densidad aparente: D (gr/cm ³)	2.668	2.699	
Porcentaje de absorción: Pa en %	2.46	2.12	
D _{sss} = 2.587 gr/cm ³	Densidad real	D _{sss} = 500 / (B+500-C)	
D _s = 2.529 gr/cm ³	Densidad seca	D _s = A / (B+500-C)	
D = 2.684 gr/cm ³	Densidad aparente	D = A / (B+A-C)	
Pa = 2.29 %	% de absorción	Pa = 100 x (500-A) / A	

Fuente: [36], Pag 75

- AGREGADO FINO – DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA

MUESTRA		ENSAYO	
Tipo de árido: Natural		Norma: INEN 858	
Procedencia: Malacatos		Fecha: 07-ene-05	
Sector: Nangora		Realizado H. Arévalo J. Herrera	
DATOS DE ENSAYO			
Peso del recipiente vacío más placa de vidrio:		9175.00	
Peso del recipiente más agua más placa de vidrio:		23750.00	
Temperatura del agua (°C) : 20,9		Densidad del agua (gr/cm ³) : 0,99799	
Masa del recipiente vacío (gr) : 14575		Volumen del recipiente (cm ³) 14604,35	

ESTADO SUELTO

No. Prueba	1	2	3
Volumen del recipiente (cm ³) : V	14604.35	14604.35	
Masa del recipiente más muestra (gr) :	39600.00	39650.00	
Masa de la muestra de ensayo (gr) : m	25025.00	25075.00	
Densidad aparente: D (gr/cm ³)	1,71	1,72	
ESTADO COMPACTADO			
No. Prueba	1	2	3
Volumen del recipiente (cm ³) : V	14604.35	14604.35	
Masa del recipiente más muestra (gr) :	42600.00	42000.00	
Masa de la muestra de ensayo (gr) : m	28025.00	27425.00	
Densidad aparente: D (gr/cm ³)	1,92	1,88	
Masa unitaria (densidad aparente) suelta:	1.716 gr/cm ³		
Masa unitaria (d. aparente) compactada:	1.898 gr/cm ³		

Fuete: [36], Pag 76

- AGREGADO GRUESO – DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA

DATOS DE ENSAYO			
Peso del recipiente vacío más placa de vidrio:		9175.00	
Peso del recipiente más agua más placa de vidrio:		23750.00	
Temperatura del agua (°C) : 20,9		Densidad del agua (gr/cm ³) : 0,99799	
Masa del recipiente vacío (gr) : 14575		Volumen del recipiente (cm ³) : 14604,35	
ESTADO SUELTO			
No. Prueba	1	2	3
Volumen del recipiente (cm ³) : V	14604.35	14604.35	
Masa del recipiente más muestra (gr) :	37600.00	37644.00	
Masa de la muestra de ensayo (gr) : m	23025.00	23069.00	
Densidad aparente: D (gr/cm ³)	1,577	1,580	
ESTADO COMPACTADO			
No. Prueba	1	2	3
Volumen del recipiente (cm ³) : V	14604.35	14604.35	
Masa del recipiente más muestra (gr) :	38900.00	39100.00	
Masa de la muestra de ensayo (gr) : m	24325.00	24525.00	
Densidad aparente: D (gr/cm ³)	1,666	1,679	
Masa unitaria (densidad aparente) suelta:	1.579 gr/cm ³		
Masa unitaria (d. aparente) compactada:	1.672 gr/cm ³		

Fuente: [36], Pag 77

- AGREGADO FINO – DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD

DATOS DE ENSAYO			
No. Prueba	1	2	3
Masa de la muestra húmeda (gr) : A	292.08		
Masa de la muestra seca al horno (gr): B	288.50		
Contenido de humedad (%) : CH	1.24		
CH = 100 x (A - B) / B		CH = 1.24%	

Fuente: [36], Pag 78

- AGREGADO GRUESO – DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD

DATOS DE ENSAYO			
No. Prueba	1	2	3
Masa de la muestra húmeda (gr) : A	79.02		
Masa de la muestra seca al horno (gr): B	77.01		
Contenido de humedad (%) : CH	2.61		
CH = 100 x (A - B) / B		CH = 2.61%	

Fuente: [36], Pag 79

- DETERMINACIÓN DE LOS MATERIALES MÁS FINOS QUE 75 MICRAS EN LOS ARIDOS PARA HORMIGÓN

REGISTRO DE DATOS Y RESULTADOS			
Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra de ensayo en gr: A	499.94		
Masa de la muestra lavada y seca en gr: B	481.11		
Porcentaje de material fino < 75 micras	3.77		
Porcentaje de Material Fino < 75 micras: P = $\frac{A - B}{A} \times 100$	Material Fino < 75 micras Valor Promedio 3.77%		
Requisito de materiales más finos que 75 micrones en la Arena: Máximo Porcentaje 5 %			

Fuente: [36], Pag 80

- DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN LAS ARENAS

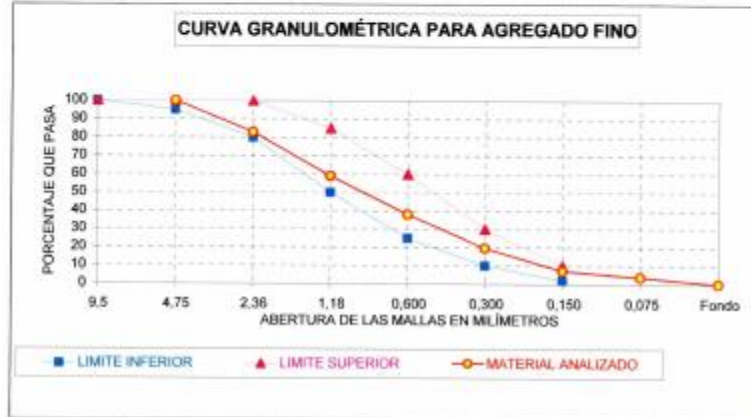
DATOS DE ENSAYO			
No. Prueba	1	2	3
Masa de la muestra de ensayo en gr.	130	130	
Volumen de la probeta utilizada en cc.	250	250.00	
Tiempo de reposo de la muestra en horas.	24	24	
Comparación calorimétrica.			
Si contiene Impurezas Orgánicas.			
No contiene Impurezas Orgánicas.	X	X	
Reactivo Utilizado			

Fuente: [36], Pag 81

- GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO

DATOS DE ENSAYO						
Tamiz mm	RETENIDO			PASA %	REQUISITO % PASA	
	PESO (gr)	%	Acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
9,5					100	100
4,75				100.00	95	100
2,36	85.81	17.20	17.20	82.80	80	100
1,18	119.25	23.90	41.10	58.90	50	85
0,600	104.76	21.00	62.09	37.91	25	60
0,300	91.41	18.32	80.41	19.59	10	30
0,150	62.09	12.44	92.86	7.14	2	10
0,075	17.00	3.41	96.27	3.73		
Fondo	18.63	3.73	100.00	0.00		
Total	498.95	100.00				

Masa Muestra de Ensayo:	500.17 gramos	Módulo de finura: Mf =	2.94
Requisito de Gradación de la Arena para hormigón			



Fuente: [36], Pag 82

- GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO

DATOS DE ENSAYO						
Tamiz mm	RETENIDO			PASA %	REQUISITO % PASA	
	PESO (gr)	%	Acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
75						
63						
50						
37.5						
25				100.00	100	100
19	20.00	0.39	0.39	99.61	90	100
12.5	2758.00	53.94		45.67		
9.5	1879.00	36.75		8.92	20	55
4.75	324.00	6.34	97.42	2.58	0	10
Fondo	132.00	2.58	100.00	0.00		
Total	5113.00	100.00				

Tamaño Máximo (mm)=	19
Masa Muestra de Ensayo:	5117.00 gramos
Tamaño Máximo Nominal er	19.00



Fuente: [36], Pag 83

- DETERMINACIÓN A LA RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN DE LOS ÁRIDOS

RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN						
Solución utilizada: Sulfato de sodio						
TAMIZ INEN	Gradación de la muestra original (Pi)	(%)	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el respectivo tamiz después del ensayo (pi)	Porcentaje de pérdida compensada, $pi \times Pi/100$
ÁRIDO GRUESO						
90 mm a 63 mm						
63 mm a 50 mm						
50 mm a 37.5 mm	0.00	0	0.00	0.00	0.0	0.0
37.5 mm a 25 mm	0.00	0	0.00	0.00	0.0	0.0
25 mm a 19 mm	0.00					
19 mm a 12.5 mm	670.50	45	1000.77	975.20	2.6	1.1
12.5 mm a 9.5 mm	330.27					
9.5 mm a 4.75 mm	300.30	31	300.30	287.57	4.2	1.3
TOTAL		76				2.5
ÁRIDO FINO						
9.5 mm a 4.75 mm		0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
4.75 mm a 2.36 mm		17.2	100.02	96.57	3.45	0.59
2.36 mm a 1.18 mm		23.9	100.01	90.26	9.75	2.33
1.18 mm a 0.600 mm		21.0	100.00	87.1	12.90	2.71
0.600 mm a 0.300 mm		37.9	100.05	95.4	4.65	1.76
TOTAL		100.0				7.39
Requisito de desgaste a los sulfatos (Arido Grueso): Máximo porcentaje 12%.						
Requisito de desgaste a los sulfatos (Arido Fino): Máximo porcentaje 10%.						
El material analizado SI cumple con el requisito de desgaste a los sulfatos.						

Fuente: [36], Pag 84

- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO MÉTODO DE VICAT

Muestra:	Cemento	Norma:	INEN 158
Marca:	Rocafuerte	Fecha:	17-ene-05
Tipo:	IP	Realizado por:	Henry Arévalo Jorge Herrera
Masa de la muestra de ensayo (gr).	500	Vol. de agua:(cc)	127.5
Hora de inicio de preparación de la pasta:	9:56		
Porcentaje de agua:%	25.5		
Molde número	1	2	3
Hora de Fraguado Inicial	14:00	14:00	
Tiempo Inicial de Fraguado: Ti	4 horas 4'	4 horas 4'	
Hora del Fraguado Final			
Tiempo Final de Fraguado: Tf			
Valor promedio: Ti =	Tf		

Diámetro de la Aguja de Vicat: 1mm

Tiempo de Fraguado Inicial.- Es el lapso de tiempo transcurrido desde que se agrega el agua al cemento hasta el momento en que la aguja de Vicat de 1mm de diámetro penetra 35mm en la pasta de cemento en 30 segundos o queda 5 milímetros sobre la placa de vidrio

Fuente: [36], Pag 85

- DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL FRASCO DE LE CHATELIER

REGISTRO DE DATOS Y RESULTADOS			
Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra de ensayo en gr. m	64 gr		
Lectura del volumen V1 en cc.	1.30		
Lectura del volumen V2 en cc.	22.10		
Densidad absoluta d (gr/cc)	3.08		
Valor promedio Densidad real o absoluta:	3.08		

Densidad real o absoluta $d = m / (V2 - V1)$

Fuente: [36], Pag 86

- AGREGADO GRUESO – DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA

DATOS DE ENSAYO			
No. Prueba	1	2	3
Masa de la muestra en el aire estado sss (gr.) : B	3380.00	3322.00	
Masa de la muestra sumergida en agua (gr.) : C	2107.00	2070.00	
Masa de la muestra seca al horno (gr) : A	3356.00	3298.00	
Densidad real (estado sss): D _{sss} (gr/cm ³)	2.655	2.653	
Densidad seca (estado seco): D _s (gr/cm ³)	2.636	2.634	
Densidad aparente: D (gr/cm ³)	2.687	2.686	
Porcentaje de absorción: Pa en %	0.72	0.73	

D _{sss} = 2.654 gr/cm ³	Densidad real	$D_{sss} = B / (B - C)$
D _s = 2.635 gr/cm ³	Densidad seca	$D_s = A / (B - C)$
D = 2.687 gr/cm ³	Densidad aparente	$D = A / (A - C)$
Pa = 0.73 %	% de absorción	$Pa = 100 \times (B - A) / A$

Fuente: [36], Pag 87

La dosificación se realizó bajo el método ACI 211.1, con el método del Volumen absoluto, para un esfuerzo a la compresión a los 28 días y con una resistencia de $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$. el diseño se manejó bajo condicionando de consistencia blanda (6 – 9cm)

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

CALCULO DE LA DOSIFICACION (ACI 211.1-97)

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS MATERIALES

Densidad real del cemento	3.070	gr/cm ³
Densidad real de la arena estado sss	2.587	gr/cm ³
Densidad real de la grava estado sss	2.654	gr/cm ³
Densidad aparente de arena estado suelto	1.716	gr/cm ³
Densidad aparente de grava estado suelto	1.579	gr/cm ³
Densidad aparente arena estado compactado	1.898	gr/cm ³
Densidad aparente grava estado compactado	1.672	gr/cm ³
Modulo de finura de la arena	2.94	
Tamaño máximo del arido grueso	19.00	mm
Capacidad de absorción de la arena	2, 29	%
Capacidad de absorción de la grava	0.730	%
Resistencia a la compresión a los 28 días f 'c:	180	Kg/cm²
Resistencia promedio requerida fr:	215	Kg/cm²
Hormigón de Consistencia media con Asentamiento de	7,5 a 10	cm

Para fabricar el hormigón se utilizó Cemento Portland Tipo I y áridos del sector Nangora, cantón Malacatos, Provincia de Loja

El hormigón se dosificará sin aire incluido

Relación agua/cemento para resistencia especificada	0.68	
Cantidad de agua para T _{máx.Nom.} 37.5 mm y Asent. especif.	205	litros/m ³
Volumen de aire en la mezcla de hormigón	20	litros/m ³
Volumen aparente de árido grueso	0.610	litros/m ³

RESUMEN DE LA DOSIFICACION

Materiales	Volumen real	Dosificación Peso Kg/m ³	Dosificación Correg. Kg/m ³	Dosificación Unitaria	Dosificación Peso/saco	Dosificación Volum./saco
Cemento	98.78	303.25	303.25	1.00	50	50
Agua	205.00	205.00	205.00	0.68	33.80	33.80
Aire	20.00					
Arena	291.82	754.94	754.94	2.49	124.47	72.56
Grava	384.40	1020.19	1020.19	3.36	168.21	106.56
Total	1000.00	2283.39	2283.39			

Fuente: [36], Pag 89

11.3. Anexo C

ENSAYOS TESIS [3]

- CONTENIDO DE HUMEDAD (AGREGADO FINO) – (piedra chancada).

Peso tarro + Peso muestra húmeda	259.62
Peso tarro + Peso muestra seca	252.99
Peso tarro	38.81
Peso agua	6.63
Peso muestra seca	214.18
Porcentaje de humedad (%)	3.10

Fuente: Tesis [3] tabla 17, pág 55.

- CONTENIDO DE HUMEDAD (AGREGADO GRUESO) - (piedra chancada).

Peso tarro + Peso muestra húmeda	502.72
Peso tarro + Peso muestra seca	485.60
Peso tarro	38.39
Peso agua	17.12
Peso muestra seca	447.21
Porcentaje de humedad (%)	3.83

Fuente: Tesis [3] Tabla 18, pág 55.

- PESO UNITARIO SUELTO (AGREGADO FINO) - (piedra chancada).

Peso del molde	6271 gr	6271 gr	6271
Volumen del molde	2114 cm ³	2114 cm ³	2114 cm ³
Colocación de muestra a molde	caida libre	caida libre	caida libre
Peso del molde + muestra suelta	9599.00 gr	9619.00 gr	9637.00 gr
Peso de la muestra suelta	3328.00 gr	3348.00 gr	3366.00 gr
Densidad mínima de la muestra seca	1.574 gr/cm ³	1.584 gr/cm ³	1.592 gr/cm ³
Promedio		1.584 gr/cm ³	

Fuente: Tesis [3] tabla 10, pág 50.

- PESO UNITARIO COMPACTADO (AGREGADO FINO) - (piedra chancada).

Peso del molde	6271 gr	6271 gr	6271 gr
Volumen del molde	2114 cm ³	2114 cm ³	2114 cm ³
Nº de capas	3	3	3
Nº de golpes por capa	25	25	25
Peso del molde + muestra compactada	9789.00 gr	9827.00 gr	9794.00 gr
Peso de la muestra compactada	3518.00 gr	3556.00 gr	3523.00 gr
Densidad máxima de la muestra seca	1.664 gr/cm ³	1.682 gr/cm ³	1.667 gr/cm ³
Promedio		1.671 gr/cm ³	

Fuente: Tesis [3] tabla 11, Pág 51.

- PESO UNITARIO SUELTO (AGREGADO GRUESO) - (piedra chancada).

Peso del molde	7229 gr	7229 gr	7229 gr
Volumen del molde	3242 cm ³	3242 cm ³	3242 cm ³
Colocación de muestra a molde	caída libre	caída libre	caída libre
Peso del molde + muestra suelta	11514.00 gr	11559.00 gr	11535.00 gr
Peso de la muestra suelta	4285.00 gr	4330.00 gr	4306.00 gr
Densidad mínima de la muestra seca	1.322 gr/cm ³	1.336 gr/cm ³	1.328 gr/cm ³
Promedio		1.328 gr/cm ³	

Fuente: Tesis [3] tabla 12, Pág 51.

- PESO UNITARIO COMPACTADO (AGREGADO GRUESO) - (piedra chancada).

Peso del molde	7229 gr	7229 gr	7229 gr
Volumen del molde	3242 cm ³	3242 cm ³	3242 cm ³
Nº de capas	3	3	3
Nº de golpes por capa	25	25	25
Peso del molde + muestra compactada	11920.00 gr	11894.00 gr	11915.00 gr
Peso de la muestra compactada	4691.00 gr	4665.00 gr	4686.00 gr
Densidad máxima de la muestra seca	1.447 gr/cm ³	1.439 gr/cm ³	1.445 gr/cm ³
Promedio		1.444 gr/cm ³	

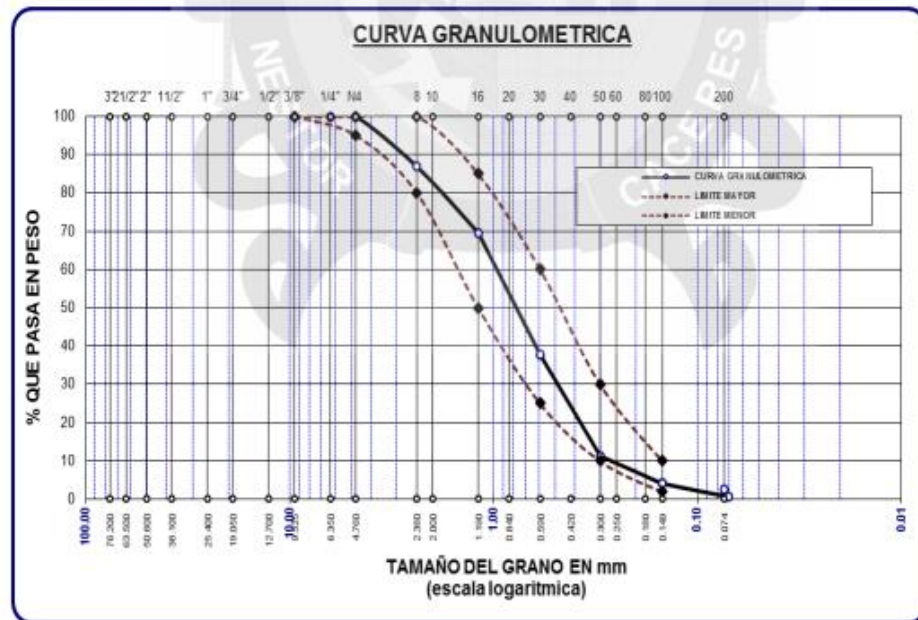
Fuente: Tesis [3] tabla 13, Pág 51.

- GRANULOMETRIA (AGREGADO FINO) – (piedra chancada).

Tamices Astm	Abertura mm	Peso retenido	% Retenido	%ret. Acumulado	% Que pasa
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
No8	2.380	65.72	13.14	13.14	86.86
No10	2.000				
No16	1.190	86.41	17.28	30.43	69.57
No20	0.840				
No30	0.590	159.66	31.93	62.36	37.64
No40	0.420				
No 50	0.300	131.86	26.37	88.73	11.27
No60	0.250				
No80	0.180				
No100	0.149	36.02	7.20	95.93	4.07
No200	0.074	7.92	1.58	97.52	2.48
Base		12.41	2.48	100	0
Total		500.00	100.00		
% Perdida			2.48		

Fuente: tesis [3] tabla 23, Pag 57.

Curva granulométrica de agregado fino (piedra chancada)



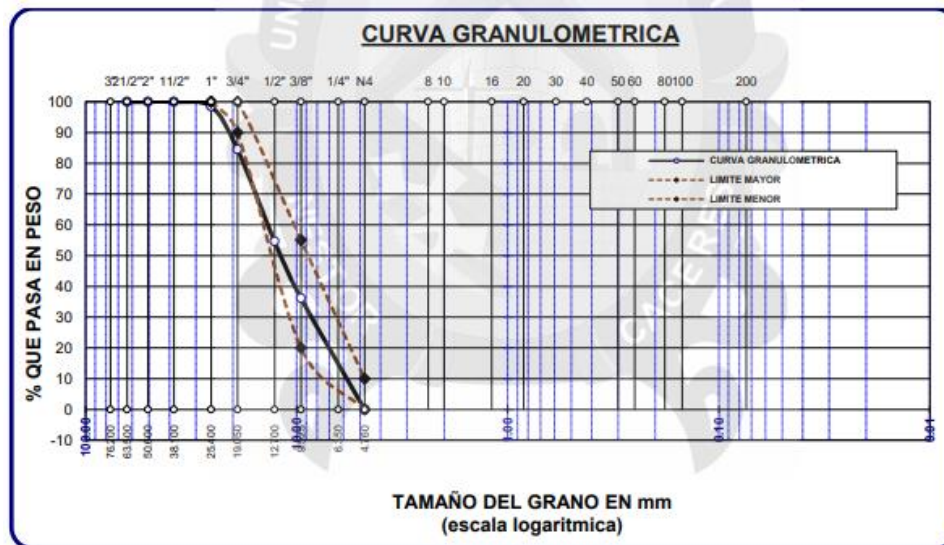
Fuente: tesis [3] Figura 22, Pág 57.

- GRANULOMETRIA (AGREGADO GRUESO) – (piedra chancada).

Tamices Astm	Abertura mm	Peso retenido	% Retenido	%ret. Acumulado	% Que pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	53.00	1.51	1.51	98.49
3/4"	19.050	490.00	14.00	15.51	84.49
1/2"	12.700	1047.00	29.91	45.43	54.57
3/8"	9.525	645.00	18.43	63.86	36.14
1/4"	6.350				
No4	4.760	1265.00	36.14	100.00	0.00
Base		0.00	0.00	0.0	100.0
Total		3500.00	100.00		
% Perdida		0.00			

Fuente: tesis [3] tabla 24, Pág 58.

Curva granulométrica de agregado grueso (piedra chancada)



Fuente: Tesis [3] figura 23, Pág 58.

➤ PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION (AGREGADO FINO) – (Piedra chancada).

-Peso de muestra secada al horno	(A)	=	485.98 gr
-Peso de muestra saturada seca (SSS)	(B)	=	500.00 gr
-Peso del picnómetro con agua	(Wc)	=	1316.00 gr
-Peso del picnómetro + muestra + agua	(W)	=	1618.82 gr

$$Pe = 2.54 \text{ gr/cm}^3$$

$$Abs = 2.88 \%$$

➤ PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION (AGREGADO GRUESO) – (piedra chancada).

-Peso de muestra secada al horno	(A)	=	782.15
-Peso de muestra saturada seca (SSS)	(B)	=	800.00
-Peso del picnómetro con agua	(Wc)	=	1316.00
-Peso del picnómetro + muestra + agua	(W)	=	1800.36

$$Pe = 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

$$Abs = 2.28 \%$$

➤ RESISTENCIA AL DESGASTE

De acuerdo a la gradación obtenido, el tamaño máximo es de 1", por lo tanto se elige el método A, con 12 esferas, con 500 revoluciones y con un tiempo máximo de 15 minutos, según la norma NTP 400.019.

Tabla 25

Peso de agregado grueso (canto rodado) para ensayo de abrasión

Tamiz	Peso Retenido (gr.)
1"	1245.45
3/4"	1250.49
1/2"	1249.09
3/8"	1250.82
Total	4995.85

Peso Inicial = 4995.85 gr.

Peso final = 3715.00 gr.

$$\text{Desgaste} = \frac{4995.85 - 3715.00}{4995.85} * 100$$

$$\text{Desgaste} = 25.64\%$$

El porcentaje de desgaste del agregado grueso procedente de piedra chancada, tiene un desgaste de 25.64%, considerándose un agregado óptimo para el diseño de mezclas.

Fuente: tesis [3] Pag 59.

DISEÑO DE MEZCLA POR METODO ACI CANTO RODADO.

1. Diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
2. El requerimiento de resistencia a la compresión es $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, a los 28 días, ya que no se cuenta con un dato de desviación estándar, tomamos el factor de seguridad de la **Tabla 26**, por lo que resistencia promedio resulta $f'cr = 294 \text{ Kg/cm}^2$.

Valores para determinar resistencia a la compresión promedio

f_c	f_{cr}
Menos de 210	f _c + 70
210 a 350	f _c + 84
sobre 350	f _c + 98

Fuente: American Concrete Institute comité 211.

- Se seleccionó un asentamiento de 3" a 4", condición de asentamiento intermedio.
- El diámetro de tamaño máximo nominal es de 3/4", de acuerdo al análisis granulométrico.
- Resultado de pruebas en laboratorio para los agregados, **Tabla 27**:

Tabla 27

Resultados de ensayos en laboratorio de agregados

Características físicas	Agregado grueso	Agregado fino
Peso Específico (gr/cm ³)	2.54	2.55
Peso Unitario Varillado (kg/m ³)	1626	1717
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1504	1612
% de Absorción	2.09	2.97
% de Humedad Natural	3.83	8.32
Módulo de Fineza	-	3.08

- Debido a que no se usará incorporador de aire, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de: **205 lt**, véase **Tabla 28**, slump elegido es de 3" a 4" y tamaño máximo nominal de ¾".

Tabla 28

Cantidades aproximadas de agua para diferentes Slump, cantidades de agua

Slump	Agua en lt/m³ de concreto para los tamaños máximos de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Sin aire (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

8. Para la selección de la relación agua-cemento, el criterio de diseño considerado es la resistencia, sabiendo que la resistencia promedio correspondiente a 284 kg/cm², por interpolación en la **Tabla 29**, resulta **0.56** la relación agua-cemento.

Tabla 29

Relación agua-cemento vs f'_{cr} (sin aire)

f'_{cr}	a/c
450	0.38
400	0.43
350	0.48
300	0.55
250	0.62
200	0.70
150	0.80

Fuente: American Concrete Institute comité 211.

9. De acuerdo a la información obtenida en los items 8 y 6, el requerimiento de cemento será de:

$$(205 \text{ kg/m}^3) / (0.56) = 366 \text{ kg/m}^3$$

10. El módulo de fineza del agregado fino es 3.08, el peso unitario varillado del agregado grueso resultó 1626 kg/m³ y un tamaño máximo nominal de 3/4"; usando estos datos e interpolando en la **Tabla 30**, resulta **0.592 m³**.

Tabla 30

Volumen del agregado grueso por unidad de volumen

Tamaño máximo de agregado	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen						
	Módulo de fineza del agregado fino						
	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4
3/8"	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40
1/2"	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49
3/4"	0.68	0.66	0.64	0.61	0.60	0.58	0.56
1"	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61
1 1/2"	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
2"	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68
3"	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71
6"	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77

$$(0.592 \text{ m}^3) / (1626 \text{ kg/m}^3) = 962 \text{ kg/m}^3$$

11. Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos:

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen absoluto de agua} &= (205) / (1000) = 0.205 \\
 \text{Volumen absoluto de cemento} &= (366) / (2.88*1000) = 0.127 \\
 \text{Volumen absoluto de agregado grueso} &= (962) / (2.54*1000) = 0.378 \\
 \text{Volumen absoluto de aire atrapado} &= (2.0) / (100) = 0.020 \\
 \text{Volumen sub total} &= \underline{0.730 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el peso de agregado fino es: $(1 - 0.730) = 0.270 \text{ m}^3$

$$(0.270)*(2.55)*1000 = 688 \text{ kg/m}^3$$

12. Cantidad de materiales para el concreto hidráulico de 210 kg/cm², **Tabla 31.**

Tabla 31

Dosificación en seco, para concreto 210 kg/cm² (Método ACI)

Agregado	Dosificación en Kg/m ³
Cemento	366
Agua	205
Agregado. Grueso	962
Agregado. Fino	688
Aire	2.0 %

Fuente: Elaboración propia.

11.4. Anexo D

FICHAS TECNICAS DE ADITIVOS (SIKA 3, CHEMA 5) DE LA TESIS [1] [37] [38] [39]



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sika®-3

ACELERANTE DE FRAGUADO PARA MORTEROS DE PEGA, PAÑETES, PISOS ETC.

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sika®-3 es un aditivo líquido con acción acelerante. Permite el control del tiempo de fraguado de morteros.

USOS

- Para la elaboración de morteros de fraguado rápido y controlado en obras de reparación, obras subterráneas, alcantarillados, obras de desvío hidráulico y obras expuestas a mareas.
- Para la pega rápida de ladrillo, piedra, tablón vitrificado, prefabricados.
- Para la elaboración de pañetes de rápido fraguado y de morteros en clima frío.

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

- Economía de tiempo y mano de obra.
- Acelera el fraguado y el endurecimiento de acuerdo con la dilución empleada.
- Facilita el rápido desencofrado y puesta en uso de la estructura.

INFORMACION DEL PRODUCTO

Empaques	Plástico de 5 kg
Apariencia / Color	Líquido verde
Vida en el recipiente	Un (1) año desde la fecha de su producción.
Condiciones de Almacenamiento	Almacene el producto en sitio fresco, bajo techo y en su empaque original bien cerrado. Para su transporte deben tomarse las precauciones normales para productos químicos.
Densidad	1.18 kg/l ± 0.03 kg/l

INFORMACION DE APLICACIÓN

Consumo Sika®-3 se usa puro o diluido hasta 1:5 en el agua de amasado.

Hoja de Datos del Producto
Sika®-3
Noviembre 2017, Versión 01.01
02140506100000020

1 / 2

INSTRUCCIONES DE APLICACION

La superficie sobre la cual se aplica el mortero debe estar sana, limpia y saturada con agua. **Sika®-3** viene listo para usar. Basta diluirlo en agua en la proporción óptima de acuerdo al aceleramiento deseado. La dilución preparada se usa como agua de amasado de mortero. **Sika®-3** puede emplearse en combinación con **Sika-1** para elaborar morteros impermeables de rápido endurecimiento agregando los aditivos a la mezcla, disueltos en el agua de amasado, en las proporciones respectivas.

LIMITACIONES

Para encontrar la dosis óptima se recomienda efectuar ensayos con los materiales y en las condiciones de la obra. **Sika®-3** contiene cloruros, no se recomienda su empleo en concreto armado o pretensado.

NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la hoja técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso.

ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección en su manipulación. Consultar Hoja de Seguridad del producto.

NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com.

Sika Colombia S.A.S

Vereda Canavita, Km 20.5 Autopista Norte
Tocancipá Cundinamarca Colombia
phone: +57 1 878 6333
e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: col.sika.com



Responsabilidad Integral



ISO 9001
Certified



ISO 14001
Certified

Hoja de Datos del Producto
Sika®-3

Noviembre 2017, Versión 01.01
021405061000000020

CONSTRUYENDO CONFIANZA





DESCRIPCION **CHEMA 5** es un aditivo acelerante de fraguado para concreto simple o ciclópeos que proporciona altas ganancias tempranas de resistencia a la compresión disminuyendo el tiempo de fragua y aumentando la plasticidad de la mezcla. Ideal para morteros, pastas de cemento y concretos ciclópeos. Contiene cloruros, no se recomienda su uso en concreto armado. En caso de concreto armado utilizar Chema 3 o Chema Estruct. Cumple con los requerimientos de la norma ASTM 494 Tipo C.

VENTAJAS

- Reduce los costos de construcción al disminuir el tiempo de fraguado y encofrado.
- Los trabajos pueden desencofrarse rápidamente.
- No ocasiona retrasos en el fraguado debido a temperaturas bajas.
- Se obtiene altas resistencias a la compresión tempranas (a los 3 y 7 días).
- Le brinda mayor trabajabilidad al concreto y mortero.
- Permite realizar el acabado el mismo día.
- Evita que se cristalice el agua de los morteros y concretos por las bajas temperaturas.

USOS En obras de concreto y mortero simples o ciclópeos donde se requiera:

- Desencofrar en menor tiempo de lo usual: bloques, tubos, losetas de concreto.
- Reparar pistas y veredas, falsos pisos, contra pisos y reparación de elementos no reforzados con fierro.
- Trabajos en bajas temperaturas, obteniendo endurecimiento rápido y evitando también la cristalización del agua.

DATOS TÉCNICOS

- Apariencia : Líquido
- Color : Verde Claro
- Densidad : 1.05 kg/L \pm 0.05
- pH : 8.0 – 10
- VOC : 0 g/L

PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO Diluir la dosificación de **CHEMA 5** en el agua de amasado. La cantidad requerida puede variar de acuerdo con la temperatura y las condiciones de trabajo. Reducir el agua de amasado del 5 al 10%.

RENDIMIENTO La dosificación varía de 1 a 3 litros por bolsa de cemento, dependiendo de la temperatura del ambiente y del tiempo de fragua que se requiere lograr. Se debe realizar ensayos previos para determinar la dosis adecuada para su uso en particular. La dosis recomendada es usualmente 1/3 galón (1.2 litros aprox. por bolsa de cemento).

PRESENTACIÓN Envase de 1 gal.
Envase de 5 gal.
Envase de 55 gal.

ALMACENAMIENTO 2 años almacenado en su envase original, sellado en lugar fresco y bajo techo.

**PRECAUCIONES Y
RECOMENDACIONES**

En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico).
Durante su manipulación no beber ni comer alimentos. Lavarse las manos luego de manipular el producto. Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo. En caso de contacto con los ojos y la piel, lávese con abundante agua. Es tóxico si es ingerido, no provocar vómitos; procurar ayuda médica inmediata.

“La presente Edición anula y reemplaza la Versión N° 0 para todos los fines”

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

11.5. Anexo E

Tabla N° 45: Control de producción y resistencia del concreto patrón - ASTM C-39

LUGAR		LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						HORA DE ELABORACIÓN		12:30 p.m.			
FECHA DE ELABORACIÓN		22/02/2014		ELABORADO POR			EDISON SIMÓN PONCE CÓRDOVA						
F'c DISEÑO		210 Kg/cm ²		TIPO DE MUESTRA			TESTIGOS DE CONCRETO						
FACTOR DE SEGURIDAD F'rc		295 kg/cm ²		SLUMP DE DISEÑO			3" - 4"						
N° DE BRIQUETA	FECHA DE MOLDEO	FECHAS DE ROTURA			ÁREA DE TESTIGO	CARGA (kg)			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)			RESISTENCIA PROMEDIO	%
		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS		
1	22/02/2014	25/02/2014			182.41	26653.75			146.12				
2	22/02/2014	25/02/2014			182.41	26909.12			147.52				
3	22/02/2014	25/02/2014			182.41	26558.90			145.60			146.67	69.84%
4	22/02/2014	25/02/2014			182.41	26910.95			147.53				
5	22/02/2014	25/02/2014			182.41	26734.01			146.56				
6	22/02/2014		01/03/2014		182.41		32912.24			180.43			
7	22/02/2014		01/03/2014		182.41		32186.24			176.45			
8	22/02/2014		01/03/2014		182.41		32819.21			179.92		180.65	86.02%
9	22/02/2014		01/03/2014		182.41		33784.16			185.21			
10	22/02/2014		01/03/2014		182.41		33056.34			181.22			
11	22/02/2014			08/03/2014	182.41			40699.32			223.12		
12	22/02/2014			08/03/2014	182.41			39666.88			217.46		
13	22/02/2014			08/03/2014	182.41			39391.44			215.95	219.09	104.33%
14	22/02/2014			08/03/2014	182.41			39920.43			218.85		
15	22/02/2014			08/03/2014	182.41			40139.32			220.05		

Fuente: [1], Tabla 45, Pag 137

Tabla N° 51: Control de producción y resistencia del concreto con adición de 1:10 partes de agua de Sika 3

LUGAR		LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						HORA DE ELABORACIÓN			03:35 p.m.		
FECHA DE ELABORACIÓN		21/03/2014			ELABORADO POR			EDISON SIMÓN PONCE CÓRDOVA					
F'c DISEÑO		210 Kg/cm2			TIPO DE MUESTRA			TESTIGOS DE CONCRETO					
FACTOR DE SEGURIDAD F'rc		295 kg/cm2			SLUMP DE DISEÑO			3" - 4"					
N° DE BRIQUETA	FECHA DE MOLDEO	FECHAS DE ROTURA			ÁREA DE TESTIGO	CARGA (kg)			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)			RESISTENCIA PROMEDIO	%
		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS		
1	21/03/2014	24/03/2014			182.41	27715.38			151.94				
2	21/03/2014	24/03/2014			182.41	28240.72			154.82			154.34	73.50%
3	21/03/2014	24/03/2014			182.41	28505.21			156.27				
4	21/03/2014		28/03/2014		182.41		36294.12			198.97			
5	21/03/2014		28/03/2014		182.41		36584.15			200.56		198.81	94.67%
6	21/03/2014		28/03/2014		182.41		35918.35			196.91			
7	21/03/2014			04/04/2014	182.41			36102.59			197.92		
8	21/03/2014			04/04/2014	182.41			37620.24			206.24	205.16	97.69%
9	21/03/2014			04/04/2014	182.41			38545.06			211.31		

Fuente: [1], Tabla 51, Pag 146

Tabla N° 69: Control de producción y resistencia del concreto con adición de 47.06 cm³ de Chema 5 por kg de cemento

LUGAR		LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				HORA DE ELABORACIÓN			04:00 p.m.				
FECHA DE ELABORACIÓN		03/04/2014		ELABORADO POR			EDISON SIMÓN PONCE CÓRDOVA						
F'c DISEÑO		210 Kg/cm ²		TIPO DE MUESTRA			TESTIGOS DE CONCRETO						
FACTOR DE SEGURIDAD F'rc		295 kg/cm ²		SLUMP DE DISEÑO			3" - 4"						
N° DE BRIQUETA	FECHA DE MOLDEO	FECHAS DE ROTURA			ÁREA DE TESTIGO	CARGA (kg)			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)			RESISTENCIA PROMEDIO	%
		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS		
1	03/04/2014	06/04/2014			182.41	27770.10			152.24				
2	03/04/2014	06/04/2014			182.41	28839.02			158.10			156.92	74.72%
3	03/04/2014	06/04/2014			182.41	29260.39			160.41				
4	03/04/2014		10/04/2014		182.41		37248.12			204.20			
5	03/04/2014		10/04/2014		182.41		36383.50			199.46		200.39	95.42%
6	03/04/2014		10/04/2014		182.41		36025.98			197.50			
7	03/04/2014			17/04/2014	182.41			39816.45			218.28		
8	03/04/2014			17/04/2014	182.41			41104.27			225.34	224.03	106.68%
9	03/04/2014			17/04/2014	182.41			41673.39			228.46		

Fuente: [1], Tabla 69, Pag 17.

11.6. ANEXO F

Tabla 44. Valores F de la distribución de Fisher

$1 - \alpha = 0.95$ v_1 = grados de libertad del numerador
 $1 - \alpha = P (F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$ v_2 = grados de libertad del denominador

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.568	4.558
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.948	2.936
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.568	2.555	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.289	2.272	2.257	2.243	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250	2.233	2.217	2.203	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215	2.198	2.182	2.168	2.155
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995	1.976	1.960	1.945	1.932
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.885	1.868	1.853	1.839
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.798	1.784
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.778	1.763	1.748
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581

Fuente: Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

