



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

TITULO DE INGENIERO CIVIL

**Definición de funciones que permitan relacionar la resistencia a la  
compresión del concreto a los 28 días**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORES: Álvarez Gahona, Leonard Patricio  
Carvallo Campoverde, Juan Antonio

DIRECTOR: Zúñiga Suarez, Alonso Rodrigo, Ing. M.Sc.

CO-DIRECTOR: Aguilar Quezada, Carlos Humberto, Ing.

LOJA – ECUADOR

2015



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2015



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2015

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Alonso Rodrigo Zúñiga Suárez.

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Definición de funciones que permitan relacionar la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días**, realizado por: **Álvarez Gahona Leonard Patricio** y **Carvallo Campoverde Juan Antonio**, ha sido orientada y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, diciembre de 2015

f). . . . .

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Nosotros, **Álvarez Gahona Leonard Patricio** y **Carvallo Campoverde Juan Antonio** declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: Definición de funciones que permitan relacionar la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo Alonso Rodrigo Zúñiga Suarez director, y Carlos Humberto Aguilar Quezada co-director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f. ....

Autor:           Álvarez Gahona Leonard Patricio

Cédula:           1103675573

f. ....

Autor:           Carvallo Campoverde Juan Antonio

Cédula:           1104976814

## **DEDICATORIA**

Dedico este triunfo a mis queridos padres, Gilberto Álvarez Cajas e Irene Mireya Gahona Aguirre que con sus consejos y apoyo incondicional han hecho posible que alcance este logro tan esperado en mi vida profesional y darme la mejor herramienta para forjar mi camino y convertir a los problemas de la vida en retos a superar. A mis hermanos y mis pequeñas sobrinas. Dedico este trabajo a mis entrañables e infaltables amigos y colegas de LTS con quienes he compartido 5 años de vida universitaria, de los cuales llevo los mejores recuerdos. De igual forma a mis profesores, quienes cada clase lo dieron todo con el afán de formar unos buenos profesionales y de lo cual estoy seguro que lo consiguieron. Y dedico este trabajo a todas las personas que estuvieron presentes con palabras de aliento y gestos desinteresados durante esta etapa de mi vida tan gratificante.

Leonard Patricio Álvarez Gahona.

Este trabajo de fin de titulación le dedico principalmente a Dios por ser quien me guía y bendice en cada momento de mi vida, además le dedico este trabajo a mis padres Juan y Ligia quienes a lo largo de mi vida se han preocupado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, a mis hermanos Juan Diego, José Luis y Juan Carlos quienes son un soporte fundamental en mi vida y ejemplo a seguir.

El esfuerzo que se refleja en este trabajo de fin de titulación ya culminado, de igual forma está dedicado con mucho cariño a mi esposa Claudia y a mí querido hijo Juan Antonio, quienes son mi inspiración para seguir adelante.

A mis queridos sobrinos Sebas, Panchito, Mateito y Carolina, que con su inocencia y su cariño alegran mi vida, además le dedico la culminación de este trabajo a Karina y Sayra por llegar a ser como mis hermanas, dispuestas siempre a darme un consejo.

A mi primo Diego Paul le dedico este trabajo por ser quien ha sido más que un primo, un amigo incondicional, un hermano.

A mis familiares: mis abuelitos que desde el cielo me guían y protegen, mis tíos, mis primos, que me han guiado con más de un consejo y me han hecho sentirme respaldado por una grandiosa familia.

A todos mis amigos que han ido poniendo con su amistad un granito de arena en mi vida para ser de mí una mejor persona.

Juan Antonio

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haber puesto en mi vida a unos maravillosos padres que desde siempre han sabido inculcar en mi la honestidad, el respeto, la puntualidad y la humildad. De igual forma les agradezco el haberme formado con la convicción de que con trabajo duro, cualquier meta podré alcanzar y cuando lo haga, nunca olvidar a las personas que aportaron ya sea con mucho o con poco. Por ello agradezco a mis profesores, quienes me han formado en el ámbito profesional y moral brindándome sin ningún egoísmo sus conocimientos y experiencias. Y con una infinita gratitud agradezco a mi compañero de tesis y amigo Juan Carvallo a mi director de tesis el Ing. Alonso Rodrigo Zuñiga Suarez, a mi Codirector el Ing. Carlos Aguilar y al Ph. D. Víctor Gracia quienes han contribuido con portes importantes para la realización de este trabajo.

Leonard Patricio Álvarez Gahona.



Por la salud, la vida, por ser quien es el que me guía y me ayudó a cumplir esta meta tan esperada, mi agradecimiento eterno es hacia Dios y a la Virgen Santísima.

A mis padres Juan y Ligia por todo el amor, el apoyo y la confianza que me han brindado durante el transcurso de mi carrera universitaria.

Al Ing. Alonso Zúñiga por habernos ayudado en la realización de esta investigación ya que gracias a su apoyo hemos podido concluir con este gran trabajo.

A mi compañero Leonard, por su invaluable ayuda, por su apoyo y por su incomparable amistad.

Al Dr. Víctor García por toda la ayuda que nos brindo en nuestro trabajo de fin de titulación.

A todos los docentes que formaron parte de nuestra carrera universitaria por impartirnos sus conocimientos y experiencias.

A todos mis compañeros con los cuales vivimos momentos inolvidables aprendiendo día a día lo fascinante que es la Ingeniería Civil.

Juan Antonio

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO I .....	5
GENERALIDADES .....	5
1.1. Justificación .....	6
1.2. Objetivos .....	6
1.2.1. Objetivo general. ....	6
1.2.2. Objetivos específicos. ....	6
1.3. Antecedentes .....	6
CAPÍTULO II .....	9
MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Materiales para concreto .....	10
2.1.1. Cemento .....	10
2.1.2. Áridos. ....	10
2.1.2.1. <i>Árido grueso</i> . ....	11
2.1.2.2. <i>Árido fino</i> . ....	11
2.1.2.3. Granulometría de árido fino y grueso. ....	13
2.1.3. Agua .....	13
2.1.4. Aditivo. ....	13
2.2. Concreto .....	14
2.2.1. Diseño y dosificación. ....	15
2.2.2. Relación agua/cemento (A/C) .....	15
2.2.3. Asentamiento. ....	16
2.2.3.1. Determinación del asentamiento (NTE INEN 1578) .....	16

2.2.4.	Elaboración de probetas cilíndricas.....	17
2.2.5.	Fraguado y endurecimiento.....	19
2.2.6.	Curado.....	19
2.2.6.1.	Procedimiento para el curado de probetas cilíndricas.....	20
2.2.7.	Resistencia a la compresión.....	20
2.2.7.1.	Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto de cemento hidráulico (NTE INEN 1573).....	21
2.2.8.	Tipos de falla.....	22
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>24</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>		<b>24</b>
3.1.	Obtención y homogenización de áridos.....	25
3.2.	Ensayo de áridos.....	26
3.2.1.	Muestreo.....	26
3.2.2.	Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso (NTE INEN 696).....	27
3.2.3.	Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino (NTE INEN 856).....	28
3.2.4.	Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso (NTE INEN 857).....	28
3.2.5.	Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos (NTE INEN 858).....	29
3.3.	Dosificación y elaboración del concreto.....	29
3.3.1.	Dosificación (Método Volumétrico PCA).....	30
3.3.2.	Elaboración del concreto.....	31
3.4.	Ensayos para concreto en estado fresco y endurecido.....	32
3.5.	Diseño experimental.....	32
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>38</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>38</b>
4.1.	Granulometría de árido fino y grueso.....	39
4.1.1.	Árido fino.....	39
4.1.1.1.	Análisis granulométrico del árido fino y determinación del módulo de finura	39
4.1.1.2.	Comprobación de los requisitos de ASTM C 33 de la granulometría del árido fino.	39
4.1.2.	Árido grueso.....	40
4.1.2.1.	Análisis granulométrico del árido grueso, determinación del tamaño máximo y tamaño máximo nominal.....	41
4.1.2.2.	Comprobación de los requisitos de ASTM C 33 de la granulometría del árido grueso.....	41

4.2.	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino	43
4.3.	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso	43
4.4.	Masa unitaria del árido grueso.	44
4.5.	Dosificación – PCA (Método del Volumen Absoluto)	44
4.6.	Resultados de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas utilizadas en la definición del modelo estadístico ( $f'c = 24$ MPa).	46
4.7.	Resultados de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas utilizadas en la comprobación del modelo estadístico ( $f'c = 21$ MPa y $f'c = 30$ MPa).	48
4.8.	Resultados del diseño experimental.	49
4.8.1.	Modelo estadístico que permite estimar la relación agua/cemento.	49
4.8.2.	Modelo estadístico para proyectar la resistencia a compresión del concreto a 28 días cuando se utiliza cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE.	50
4.8.3.	Comprobación del modelo.	53
<b>CONCLUSIONES</b>		56
<b>RECOMENDACIONES</b>		57
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		59
<b>ANEXOS</b>		60
Anexo 1. Cálculo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino (NTE INEN 856).		61
Anexo 2. Cálculo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso (NTE INEN 857).		63
Anexo 3. Cálculo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858).		65
Anexo 4. Diseño y proporcionamiento de mezcla de concreto por el método del volumen absoluto.		67
Anexo 5. Determinación del asentamiento.		69
Anexo 6. Elaboración de probetas cilíndricas a ser ensayadas.		70
Anexo 7. Curado de probetas cilíndricas a ser ensayadas.		71
Anexo 8. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.		72
	Resultados de $f'c = 24$ MPa (sin aditivo).	72
	Resultados de $f'c = 24$ MPa (con aditivo).	80
	Resultados de $f'c = 21$ MPa (sin aditivo).	88
	Resultados de $f'c = 21$ MPa (con aditivo).	89
	Resultados de $f'c = 30$ MPa (sin aditivo).	90
	Resultados de $f'c = 30$ MPa (con aditivo).	91
Anexo 9. Fotografías		92

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1.</b> Propiedades del árido fino.....	11
<b>Tabla 2. 2.</b> Propiedades del árido fino.....	12
<b>Tabla 2. 3.</b> Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.....	17
<b>Tabla 2. 4.</b> Requisitos para determinar el método de compactación.....	18
<b>Tabla 2. 5.</b> Requisitos para el moldeo mediante varillado.....	18
<b>Tabla 2. 6.</b> Precisión dentro del ensayo.....	22
<b>Tabla 2. 7.</b> Tipos de falla.....	23
<b>Tabla 3. 1.</b> Ensayos y normas establecidos para los áridos.....	26
<b>Tabla 3. 2.</b> Procedimiento y referencia para la dosificación y elaboración del concreto.....	30
<b>Tabla 3. 3.</b> Dosificación por m <sup>3</sup> para desplegar a los 28 días resistencias de 21 MPa, 24 MPa y 30 MPa.....	30
<b>Tabla 3. 4.</b> Dosificación para 8 probetas cilíndricas para desplegar a los 28 días resistencias de 21 MPa, 24 MPa y 30 MPa.....	30
<b>Tabla 3. 5.</b> Ensayos y normas establecidas para el concreto en estado fresco y endurecido.....	32
<b>Tabla 3. 6.</b> Dosificación y proporcionamiento para fabricar 1m <sup>3</sup> de concreto.....	33
<b>Tabla 3. 7.</b> Distribución de probetas cilíndricas utilizadas para definir el modelo estadístico.....	34
<b>Tabla 3. 8.</b> Parámetros de la curva Sigmoidal Logistic function, type 1.....	35
<b>Tabla 3. 9.</b> Distribución de probetas cilíndricas utilizadas para comprobar el modelo estadístico.....	36
<b>Tabla 4. 1.</b> Granulometría y determinación del módulo de finura del árido fino.....	39
<b>Tabla 4. 2.</b> Límites granulométricos del árido fino según ASTM C 33.....	39
<b>Tabla 4. 3.</b> Análisis granulométrico del árido grueso.....	41
<b>Tabla 4. 4.</b> Requisitos granulométricos del árido grueso según ASTM C 33. Número de tamaño 6.....	42
<b>Tabla 4. 5.</b> Propiedades físicas del Árido Fino.....	43
<b>Tabla 4. 6.</b> Propiedades físicas del Árido Grueso.....	43
<b>Tabla 4. 7.</b> Determinación de la masa unitaria del árido grueso.....	44
<b>Tabla 4. 8.</b> Dosificación para concreto sin la inclusión de aditivo plastificante.....	44
<b>Tabla 4. 9.</b> Dosificación para concreto con la inclusión de aditivo plastificante.....	45
<b>Tabla 4. 10.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas f'c = 24 MPa (sin aditivo).....	46

<b>Tabla 4. 11.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas $f'c = 34$ MPa (con aditivo).....	47
<b>Tabla 4. 12.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas $f'c = 21$ MPa (sin aditivo) .....	48
<b>Tabla 4. 13.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas $f'c = 21$ MPa (con aditivo).....	48
<b>Tabla 4. 14.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas $f'c = 30$ MPa (sin aditivo) .....	48
<b>Tabla 4. 15.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas $f'c = 30$ MPa (con aditivo).....	49
<b>Tabla 4. 16.</b> Valores de resistencia proyectados y error absoluto después de usar la Ecuación (2), en conjunto con resultados de los ensayos en compresión de probetas preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 21 , 24 y 30 MPa. ....	53
<b>Tabla 4. 17.</b> Valores de resistencia proyectados y error absoluto después de usar la Ecuación (2), en conjunto con resultados de los ensayos en compresión de probetas preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 21 , 24 y 30 MPa. (Con aditivo) .....	54

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 4. 1.</b> Granulometría del árido fino utilizada en la elaboración de probetas cilíndricas bajo requisitos de los límites granulométricos según ASTM C 33 .....	40
<b>Gráfica 4. 2.</b> Granulometría del árido grueso utilizada en la elaboración de probetas cilíndricas bajo requisitos de los límites granulométricos según ASTM C 33.....	42
<b>Gráfica 4. 3.</b> Relación agua/cemento vs. Resistencia en compresión .....	49
<b>Gráfica 4. 4.</b> Modelo que mejor se ajusta a datos de la resistencia en compresión de 240 probetas de concretos sin aditivo, preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 24 MPa. ....	51
<b>Gráfica 4. 5.</b> Modelo que mejor se ajusta a datos de la resistencia en compresión de 240 probetas de concretos con aditivo, preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 24 MPa. ....	52
<b>Gráfica 4. 6.</b> Error absoluto de comprobación del modelo estadístico (sin aditivo) .....	53
<b>Gráfica 4. 7.</b> Error absoluto de comprobación del modelo estadístico (con aditivo).....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1.</b> Cemento Portland tipo HE .....	10
<b>Figura 2. 2.</b> Árido grueso .....	11
<b>Figura 2. 3.</b> Árido fino.....	12
<b>Figura 2. 4.</b> Aditivo plastificante .....	14
<b>Figura 3. 1.</b> Tamizado del árido fino – Tamiz abertura 4.75 mm (No.4) .....	25
<b>Figura 3. 2.</b> Árido fino pasante de tamiz 4.75 mm (No. 4). .....	25
<b>Figura 3. 3.</b> Transporte de material .....	27
<b>Figura Anexo 9. 1</b> Recolección manual de árido grueso.....	92
<b>Figura Anexo 9. 2</b> Transporte de árido grueso .....	92
<b>Figura Anexo 9. 3</b> Árido fino descargado para ser ingresado a lugar de acopio. ....	93
<b>Figura Anexo 9. 4</b> Árido grueso luego del proceso de lavado.....	93
<b>Figura Anexo 9. 5</b> Árido fino y grueso en lugar de acopio .....	94
<b>Figura Anexo 9. 6</b> Ensayos a árido fino .....	94
<b>Figura Anexo 9. 7</b> Materiales y equipos para realizar la mezcla de concreto.....	95
<b>Figura Anexo 9. 8</b> Mezcla de concreto para hacer 8 especímenes cilíndricos.....	95
<b>Figura Anexo 9. 9</b> Ensayo de asentamiento .....	96
<b>Figura Anexo 9. 10</b> Molde sobre cama de arena para evitar desniveles en el espécimen. .	96
<b>Figura Anexo 9. 11</b> Especímenes de concreto con y sin aditivo.....	97
<b>Figura Anexo 9. 12</b> Especímenes colocados en fuente de curado .....	97
<b>Figura Anexo 9. 13</b> Especímenes a ser ensayados a compresión.....	98
<b>Figura Anexo 9. 14</b> Falla tipo 3. - <b>Figura Anexo 9. 15</b> Especímenes ensayados.....	98

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal encontrar un modelo estadístico que será representado por una determinada ecuación empírica, que permita proyectar la resistencia en compresión que desplegaran a los 28 días probetas cilíndricas elaboradas con cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE.

El aporte principal de este modelo estadístico radica, en la predicción de la resistencia en compresión a diferentes edades de fraguado, con especial énfasis a los 28 días, obviando el proceso de elaboración de probetas cilíndricas en obra, las cuales serían ensayadas a diferentes edades y por ende el ahorro del tiempo que se necesita para realizar este procedimiento.

**PALABRAS CLAVE:** concreto, modelo estadístico, probetas cilíndricas, resistencia a la compresión, predicción de carga, cemento tipo HE.



## **ABSTRACT**

The present research has as main objective to find a statistical model that will be represented by a particular equation, allowing the project to deploy compressive strength at 28 days cylindrical specimens made from structural high early strength cement type HE.

The main contribution of this statistical model lies in the accuracy for predicting the compressive strength at different ages setting, focusing at 28 days, ignoring the process of making cylindrical specimens in work, which would be tested at different ages and thus saving the time required to perform this procedure.

**Keywords:** Concrete, statistical model, cylindrical samples, compressive strength, load forecasting, HE type cement.

## INTRODUCCIÓN

En la provincia de Loja el campo de la construcción ha venido evolucionando gracias a nuevas técnicas y maquinaria de construcción, dejando de lado, en la mayoría de los casos técnicas de construcción rudimentarias que generan elementos estructurales no eficientes, además, dependerá de la calidad de los materiales. Estas nuevas técnicas y maquinaria para la elaboración, transporte y colocación del concreto brindan mayor certeza de un buen desempeño global de las estructuras. De esta manera los diseños cumplen cada vez mejor lo dispuesto en las normativas para la construcción, lo que resulta beneficioso ya que los diseñadores se basan en funciones, gráficas, tablas, e hipótesis expuestas en dichas normativas. Se debe tener en cuenta que estas normas están diseñadas para condiciones específicas según la región a la cual corresponden. Las condiciones a las que se hace referencia pueden ser, entre otras, la calidad y marca de los materiales cementantes, las técnicas de procesos constructivos y la variabilidad de las propiedades mecánicas de los áridos. Por lo antes mencionado, es necesario confirmar y calibrar, funciones, tablas y gráficas para las condiciones de la región en la cual serán aplicadas.

Una de las propiedades fundamentales del concreto es su resistencia en compresión, la cual constituye un parámetro clave al momento de realizar diseños estructurales, su determinación y predicción exacta conlleva a procedimientos que requieren la elaboración de probetas cilíndricas para ser ensayadas a los 28 días. Con el propósito de obviar el tiempo de espera, se propone la definición de funciones que permitan estimar la resistencia del concreto a los 28 días.

Para esta investigación, se elaboró un lote de probetas cilíndricas ensayadas en compresión, lo que permitió encontrar el modelo estadístico que mejor se ajusta a los datos obtenidos, generando gráficas y funciones que proyectan la resistencia del concreto a los 28 días de fraguado. Además se presenta una gráfica y su función que, permiten tomar un valor inicial de la relación agua/cemento para dosificar mezclas de concreto en un rango de 20 a 40 MPa a la compresión.

Por lo antes expuesto, se justifica la relevancia de esta investigación, misma que, proporcionara datos referentes a la realidad, en cuanto a condiciones de materiales y procesos de construcción.

El informe de la presente investigación consta de IV capítulos, los cuales se describen brevemente a continuación: capítulo I - generalidades, donde se plantean los objetivos del proyecto y la justificación del mismo, capítulo II - marco teórico, contiene los argumentos teóricos necesarios para fundamentar y asimilar todo lo concerniente a la investigación,

capítulo III – metodología, consta de normativas y procedimientos utilizados tanto en la parte práctica como en el análisis de resultados, y capítulo IV - análisis de resultados, en donde mediante un modelo estadístico, se procesa la base de resultados alcanzando de esta manera lo planteado en los objetivos.

Para definir las funciones que permiten predecir la resistencia en compresión, se prepararon cinco muestras con tres replicas y con diferentes contenidos de agua/cemento para encontrar dosificaciones de 21, 24 y 30 MPa. Tomando la dosificación de 24 MPa se prepararon 240 probetas sin aditivo y 240 con la misma dosificación pero con la inclusión de aditivo, a estas probetas se realizó el ensayo en compresión a diferentes tiempos de fraguado para luego encontrar el modelo estadístico que mejor se ajuste a los datos. Finalmente se dedujo las funciones para proyectar a 28 días la resistencia en compresión cuando se dosifique concretos con aditivo y sin aditivo (aditivo plastificante) y se verifico su efectividad en 64 probetas preparadas para 21 y 30 MPa.

Cumpliendo con lo planteado en los objetivos, se presentan dos funciones generales: La primera, permite estimar la resistencia del concreto a los 28 días en función a la relación agua cemento, y la segunda, estimar la resistencia del concreto a los 28 días según su edad de curado. Las normas aplicadas para realizar el trabajo de laboratorio fueron: NTE INEN, ASTM, ACI.

**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES**

## **1.1. Justificación**

Como es de pleno conocimiento, una de las principales desventajas del concreto radica en el tiempo de espera que se requiere para que un elemento entre en funcionamiento (comúnmente 28 días), sin embargo, es precisamente éste, el factor decisivo en la entrega de un proyecto, razón por la cual los elementos que forman parte de una obra son prematuramente solicitados. Este hecho no representa un problema, sin embargo, para que esta práctica sea técnicamente justificada se requiere cierta seguridad de la resistencia de los elementos a las edades que son sometidos a carga, para lo cual se presentan dos alternativas: la primera, se debería disponer de cilindros para ser ensayados en la fecha exacta que se solicita, lo que exige tener gran cantidad de ellos en obra; la segunda, sería disponer de funciones fiables que permitan predecir con certeza la resistencia del concreto. Otra ventaja de tener funciones de relación resistencia – edad, es contar con una herramienta que permita proyectar adecuadamente la resistencia de diseño con probetas probadas a edades iniciales, permitiendo hacer correcciones a tiempo de los diseños de mezclas dentro de la obra.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general.**

Definir funciones que permitan estimar la resistencia a la compresión a los 28 días, en base a ensayos de resistencia en compresión a edades tempranas, con probetas cilíndricas elaboradas con cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Encontrar un modelo estadístico que permita estimar la relación agua/cemento inicial para el diseño de mezcla cuando se use cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE.
- Encontrar la dosificación óptima para un concreto de 21, 24 y 30 MPa, con áridos disponibles en la ciudad de Loja.
- Incluir aditivo plastificante a las dosificaciones de 21, 24, y 30 MPa para una posterior comparación entre dosificaciones con y sin la inclusión de este aditivo.

## **1.3. Antecedentes**

La prueba estándar destructiva de compresión uniaxial, para determinar la resistencia en compresión a los 28 días de edad del concreto (NTE INEN 1537), es ampliamente utilizada y brinda resultados con un excelente porcentaje de confiabilidad. Dado que en la práctica industrial y constructiva 28 días es un periodo de espera muy largo, la determinación de manera más rápida de la resistencia en compresión del concreto ha sido un objeto preferido de estudio de diversas investigaciones, incluyendo a la presente.

Existen varias maneras para medir la resistencia a la compresión del concreto, como técnicas destructivas regidas por procedimientos normalizados, mismos que requieren la espera de un periodo largo de tiempo (28 días). Por otro lado, existen métodos más rápidos e igual de fiables para la determinación o predicción de la resistencia en compresión del concreto. Tales como:

- Métodos de ensayo de resistencia acelerada.
- Modelos estadísticos adecuados que correlacionen la resistencia del concreto en compresión con diversas variables que afectan a dicha resistencia.

En la actualidad, estos métodos son ampliamente estudiados y motivo de diversas investigaciones.

En el *Laboratorio de Química Inorgánica y Química Analítica*, de la *Universidad Técnica Nacional de Atenas*, se ha desarrollado un modelo matemático para la predicción de la resistencia en compresión del concreto basado en tres series de datos relativos: 1) la síntesis de la química y mineralogía del cemento, 2) los parámetros de distribución del tamaño de partículas del cemento y 3) la distribución de material en fracciones de tamaño característico. En esta investigación se ha definido un modelo matemático para la predicción de la resistencia en compresión del concreto para 2, 7 y 28 días de edad, luego este modelo fue comprobado utilizando las diferencias entre la resistencia medida directamente en el concreto y la predicción de resistencia, utilizando los modelos matemáticos, lo cual dio como resultado errores absolutos de 1.26, 1.61, y 4.83 N/mm<sup>2</sup> para las edades de 2, 7, y 28 días de edad, respectivamente. Del estudio realizado en la *Universidad Técnica Nacional de Atenas*, los investigadores concluyeron que el modelo propuesto predice la resistencia del concreto con una precisión satisfactoria, también se definió que a edades tempranas la resistencia se ve afectada, principalmente, por los parámetros de finura del cemento mientras que a edades posteriores la síntesis química – mineralógica del cemento influyen en el crecimiento de la resistencia (Universidad Técnica Nacional de Atenas, 1995)

De igual manera, Kheder, Gabban y Abid, investigadores de diferentes universidades de Irak, desarrollaron un modelo matemático capaz de predecir la resistencia en compresión del concreto a edades de 7 y 28 días, dentro de solo 24 horas; con la finalidad de ahorrar tiempo y dinero que se pierde durante un periodo de espera tan largo como es el de 28 días, para efectuar la prueba estándar destructiva de compresión uniaxial. Además, para garantizar el control de calidad, tanto para concreto producido en fábricas como para el producido en construcciones. En este estudio al igual que en el presente, se torna relevante el hecho de usar la resistencia a temprana edad para proyectar la resistencia en edades más avanzadas. Las variables utilizadas en el modelo matemático de este trabajo son:

- Los cuatro compuestos principales de cemento Portland  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  y  $C_4AF$ ).
- Finura del cemento.
- Parámetros de análisis químico ( $MgO$ ,  $SO_3$ ,  $LOI$ ,  $LSF$ ,  $IR$ ) y solidez.
- Resistencia acelerada del concreto a 1 día.
- Densidad de los cubos de mortero de resistencia acelerada.
- Velocidad de pulso ultrasónico en cubos de mortero de resistencia acelerada.

El modelo en sí produce una relación fiable entre la resistencia del concreto y sus propias características. Este estudio pudo conseguir un modelo matemático que puede predecir la resistencia en compresión del concreto con errores estandarizados de 1.887 y 1.904 MPa y coeficientes de correlación de 0.903 y 0.928, para las resistencias del concreto a edades 7 y 28, respectivamente

Las investigaciones mencionadas, están enfocadas en la obtención de un modelo matemático que envuelva o introduzca el complejo comportamiento del concreto, tomando en cuenta un sin número de variables que permitan predecir en forma confiable la resistencia en compresión del concreto.

Este trabajo de investigación persigue el mismo objetivo que los anteriores, esto es, definir un modelo matemático para predecir la resistencia en compresión del concreto de manera confiable. Las variables que se tomaron en cuenta para correlacionar fueron: 1) relación agua/cemento y 2) edad de curado estándar. Además, se utilizó el cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE y la inclusión de un aditivo plastificante ambos de marca nacional.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**



## 2.1. Materiales para concreto

### 2.1.1. Cemento

Es un material de tonalidad gris finamente pulverizado conformado fundamentalmente por silicatos de calcio y aluminio. Los materiales primarios a partir de los cuales se fabrica son calizas, arcillas y esquistos los mismos que son molidos, mezclados y fundidos en hornos obteniendo de esta forma el llamado Clinker, el cual una vez enfriado es nuevamente molido para lograr la finura requerida. También se define como un material que presenta propiedades de adherencia y cohesión necesarias para unir áridos y conformar una masa sólida producto del fraguado y endurecimiento, teniendo como resultado hormigones resistentes y durables (NILSON, 1999, pág. 28).

Para la investigación se ha utilizado el cemento tipo HE (alta resistencia inicial). “Este cemento es química y físicamente similar al cemento tipo I, a excepción de que sus partículas se muelen más finamente” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 34).



**Figura 2. 1.** Cemento Portland tipo HE  
Fuente: Los autores

### 2.1.2. Áridos.

Para concretos comunes, los áridos ocupan aproximadamente entre el 70% y el 75% del volumen de la masa endurecida. El resto está conformado por la pasta de cemento endurecida, agua no combinada (es decir, agua no utilizada en la hidratación del cemento) y vacíos de aire (NILSON, 1999, págs. 29-30).

Debido a que los áridos ocupan entre un 70% - 75% del volumen del concreto, las propiedades de los mismos tienen influencia definitiva sobre el comportamiento del concreto.

### 2.1.2.1. **Árido grueso.**

“Los áridos gruesos consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm (0.2 pulg) y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 1 ½ pulg)” (Kosmatka et al, 2004, pág. 103).

Las propiedades que presenta el árido grueso utilizado en la elaboración de las probetas cilíndricas se muestran en la Tabla 2.1.



**Figura 2. 2.** Árido grueso  
Fuente: Los autores

**Tabla 2. 1.** Propiedades del árido fino

<b>PROPIEDADES DEL ÁRIDO GRUESO</b>	
<b>TMN</b>	3/4 pulg. – 19.05 mm
<b>Densidad relativa (SH)</b>	2.59
<b>Densidad relativa (SSS)</b>	2.64
<b>Densidad relativa aparente</b>	2.72
<b>Densidad (SH)</b>	2583.36 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad (SSS)</b>	2630.69 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente</b>	2712.06 kg/m <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	1.83 %
<b>Masa unitaria (Peso volumétrico)</b>	1526.39 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Los autores  
Elaboración: Los autores

### 2.1.2.2. **Árido fino.**

“Los áridos finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada (partida, machacada, pedrejón arena de trituración) con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm (0.2 pulg)” (Kosmatka et al, 2004, pág. 103).

Uno de los parámetros primordiales del árido fino para la elaboración de hormigones es su Módulo de Finura (MF) el cual se considera como el índice de finura del árido, cuanto menor es el MF más fino es el árido. El MF es empleado para determinar la cantidad de árido fino y grueso en el concreto. Según ASTM C 33, COVENIN 277, IRAM 1501 (parte II), NMX-C-111 y NTC 174, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El árido fino no debe contener más del 45 % de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados consecutivos.
- El módulo de finura debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1
- La serie especificada de tamices para determinar el MF es: 150  $\mu\text{m}$  (No. 100), 300  $\mu\text{m}$  (No. 50), 600  $\mu\text{m}$  (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4).

Las propiedades que presenta el árido fino utilizado en la elaboración de las probetas cilíndricas se muestran en la Tabla 2.2.



**Figura 2. 3.** Árido fino  
Fuente: Los autores

**Tabla 2. 2.** Propiedades del árido fino

PROPIEDADES DEL ÁRIDO FINO	
<b>MF</b>	2.7
<b>Densidad relativa (SH)</b>	2.50
<b>Densidad relativa (SSS)</b>	2.56
<b>Densidad relativa aparente</b>	2.66
<b>Densidad (SH)</b>	2490.05 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad (SSS)</b>	2552.38 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente</b>	2656.01 kg/m <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	2.50 %

Fuente: Los autores  
Elaboración: Los autores

### **2.1.2.3. Granulometría de árido fino y grueso.**

Los parámetros importantes que se determinan a partir del ensayo de granulometría son el módulo de finura (MF) y el tamaño máximo nominal (TMN), ya que son utilizados al momento de realizar el diseño de cualquier mezcla de concreto.

El MF es útil al estimar las proporciones de árido fino y grueso en el concreto. Un ejemplo de cómo se determina el MF del agregado fino (análisis granulométrico asumido) se presenta en la Tabla 5-4 libro PCA

En el árido grueso se toma en cuenta el TMN el cual influye en la economía del concreto, normalmente, se requiere más agua y cemento en concretos con áridos gruesos de tamaño máximo menor si es comparado con áridos de tamaño máximo mayor, debido al aumento del área superficial total de árido (Kosmatka et al, 2004, pág. 109).

### **2.1.3. Agua.**

El agua recomendada a ser utilizada en la elaboración de hormigones puede ser cualquiera proveniente de fuentes naturales. En caso de ser necesario debe contar con un tratamiento de potabilización previo, ya que el exceso de impurezas en el agua de mezclado no solo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también, puede causar eflorescencias, manchado, corrosión de refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad.

Al emplear aguas de dudosa procedencia, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis, y sólidos en el agua de mezcla.

### **2.1.4. Aditivo.**

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los áridos, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

- Reducción del costo de la construcción y fabricación del concreto.
- Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
- Mantenimiento de la calidad del concreto durante las etapas del mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso.
- Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se lo puede utilizar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción (Kosmatka et al, 2004, pág. 135).

Para la elaboración de las probetas con la inclusión de aditivo, se ha trabajado con un plastificante reductor de agua para concreto que cumple con los requerimientos de la Norma ASTM C-494, formulado a base de polímeros hidroxilados. Uno de los beneficios más importantes del aditivo y considerado en la investigación es que permite la reducción en un 10% – 20 % en la cantidad de agua, ahorrando de esta manera material cementante y logrando hormigones fluidos y altas resistencias a todas las edades.



**Figura 2. 4.** Aditivo plastificante  
Fuente: Los autores

## 2.2. Concreto

Es un material compuesto por árido grueso, árido fino, cemento y agua mezclados de manera adecuada ya sea manual o mecánicamente, en donde la relación entre el agua y el cemento ( $A/C$ ) rige en la resistencia mecánica que puede alcanzar el concreto, tomando en cuenta que dicha resistencia dependerá también de la calidad de cada uno de los materiales y el proceso de elaboración, transporte, colado y curado del concreto. Las cantidades del proporcionamiento varían principalmente por requerimientos de resistencia (compresión o flexión), además de otras propiedades como la durabilidad, permeabilidad, y resistencia al desgaste.

El concreto es un material de construcción de fácil obtención y elaboración, de igual manera resulta muy económico en relación a otros materiales y junto con el acero de refuerzo, que, con su alta ductilidad y resistencia a la compresión como a la flexión, son capaces de lograr con un buen diseño estructuras altamente eficientes.

Los hormigones utilizados en la presente investigación han sido de 21, 24, y 30 MPa de resistencia a la compresión, pero cabe mencionar que se elaboraron hormigones en los cuales se incluyó un aditivo plastificante, los mismos que presentaron un aumento en su resistencia de aproximadamente 10 MPa.

### **2.2.1. Diseño y dosificación.**

Existen una gran cantidad de métodos empíricos de diseño de mezclas para obtener concreto con características específicas, sin embargo, todos estos métodos deben ser tomados solamente como referenciales, pues siempre requieren de pruebas de laboratorio para su afinamiento. Para el estudio se ha elegido el método propuesto por el PCA – Método Volumétrico, el mismo que se especifica en el *Capítulo III* numeral 3.3.1. *Dosificación (Método Volumétrico)* del presente trabajo investigativo.

El diseño de la mezcla es el proceso de determinación de las características del concreto que pueden incluir propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas del concreto endurecido y la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos. La especificación del concreto depende del diseño de la mezcla (Kosmatka et al, 2004, pág. 185).

“La dosificación es el proceso de medida, por masa o por volumen de los ingredientes del concreto y su introducción en la mezcladora. Para producir un concreto con calidad uniforme, los ingredientes se deben medir con precisión para cada amasada” (Kosmatka et al, 2004, pág. 217).

### **2.2.2. Relación agua/cemento (A/C).**

La relación agua/cemento o agua/material cementante resulta de dividir la masa del agua para la masa del cemento, las cuales son cantidades previamente determinadas en el proceso de dosificación. La relación (A/C) es inversamente proporcional a la resistencia del concreto, es decir, mientras menor sea el valor de (A/C) mayor será la resistencia. La relación agua/cemento es un parámetro muy influyente en la resistencia del concreto.

La relación agua/cemento debe ser tan baja como sea posible, teniendo en cuenta que debe permitir una adecuada trabajabilidad y compactación del concreto y que debe evitarse, el fenómeno de la segregación de los áridos gruesos. A veces, para conseguir estas características, es necesario utilizar mayor cantidad de cemento de la estrictamente necesaria, o emplear aditivos adecuados.

### **2.2.3. Asentamiento.**

Se define al asentamiento como el método de ensayo que se realiza al concreto en estado fresco y que presente cohesión, mediante el cual se determina su consistencia, trabajabilidad, plasticidad y de manera indirecta su resistencia futura.

Se ha determinado que por lo regular, en condiciones de laboratorio y con un estricto control de todos los materiales del concreto, el asentamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en una mezcla dada de concreto y por tanto es inversamente proporcional a la resistencia del concreto, sin embargo, en condiciones de campo, dicha relación con la resistencia no se aprecia en forma clara o de manera consistente.

#### **2.2.3.1. Determinación del asentamiento (NTE INEN 1578)**

Una muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de cono truncado conocido como cono de abrams, el cual es previamente humedecido, para luego ser colocado sobre una superficie plana (nivelada), rígida, húmeda y no absorbente. El operador debe sostener firmemente el molde en su lugar durante el llenado y la limpieza del perímetro, parándose sobre los dos estribos inferiores del cono de abrams.

El molde es llenado en tres capas, el primer tercio del molde se llena a una altura de 70 mm, el segundo tercio del volumen se llena a 160 mm medidos desde la base y la capa superior debe ser llenada con un excedente de concreto sobre la parte superior del molde. Cada capa tiene que ser compactada con 25 golpes utilizando la varilla de compactación. Una vez completas las tres capas y retirado el concreto caído en la base del molde se retira de inmediato y cuidadosamente el cono en dirección vertical en un periodo de  $5 \pm 2$  s con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales o de torsión. Todo este ensayo del llenado hasta la remoción del molde debe realizarse dentro de un periodo de 2.5 minutos. Por último se mide el asentamiento entre la diferencia de la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen y se procede a registrar los resultados obtenidos.

Los equipos utilizados en cada uno de los ensayos de asentamiento realizados cumplieron con los requerimientos dispuestos en la NTE INEN1578, así también, cada uno de los procedimientos ejecutados estuvieron bajo lo dispuesto en dicha norma.

El Anexo 5 detalla el procedimiento de este ensayo al concreto en estado fresco.

#### 2.2.4. Elaboración de probetas cilíndricas.

Determinadas las características físicas del concreto fresco, inmediatamente se procede con la elaboración de las probetas cilíndricas siguiendo procedimientos normalizados. Los equipos a utilizar en la elaboración de probetas cilíndricas son los que se presentan a continuación, mismos que deben cumplir con los requisitos dispuestos en la NTE INEN 1576:

- a) Moldes para probetas cilíndricas. Los moldes para la elaboración de probetas cilíndricas para ensayo de concreto deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 740. En el presente estudio se han utilizado las probetas estándar de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura.
- b) Varilla de compactación. Debe ser de acero, recta, lisa y de sección circular cuyo diámetro debe cumplir con los requisitos de la Tabla 2.3. Su longitud debe ser mínimo 100 mm mayor que la altura del molde en el cual se realizará la compactación.

**Tabla 2. 3.** Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.

Diámetro del cilindro o ancho de la viga (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
< 150	10 ± 2
≥ 150	16 ± 2

Fuente: NTE INEN 1576 – Tabla 1. Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.  
Elaboración: Los autores.

- c) Mazo. Debe tener cabeza de caucho, con una masa de 0.6 kg ± 0.2 kg.
- d) Herramientas de colocación. Debe ser lo suficientemente grande para que cada cantidad de concreto obtenida del lote sea representativa y debe ser también lo suficientemente pequeña para no derramar el concreto durante la colocación en el molde.
- e) Herramientas para el terminado. Puede ser una llana o una paleta.

La elaboración de las probetas cilíndricas debe realizarse sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones. Una vez establecido el lugar de moldeo de las probetas cilíndricas se procede a seleccionar el método de compactación según la Tabla 2.4.



**Tabla 2. 4.** Requisitos para determinar el método de compactación.

Asentamiento (mm)	Método de compactación
≥ 25	Varillado o vibración
< 25	Vibración

Fuente: NTE INEN 1576 – Tabla 1. Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.  
Elaboración: Los autores.

En el presente estudio el método de compactación por varillado ha sido el empleado para la elaboración de las probetas cilíndricas, debido a que en las condiciones de dosificación de la mezcla del concreto se estableció un asentamiento de 25 mm. Este valor de asentamiento ha sido medido en cada amasada dando como resultado valores iguales y mayores a 25 mm, mismos que, se encuentran dentro del rango permisible que se ha estipulado en las condiciones para el proporcionamiento de la mezcla. Ya que el método de compactación es por varillado de la Tabla 2.5 determinar los requisitos para el moldeo.

**Tabla 2. 5.** Requisitos para el moldeo mediante varillado.

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas de aproximadamente igual altura	Número de golpes con la varilla por capa
<b>Cilindros:</b>		
<b>Diámetro (mm)</b>		
<b>100</b>	2	25
<b>150</b>	3	25
<b>225</b>	4	50
<b>Vigas:</b>		
<b>Ancho (mm)</b>		
<b>De 150 a 200</b>	2	Ver numeral 5.6.3 NTE INEN 1576
<b>&gt; 200</b>	3 o más capas de igual altura, cada una no debe exceder de 150 mm	Ver numeral 5.6.3 NTE INEN 1576

Fuente: NTE INEN 1576 – Tabla 1. Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.  
Elaboración: Los autores.

Definidos estos parámetros se procede con el moldeo de las probetas cilíndricas de concreto siguiendo los procedimientos dispuestos en la NTE INEN 1576. El proceso de moldeo de las probetas cilíndricas se presenta detallado en el Anexo 6

### **2.2.5. Fraguado y endurecimiento.**

Luego de haber mezclado en un orden especificado cada uno de los constituyentes del concreto, este procede a ser transportado y colocado en las formaletas o cimbras de los diferentes elementos estructurales para los cuales se elaboró.

Una vez mezclados el cemento con el agua se forma una pasta suave, la misma que se rigidiza gradualmente hasta conformar una masa sólida que junto con los áridos constituyen el concreto (esta etapa se conoce como fraguado y endurecimiento). Se dice que el cemento ha fraguado cuando ha ganado suficiente rigidez para resistir una presión arbitrariamente definida, punto a partir del cual continúa endureciéndose y por ende ganando resistencia (NILSON, 1999, pág. 29).

### **2.2.6. Curado.**

El curado consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto para que pueda desarrollar propiedades mecánicas, de servicio y durabilidad deseadas.

La resistencia del concreto depende de varios factores como son la calidad de sus materiales, del proceso de elaboración, su transporte y colado. Estos procedimientos se encuentran estandarizados en normas tales como: NTE INEN 1576, ASTM C-31, donde el cumplimiento de las mismas da como resultado hormigones de buena calidad. Ahora bien, cabe mencionar que todos estos procedimientos no servirán de mucho si no se complementa con un buen proceso o etapa de curado del concreto, el cual se encuentra especificado para cada tipo de elementos estructurales y condiciones climáticas.

Según (Kosmatka et al, 2004, pág. 261), el curado es la mantención de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto. El curado tiene una fuerte influencia sobre las propiedades del concreto endurecido las cuales son:

- Durabilidad
- Resistencia
- Impermeabilidad
- Resistencia a la abrasión
- Estabilidad dimensional<sup>1</sup>
- Resistencia a congelación y a descongelantes.

---

<sup>1</sup> Estabilidad dimensional: propiedad que tienen ciertos materiales que al ser sometidos a cambios de temperatura y humedad no pierden su forma y mantienen sus dimensiones originales.

Existen varios tipos de curado para concreto donde cada uno de ellos está acorde a fines específicos regidos por condiciones climáticas y la forma que presenta el elemento estructural. Para esta investigación el curado que se ha dado a las probetas cilíndricas ha sido por inmersión total en agua con temperaturas en un rango de 20 ° C – 24 ° C.

#### **2.2.6.1. Procedimiento para el curado de probetas cilíndricas.**

Luego del moldeo de las probetas cilíndricas el siguiente paso es proceder con el curado de las mismas. A las probetas cilíndricas se las ha dejado fraguar y endurecer durante un período de  $24 \pm 4$  horas, inmediatamente se inicia con el proceso de desmolde, el cual debe realizarse con mucha precaución, evitando que las probetas sufran impactos fuertes en su integridad, con la finalidad de que las probetas cilíndricas al momento de ser ensayadas a compresión su resultado este acorde a lo esperado.

Cada probeta desmoldada era identificada y colocada de inmediato en el estanque, iniciando así su etapa de curado. Este estanque contaba de dos bandejas metálicas de dimensiones apropiadas y reforzadas para soportar el empuje del agua.

Cada día la temperatura del agua fue monitoreada, determinando una temperatura promedio a partir de tres lecturas tomas en el día. Con estos datos de temperatura se llegó a concluir que la temperatura del agua para el curado de las probetas cilíndricas estuvo dentro de un rango de 20°C - 26°C.

El proceso descrito sobre el método de curado por inmersión elegido para las probetas cilíndricas se encuentra detallado en el Anexo 7.

#### **2.2.7. Resistencia a la compresión.**

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que, cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que se emplea para diseñar obras de ingeniería civil.

La resistencia en compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayo. Dicha resistencia se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en mega-pascales (MPa) en unidades SI (IMCYC, 2006, pág. 20).

Considerando lo expuesto en ACI 318 – 08, menciona que un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 x 300 mm o de al menos tres probetas de 100 x 200 mm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de  $f'c$ . De las

consideraciones mencionadas se optó por realizar el promedio de resistencias de dos probetas de 150 x 300 mm.

### **2.2.7.1. Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto de cemento hidráulico (NTE INEN 1573)**

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a las probetas cilíndricas de concreto a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla de la probeta cilíndrica. La resistencia en compresión de una probeta cilíndrica se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal de la probeta cilíndrica. El equipo utilizado para el ensayo en compresión de las probetas cilíndricas debe cumplir con lo dispuesto en la NTE INEN 1573.

Antes de proceder a colocar las probetas cilíndricas en la máquina para ser ensayadas en compresión, las probetas deben pasar por un procedimiento de preparación, el cual consiste en:

- a) La medición de alturas, diámetros y el peso de cada probeta cilíndrica a ser ensayada.
- b) Antes de colocar las probetas en la máquina, se debe verificar que sus caras sean paralelas entre sí, sus extremos deben ser planos dentro de 0.050 mm, caso contrario deben ser cortados o limados para cumplir esta tolerancia.
- c) Los extremos de las probetas a ensayar no deben apartarse de la perpendicular a los ejes en más de 0.5° (aproximadamente equivalente 1 mm en 100 mm). En nuestro caso, esta tolerancia sería de 3 mm.

Realizado todo este procedimiento las probetas son colocadas en la máquina. Este procedimiento se lo realiza bajo lo dispuesto en el numeral 4.4.4 *Colocación del espécimen* de la NTE INEN 1573. Se procede a aplicar la carga de ensayo hasta que el indicador de carga muestre que está decreciendo constantemente y la probeta muestre un patrón de fractura bien definido. Cabe mencionar que la máquina utilizada en esta investigación cuenta con un dispositivo automático que indica al operador el momento en cual la probeta ha llegado a su carga última.

Mediante ecuación (a) se calcula la resistencia en compresión de la probeta cilíndrica con una precisión de 0.1 MPa dividiendo la carga máxima soportada por la probeta durante el ensayo, para el área de la sección transversal de la probeta.

$$f'_c = \frac{P \times 1000}{A} \quad \text{ecuación (a)}$$

Donde:

$f'_c$  = Resistencia a la compresión de la probeta cilíndrica en MPa, con precisión a 0.1 MPa.

$P$  = Carga axial máxima aplicada en N.

$A$  = Área de la sección transversal en mm<sup>2</sup>.

Adicional al valor de la resistencia a la compresión se debe reportar el número de identificación de la probeta cilíndrica, su edad, tipo de fractura y defectos en la probeta en caso de haberlos.

La precisión dentro del ensayo para probetas de 150x300 mm la proporciona la Tabla 2.6. Donde tendríamos un coeficiente de variación de 2.4% y un rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales del 6.6%.

**Tabla 2. 6.** Precisión dentro del ensayo.

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales	
		2 cilindros	3 cilindros
<b>Cilindros de 150 por 300 mm</b>			
<b>Condiciones de laboratorio</b>	2,4%	6,6%	7,8%
<b>Condiciones de campo</b>	2,9%	8,0%	9,5%
<b>Cilindros de 100 por 200 mm</b>			
<b>Condiciones de laboratorio</b>	3,2%	9,0%	10,6%

Fuente: NTE INEN 1573 – Tabla 4. Precisión dentro del ensayo.  
Elaboración: Los autores

El procedimiento descrito en base a lo dispuesto en la NTE INEN 1573 se encuentra detallado en el Anexo 8, de igual forma se presenta el formato utilizado para el registro de los datos y resultados obtenidos.



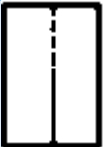




### 2.2.8. Tipos de falla.

Debido a la heterogeneidad del concreto, la *retracción por sedimentación*<sup>2</sup> no se produce de manera uniforme, lo que ocasiona asentamientos que dan como resultado superficies no paralelas entre sí, debido a esto la carga no se distribuye uniformemente sobre toda la superficie del espécimen, dando como resultado diferentes tipos de fallas al momento de su ruptura.

<sup>2</sup> Retracción por sedimentación: cuando la superficie endurecida es un poco más baja que la superficie recién colocada debido al sangrado o exudación.

La Tabla 2.7 detalla los diferentes tipos de fallas que se pueden producir en la ruptura de probetas cilíndricas.

**Tabla 2. 7.** Tipos de falla

TIPOS DE FALLA	
	1. Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.
	2. Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en límite de tolerancia especificada o excediendo esta.
	3. Se observa en probetas que presentan una superficie de carga convexa y/o deficiencia del material de cabeceo: también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.
	4. Se observa en probetas que presentan una cara de aplicación cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.
	5. Se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga, por deficiencias en el material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.
	6. Se observa en probetas que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.
	7. Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias de paralelismo establecidas, o por ligeras desviaciones en el centro del espécimen para la aplicación de carga.

Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO.  
Elaboración: Los autores.

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA**

### 3.1. Obtención y homogeneización de áridos

Como es de conocimiento la calidad de un concreto depende de dos factores como son: 1) los procesos constructivos mismos que se encuentran especificados en normativas y 2) las propiedades mecánicas de sus componentes, teniendo en cuenta que el cemento, agua y aditivos cumplen con normativas acordes al medio en el cual serán comercializados, garantizando de esta manera su homogeneidad y características aceptables para el diseño del concreto. Esto no se evidencia en los áridos, puesto que, en la mayoría de los casos son extraídos de sus yacimientos o canteras y utilizados directamente en la fabricación de obras de concreto sin pasar por un control de calidad adecuado que garantice que sus propiedades cumplan con requerimientos estipulados en normativas. Por esta razón, los áridos utilizados en la elaboración de las probetas cilíndricas fueron seleccionados y homogeneizados para lograr un comportamiento semejante en cada dosificación y así contar con un mismo material en todas las probetas cilíndricas.

Se tamizó el árido fino utilizando la abertura de 4.75 mm perteneciente al tamiz No. 4 (Ver Figura 3.1.), dando como resultado un módulo de finura de 2.7 en el material pasante, el cual está dentro del rango especificado en PCA. Se tamizado un volumen de aproximadamente 3 m<sup>3</sup> obteniendo un 70% de material pasante (Ver Figura 3.2.), el cual fue utilizado en la fabricación de las probetas cilíndricas, como para los ensayos del árido fino necesarios para el diseño de una mezcla de concreto.



**Figura 3. 1.** Tamizado del árido fino – Tamiz abertura 4.75 mm (No.4)  
Fuente: Los autores.



**Figura 3. 2.** Árido fino pasante de tamiz 4.75 mm (No. 4).  
Fuente: Los autores.

El árido grueso a ser utilizado en la etapa de laboratorio de la investigación, presentaba una excesiva capa de polvo la cual no dejaba que la pasta de concreto se adhiriera de manera adecuada al árido grueso lo que impide una buena transmisión de esfuerzos, entre la pasta y sus componentes minerales, dando como resultado probetas de mala calidad con resistencias a la compresión que no alcanzan la resistencia especificada en el diseño del



concreto. Por tal motivo se sometió al árido grueso a un proceso de lavado obteniendo un volumen de 3.5 m<sup>3</sup> de los cuales se utilizó un 20%. Solucionando de esta manera el problema antes mencionado.

### 3.2. Ensayo de áridos

Una vez seleccionados los áridos, se realizaron los análisis necesarios para caracterizar sus propiedades físicas. En la Tabla 3.1 se muestran las pruebas de laboratorio realizadas y las normas seguidas.

**Tabla 3. 1.** Ensayos y normas establecidos para los áridos

ENSAYOS Y NORMAS ESTABLECIDOS PARA LOS ÁRIDOS	
ENSAYO	NORMA
<b>Muestreo</b>	NTE INEN 695 – APÉNDICE W
<b>Análisis granulométrico – áridos fino y grueso</b>	NTE INEN 696
<b>Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino</b>	NTE INEN 856
<b>Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso</b>	NTE INEN 857
<b>Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos</b>	NTE INEN 858

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

#### 3.2.1. Muestreo

Para el muestreo y obtención de los áridos necesarios para el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta las recomendaciones de la NTE INEN 695 – APÉNDICE W, el cual describe los requerimientos a seguir cuando se desea realizar la obtención de árido grueso como fino desde una pila.

En el muestreo de material desde una pila es muy difícil asegurar muestras sin desviación, debido a la segregación que se produce frecuentemente cuando el material está en la pila con las partículas más gruesas rodando hacia fuera de la base. Para árido grueso o mezcla de áridos grueso y fino, se debe hacer todos los esfuerzos necesarios para obtener los servicios de equipos mecánicos para preparar una pequeña pila de muestreo separada, compuesta de materiales extraídos desde distintos niveles y ubicaciones de la pila principal,

luego se pueden combinar varias porciones para componer la muestra in-situ (NTE INEN 695, 2010, pág. 5).



**Figura 3. 3.** Transporte de material

### **3.2.2. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso (NTE INEN 696)**

Las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas (NTE INEN 696, 2010, pág. 1).

La norma ASTM C 33 permite un rango relativamente amplio en la granulometría del árido fino, es decir, que el árido fino tiene solamente un rango de tamaños de partículas para la construcción en general. Este rango está definido por siete tamices normalizados que varían según la norma ASTM C 33, de 150  $\mu\text{m}$  a 9.5 mm (Tamiz No. 100 a  $\frac{3}{8}$  pulg.).

Los requisitos de granulometría del agregado grueso de la norma ASTM C 33, de igual manera permiten límites amplios en la granulometría pero presenta una gran variedad de tamaños granulométricos. La norma ASTM C 33 lista 13 números de tamaño granulométrico los cuales son definidos a partir de 13 tamices estándar, con aberturas que varían de 1.18 mm a 100 mm (0.046 pulg. a 4 pulg.)

Los equipos utilizados, el muestreo del árido fino y grueso, el procedimiento a seguir del ensayo, la precisión y desviación de los cálculos están bajo lo dispuesto en la NTE INEN 696.

### **3.2.3. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino (NTE INEN 856)**

Estos parámetros de densidad son determinados para definir en el proceso de dosificación y proporcionamiento las cantidades en masa (kg) y el volumen que este representa (m<sup>3</sup>) el árido grueso para la fabricación de 1 m<sup>3</sup> de concreto. Por otro lado, la absorción del árido es utilizada para realizar correcciones en la masa del agua. Seguidamente, se presenta un resumen del procedimiento a seguir para definir estos parámetros según la NTE INEN 857.

Se sumerge en agua por  $24 \pm 4$  h, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina su masa. Luego, se coloca la muestra (o parte de esta) en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico según NTE INEN 856; finalmente, la muestra se seca al horno y se determina nuevamente su masa (NTE INEN 856, 2010, pág. 3).

Haciendo uso de los parámetros obtenidos experimentalmente en laboratorio y mediante las fórmulas de este método de ensayo, se calcula la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido fino. Los resultados obtenidos se muestran en el *Capítulo IV* numeral 4.2. *Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. El proceso de cálculo realizado se presenta en el Anexo 1.

Los equipos utilizados, el muestreo y preparación de la muestra de ensayo, el procedimiento a seguir del ensayo (Procedimiento gravimétrico - picnómetro), la precisión y desviación de los cálculos están bajo lo dispuesto en la NTE INEN 856.

### **3.2.4. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso (NTE INEN 857)**

Estos parámetros de densidad son determinados para definir en el proceso de dosificación y proporcionamiento las cantidades en masa (kg) y el volumen (m<sup>3</sup>) que representa el árido grueso para la fabricación de 1 m<sup>3</sup> de concreto. Por su parte, la absorción del árido se la utiliza para realizar correcciones en la masa del agua. Seguidamente, se presenta un resumen del procedimiento a seguir para definir estos parámetros según la NTE INEN 857.

Se sumerge en agua por  $24 \pm 4$  h, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina su masa, luego, se determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua;

finamente, la muestra se seca al horno y se determina su masa (NTE INEN 857, 2010, pág. 3)

Utilizando los parámetros determinados experimentalmente en laboratorio y mediante las fórmulas de este método de ensayo, se calcula la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido grueso. Los resultados obtenidos se muestran en el *Capítulo IV numeral 4.3. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. El proceso de cálculo realizado se presenta en el Anexo 2.

Los equipos utilizados, el muestreo y preparación de la muestra de ensayo, el procedimiento a seguir del ensayo, la precisión y desviación de los cálculos están bajo lo dispuesto en la NTE INEN 856.

### **3.2.5. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos (NTE INEN 858)**

Se coloca el árido en un molde con una capacidad adecuada, mismo que se compacta mediante el procedimiento por varillado, descrito en esta norma. Con estos datos se calcula la masa unitaria (peso volumétrico) del árido y el contenido de vacíos mediante las fórmulas indicadas en esta norma

Con los parámetros determinados experimentalmente en laboratorio y mediante las fórmulas de este método de ensayo, se calcula la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos del árido grueso. Los resultados obtenidos se muestran en el capítulo IV (numeral 4.4) y el proceso de los cálculos realizados se presenta en el Anexo 3.

Los equipos utilizados en este ensayo fueron calibrados de acuerdo a las disposiciones y requerimientos de NTE INEN 858, así también como los procedimientos de muestreo y desarrollo del ensayo.

### **3.3. Dosificación y elaboración del concreto.**

La Tabla 3.2 resume los procedimientos de dosificación y elaboración del concreto a seguir luego de determinadas las propiedades físicas necesarias de los áridos. Seguidamente se detallan cada uno de estos.

**Tabla 3. 2.** Procedimiento y referencia para la dosificación y elaboración del concreto

PROCEDIMIENTO	REFERENCIA – GUIA
Dosificación y proporcionamiento	PCA – Método del volumen absoluto
Elaboración del concreto	Experiencia de los autores

Fuente: Los autores  
Elaboración: Los autores

### 3.3.1. Dosificación (Método Volumétrico PCA)

El diseño y proporcionamiento de las mezclas de concreto fue determinado mediante el método del Volumen Absoluto el cual es preciso y envuelve el uso de las masas específicas relativas de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada uno de ellos ocupará en una unidad de volumen de concreto (Kosmatka et al, 2004, pág. 194).

Las cantidades de los ingredientes determinas a través de este método son las necesarias para producir 1 m<sup>3</sup> de concreto. La Tabla 3.3 muestra la dosificación para desplegar a los 28 días resistencias de 21 MPa, 24 MPa y 30 MPa. El anexo 4 muestra el proceso de cálculo para determinar de las cantidades en masa de los ingredientes para concreto.

**Tabla 3. 3.** Dosificación por m3 para desplegar a los 28 días resistencias de 21 MPa, 24 MPa y 30 MPa.

f'c = 21 MPa	f'c = 24 MPa	f'c = 30 MPa
Agua = 190 kg	Agua = 190 kg	Agua = 190 kg
Cemento = 256 kg	Cemento = 284 kg	Cemento = 306 kg
Árido grueso = 962 kg	Árido grueso = 962 kg	Árido grueso = 962 kg
Árido fino = 830 kg	Árido fino = 807 kg	Árido fino = 788 kg

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.

Sabiendo esto, se ha reducido estas cantidades a las necesarias para la producción de un volumen de concreto que satisfaga 8 probetas cilíndricas de 150x300 mm incluyendo un 20% adicional por desperdicios (Ver Tabla 3.4), que es un volumen con el cual la concretera rinde con un buen desempeño.

**Tabla 3. 4.** Dosificación para 8 probetas cilíndricas para desplegar a los 28 días resistencias de 21 MPa, 24 MPa y 30 MPa.

f'c = 21 MPa	f'c = 24 MPa	f'c = 30 MPa
Agua = 9.51 kg	Agua = 9.51 kg	Agua = 9.51 kg
Cemento = 12.82 kg	Cemento = 14.19 kg	Cemento = 15.34 kg
Árido grueso = 48.13 kg	Árido grueso = 48.13 kg	Árido grueso = 48.13 kg
Árido fino = 41.53 kg	Árido fino = 40.40 kg	Árido fino = 39.45 kg

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.

Para determinar la dosificación de la mezcla apropiada, se deben tomar en cuenta el uso que se le dará al concreto, condiciones de exposición, tamaño y forma de los elementos y las propiedades físicas del concreto (Kosmatka et al, 2004, pág. 185). Esta línea de investigación se enfoca en la predicción de la resistencia mecánica del concreto, por tal motivo la característica primordial que se tomará en cuenta será la resistencia en compresión del mismo. Debido a las condiciones controladas que se dispone en laboratorio no se consideraron relevantes otras características, pero si se respetaron sus límites permisibles.

Para proceder con el proporcionamiento mediante el método del Volumen Absoluto se necesita conocer ciertas condiciones y especificaciones como son; la resistencia en compresión requerida, el asentamiento deseado, las propiedades del cemento, aditivo (en caso de ser incluido), propiedades físicas del árido fino y árido grueso y si el agua de amasado cumple con ciertos requisitos de pureza. A partir de esta información, es posible diseñar y proporcionar una mezcla de prueba que cumpla con las condiciones y especificaciones estipuladas. El Anexo 4 muestra el proceso de proporcionamiento de mezcla según el PCA por el método del volumen absoluto.

### **3.3.2. Elaboración del concreto**

Determinadas las dosificaciones óptimas se procedió con la elaboración del concreto, cada amasada realizada contenía el volumen necesario para elaborar 8 probetas cilíndricas. El orden de mezclado de cada uno de los ingredientes para elaborar el concreto fue determinado luego de varias mezclas de prueba, concluyendo que el mejor orden de mezclado de los ingredientes es el que se describe a continuación.

- a) Humedecer por completo la concreteira, haciendo rotar su tambor cuatro vueltas completas.
- b) Colocar toda la masa del árido grueso dentro de la concreteira con el 70% de agua de mezclado y encender la concreteira
- c) Con la concreteira encendida introducir toda la masa del árido fino y dejar que se mezcle durante seis vueltas completas con los ingredientes antes colocados.
- d) Una vez mezclados el árido grueso, el árido fino y el 70% del agua de mezclado se procede a colocar la masa de cemento estructural de alta resistencia tipo HE.
- e) Adicionar el restante de agua de mezclado.
- f) Verificar si la mezcla se encuentra pegada en las paredes de la concreteira, de ser así, apagar la concreteira y con una herramienta adecuada remover la mezcla de las paredes.

- g) Encender nuevamente la máquina y seguir revolviendo aproximadamente durante 3 minutos.
- h) Verter la mezcla de concreto en una bandeja adecuada y previamente humedecida.
- i) Trasladar la mezcla de concreto hasta el lugar donde se realizaran las pruebas necesarias a la mezcla, seguido de la elaboración de las probetas cilíndricas.

Como se mencionó este procedimiento de mezclado adoptado, ha sido resultado luego de varias mezclas de prueba, las cuales sirvieron para resolver varios inconvenientes suscitados durante la elaboración del concreto. La adherencia indeseada de la mezcla de concreto a las paredes de la concretera fue el mayor de los problemas, ocasionando un deficiente proceso de mezclado de todos los ingredientes. Dando como resultado el desecho de la mezcla realizada así como el orden asumido para dicha mezcla.

### 3.4. Ensayos para concreto en estado fresco y endurecido.

Definida la dosificación óptima y elaborado el concreto, se realizaron los análisis necesarios para caracterizar sus propiedades físicas del concreto en su estado fresco como en estado endurecido. La Tabla 3.5 muestra los ensayos de laboratorio realizados, así como las normas a seguir.

Tabla 3. 5. Ensayos y normas establecidas para el concreto en estado fresco y endurecido.

ENSAYOS Y NORMAS ESTABLECIDAS PARA EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO	
ENSAYO	NORMA
Determinación del asentamiento	NTE INEN 1578
Elaboración y curado de probetas cilíndricas	NTE INEN 1576
Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto de cemento hidráulico	NTE INEN 1573

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.

### 3.5. Diseño experimental.

Esta investigación tiene como objetivo definir un modelo estadístico que proyecte de manera confiable la resistencia en compresión del concreto a edades avanzadas usando la resistencia en compresión determinada a edades tempranas. Las variables tomadas en cuenta en este estudio para ser correlacionadas fueron la edad de curado y la resistencia del concreto.

Se empezó por elaborar mezclas de prueba con diferentes relaciones agua/cemento para determinar la dosificación óptima que despliegue a los 28 días de curado un  $f'c=24$  MPa. Se ha tomado en cuenta este valor debido a que se encuentra dentro de los valores de resistencia de diseño muy utilizados en nuestro campo constructor. Para llegar a este valor de  $f'c=24$  MPa se prepararon cinco muestras con diferentes relaciones agua/cemento, cada una con tres probetas cilíndricas de 150x300 mm, curadas durante 28 días mediante el procedimiento estándar de inmersión total (NTE INEN 1576) para luego ser ensayadas a compresión (NTE INEN 1573) y poder correlacionar la relación agua/cemento con la resistencia en compresión del concreto y así obtener un modelo estadístico que permita estimar la resistencia del concreto a los 28 días en función de la relación agua/cemento que contenga la dosificación.

Se trabajó con una regresión lineal que representó mejor la correlación de estas variables, obteniéndose un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.988 el mismo que es un valor aceptable y comprueba que existe una alta relación entre estas dos variables. La gráfica de este modelo estadístico se muestra en Capítulo IV – Gráfica 4.3, y representada por la ecuación (1).

En el estudio se ha considerado importante analizar el comportamiento del concreto al incluir un aditivo de tipo plastificante y el efecto que este tendrá en la resistencia en compresión. Para ello, se adicionó a la dosificación de  $f'c= 24$  MPa el aditivo plastificante siguiendo las instrucciones del fabricante. El cual especifica 150 cc por cada 50 kg de cemento.

La Tabla 3.6 muestra la dosificación empleada para desplegar a los 28 días un  $f'c=24$  MPa, y la misma dosificación con la adición del aditivo plastificante que ofrece un incremento en la resistencia de aproximadamente 10 MPa.

**Tabla 3. 6.** Dosificación y proporcionamiento para fabricar 1m<sup>3</sup> de concreto.

<b>DOSIFICACIÓN PARA 1 m<sup>3</sup></b>	
<b>f'c=24 MPa (sin aditivo)</b>	<b>f'c=24 MPa (con aditivo)</b>
Agua = 190 kg	Agua = 171 kg
Cemento = 284 kg	Cemento = 284 kg
Árido grueso = 962 kg	Árido grueso = 962 kg
Árido fino = 807 kg	Árido fino = 807 kg
	Aditivo = 850.74 cc
<b>A/C = 0.68</b>	<b>A/C = 0.60</b>

Fuente: Los autores  
Elaboración: Los autores

*Nota: Como se puede observar en la columna 2 de la Tabla 3.6 se cuenta con las mismas proporciones en áridos como en cemento que en la columna 1, con excepción a la masa del agua.*



Esto resulta de reducir en aproximadamente 10% la cantidad de agua de amasado, este porcentaje ha sido tomado a consideración del fabricante del aditivo.

Tomando en cuenta el efecto del aditivo plastificante en el concreto, se tiene como resultado la definición de dos modelos estadísticos que representen mejor la correlación entre las variables: *edad de curado y resistencia a la compresión*, cuando la mezcla de concreto incluye o no aditivo plastificante.

Para definir el modelo estadístico que prediga la resistencia a la compresión del concreto se procedió a correlacionar las edades de curado a 3, 7, 14 y 28 días con su respectiva resistencia a la compresión y encontrar la curva que mejor se ajuste a los datos, tomando como referencia al coeficiente de determinación  $R^2$ . Para obtener la base de datos necesaria y proceder a definir los modelos estadísticos, se moldearon y probaron un total de 480 probetas cilíndricas, 240 cuando el concreto no incluye en su mezcla el aditivo plastificante y 240 cuando el concreto incluye el aditivo plastificante, y fueron distribuidas equitativamente para cada edad de curado como se muestra en la Tabla 3.7.

**Tabla 3. 7.** Distribución de probetas cilíndricas utilizadas para definir el modelo estadístico.

<b>DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS</b>			
<b>f'c = 24 MPa (sin aditivo)</b>		<b>f'c = 34 Mpa (con aditivo)</b>	
<b>Edad de curado</b>	<b># de probetas</b>	<b>Edad de curado</b>	<b># de probetas</b>
3	60	3	60
7	60	7	60
14	60	14	60
28	60	28	60
<b>Total</b>	<b>240</b>	<b>Total</b>	<b>240</b>
<b>TOTAL = 480 PROBETAS CILÍNDRICAS</b>			

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Para cada edad de curado (3, 7, 14 y 28 días) se realizaron 30 pruebas de ensayo a la compresión. Cada ensayo constaba de una pareja de probetas cilíndricas (*30 ensayos para cada edad de curado x 2 probetas por ensayo = 60 probetas cilíndricas para cada edad de curado*), cuyos resultados obtenidos cumplieron con los parámetros estipulados en la NTE INEN 1573 que se muestran en la Tabla 3.5.

En cada edad de curado, se procedió a identificar, medir y pesar cada probeta cilíndrica según NTE INEN 1573 para luego realizar la prueba estándar destructiva de compresión uniaxial. Estos datos y resultados del ensayo a la compresión fueron registrados de manera ordenada para su posterior análisis (Ver Anexo 8). Cabe mencionar que la relación

agua/cemento utilizada en la dosificación para lograr un  $f'c = 24$  MPa fue determinada con anterioridad mediante el modelo estadístico representado por la ecuación (1), que correlaciona la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión a los 28 días.

Realizados los ensayos en compresión uniaxial de las 480 probetas, los datos fueron ordenados por edad de curado y clasificados según si en su dosificación se encontraba incluido el aditivo plastificante o no.

Con la base de datos lista para ser analizada se efectuó el ajuste de los datos obtenidos experimentalmente en laboratorio y tomando el coeficiente de determinación  $R^2$  como criterio para juzgar la fuerza del ajuste entre las variables, el modelo estadístico que mejor se ajustó a los datos, fue Sigmoidal Logistic function, type 1, cuya curva característica se presenta en el Capítulo IV – Gráfica 4.2.

Esta curva de ajuste, a más de presentar un aceptable coeficiente de determinación  $R^2$ , representa de manera adecuada el comportamiento del concreto, como es la evolución de la ganancia de resistencia a edades tempranas de manera exponencial, hasta llegar a una etapa en la cual esta ganancia de resistencia se torna insignificante pero de manera progresiva hasta llegar a 28 días.

En la Tabla 3.8, se presentan el coeficiente de determinación  $R^2$  calculado para la función Sigmoidal Logistic function, type 1, así como los valores de las constantes incluidas en el modelo estadístico. En ambos casos de estudio se encontró una fuerte dependencia entre las dos variables, con valores de  $R^2$  de 0.854 para cuando no se incluye aditivo y 0.822 para cuando se incluye el aditivo.

**Tabla 3. 8.** Parámetros de la curva Sigmoidal Logistic function, type 1.

<b>SLogistic1 – Sin Aditivo</b>			
$R^2$	$\sigma_{28}$	$t_0$	$k$
0.854	24.89	3.3	5.2
<b>SLogistic1 – Con Aditivo</b>			
$R^2$	$\sigma_{28}$	$t_0$	$k$
0.822	33.73	1.1	5.2

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Definido el modelo estadístico y deducido de éste la ecuación que lo representa, se procedió a verificar su efectividad comparando los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos experimentalmente en laboratorio (prueba estándar destructiva de compresión

uniaxial) con los resultados obtenidos analíticamente mediante la utilización de la ecuación (2).

Para la comprobación del modelo se estableció proyectar resistencias que desplieguen a los 28 días de curado 21 MPa y 30 MPa. Del modelo estadístico representado por la ecuación (1) se obtuvo la relación agua/cemento para llegar a alcanzar estas resistencias. El valor determinado por la ecuación (1) fue comprobado mediante el ensayo de compresión uniaxial a probetas dosificadas con dichos valores de relación agua/cemento. Una vez verificadas las dosis óptimas, se moldearon un total de 64 probetas, 32 para cada resistencia utilizada para la comprobación del modelo (21 MPa y 30 MPa). Por la inclusión del aditivo, estas 32 probetas se dividieron equitativamente en 16 probetas para cuando se incluye el aditivo y las 16 restantes para cuando no se lo incluye. Esto se realizó en cada resistencia de comprobación. La Tabla 3.9 muestra claramente esta distribución adoptada.

**Tabla 3. 9.** Distribución de probetas cilíndricas utilizadas para comprobar el modelo estadístico.

DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS UTILIZADAS PARA COMPROBAR EL MODELO ESTADÍSTICO			
f'c=21 MPa		f'c=30 MPa	
Sin aditivo	Con aditivo	Sin aditivo	Con aditivo
Edad - No. probetas	<b>Edad - No. probetas</b>	<b>Edad - No. probetas</b>	<b>Edad - No. probetas</b>
3 días - 4 probetas	3 días - 4 probetas	3 días - 4 probetas	3 días - 4 probetas
7 días - 4 probetas	7 días - 4 probetas	7 días - 4 probetas	7 días - 4 probetas
14 días - 4 probetas	14 días - 4 probetas	14 días - 4 probetas	14 días - 4 probetas
28 días - 4 probetas	28 días - 4 probetas	28 días - 4 probetas	28 días - 4 probetas
<b>Total = 16 probetas</b>	<b>Total = 16 probetas</b>	<b>Total = 16 probetas</b>	<b>Total = 16 probetas</b>
Total = 64 probetas			

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Esta distribución da como resultado un total de dos ensayos para cada edad de curado (3, 7, 14 y 28 días). Cada ensayo constaba de una pareja de probetas cilíndricas (*2 ensayos para cada edad de curado x 2 probetas por ensayo = 4 probetas cilíndricas para cada edad de curado*), cuyos resultados obtenidos cumplieron con los parámetros estipulados en la NTE INEN 1573 que se muestran en la Tabla 3.9. También se utilizó para la comprobación del modelo, los datos de resistencia a la compresión obtenidos experimentalmente en laboratorio de las probetas de f'c=24 MPa utilizadas para la definición del modelo estadístico. Es decir, se ha comprobado la efectividad del modelo estadístico proyectando a 28 días tres diferentes resistencias a compresión 21 MPa, 24 MPa y 30 MPa.

En la Tabla 4.16, se muestra el valor de la resistencia determinada experimentalmente en laboratorio a las distintas edades de curado establecidas, junto con la resistencia proyectada a 28 días utilizando la ecuación (2) derivada del modelo estadístico definido. Y conjuntamente se ha calculado el error absoluto que se obtiene de la ecuación (2) al utilizar los valores de resistencia a la compresión, correspondientes a cada una de las distintas edades de curado.

De igual manera, en la Tabla 4.17, se presenta la misma comparación pero para cuando se incluye el aditivo plastificante en la mezcla del concreto.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### 4.1. Granulometría de árido fino y grueso.

Los parámetros obtenidos luego de realizado este método de ensayo determinaron una graduación de los áridos que los catalogan como aptos para utilizarlos en la fabricación de concreto. Los límites granulométricos de la norma ASTM C 33 han sido los utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas del árido fino y grueso.

##### 4.1.1. Árido fino.

Seguidamente, se presenta los resultados obtenidos luego de realizado este método de ensayo y la comprobación de los requisitos según ASTM C 33

##### 4.1.1.1. Análisis granulométrico del árido fino y determinación del módulo de finura

**Tabla 4. 1.** Granulometría y determinación del módulo de finura del árido fino.

Tamiz	Porcentaje de fracción individual retenida, en masa	Porcentaje acumulado que pasa, en masa	Porcentaje retenido acumulado, en masa
9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ pulg.)	0.00	100	0
4.75 mm (No. 4)	0.00	100	0
2.36 mm (No. 8)	7	93	7
1.18 mm (No.16)	23	70	30
600 $\mu$ m (No. 30)	28	42	58
300 $\mu$ m (No. 50)	24	18	82
150 $\mu$ m (No. 100)	11	7	93
Fondo	7	0	0
Total	100		270
<b>Módulo de finura (MF)</b> = $270 \div 100 = 2.70$			

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

##### 4.1.1.2. Comprobación de los requisitos de ASTM C 33 de la granulometría del árido fino.

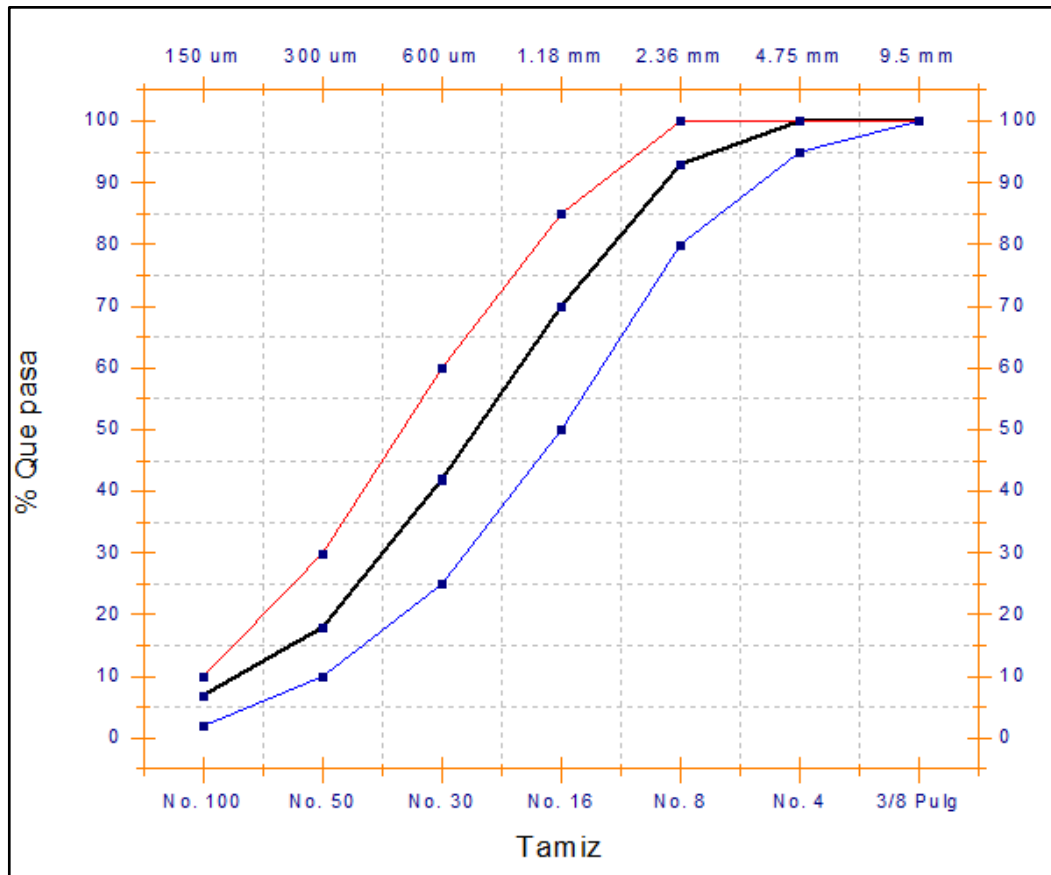
**Tabla 4. 2.** Límites granulométricos del árido fino según ASTM C 33.

Tamiz	Porcentaje que pasa (en masa)
9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ pulg.)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
600 $\mu$ m (No. 30)	25 a 60
300 $\mu$ m (No. 50)	10 a 30
150 $\mu$ m (No. 100)	2 a 10

Fuente: PCA, Capítulo V – Agregados para concreto, Tabla 5.3.

Elaboración: Los autores.

Con estos límites granulométricos establecidos por la norma ASTM C 33 se procede a graficar la faja granulométrica en la cual la granulometría del árido fino debe colocarse dentro de ella para garantizar que el material presenta las propiedades idóneas para la fabricación del concreto.



**Gráfica 4. 1.** Granulometría del árido fino utilizada en la elaboración de probetas cilíndricas bajo requisitos de los límites granulométricos según ASTM C 33

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Como se puede observar en la Grafica 4.1, la granulometría del árido fino cumple con los límites granulométricos de la norma ASTM C 33, garantizando de esta manera un material con una buena distribución de sus partículas.

#### 4.1.2. Árido grueso

Seguidamente, se presenta los resultados obtenidos luego de realizado este método de ensayo y la comprobación de los requisitos según ASTM C 33.

#### 4.1.2.1. Análisis granulométrico del árido grueso, determinación del tamaño máximo y tamaño máximo nominal.

- Análisis granulométrico.

Tabla 4. 3. Análisis granulométrico del árido grueso.

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
(3 pulg.)	0.00	0.00	0.00	100.00
(21/2 pulg.)	0.00	0.00	0.00	100.00
(2 pulg.)	0.00	0.00	0.00	100.00
(11/2 pulg.)	0.00	0.00	0.00	100.00
(1 pulg.)	0.00	0.00	0.00	100.00
(3/4 pulg.)	145.43	145.43	2.70	97.30
(1/2 pulg.)	3102.46	3247.89	60.30	39.70
(3/8 pulg.)	1475.82	4723.71	87.70	12.30
(No. 4)	609.72	5333.43	99.02	0.98
FONDO	52.78	5386.21	100.00	0.00
TOTAL	5386.21			

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.

- Determinación del tamaño máximo.

La norma ASTM C 125 y ACI 116 define este término como el menor tamiz por el cual toda la muestra de árido grueso debe pasar. Teniendo en cuenta esta definición podemos determinar con la granulometría del árido grueso que el tamaño máximo es de 25 mm (1 pulg.).

- Determinación del tamaño máximo nominal

El tamaño máximo nominal lo define también la norma ASTM C 125 y el ACI 116 como el menor tamiz por el cual la mayor parte de la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamiz del tamaño máximo nominal puede retener del 5% a 15% de la masa dependiendo del número del tamaño. Por tal motivo podemos determinar a partir de la granulometría del árido grueso que el tamaño máximo nominal es de 19.0 mm (3/4 pulg.), tamiz en el que se retuvo 11%.

#### 4.1.2.2. Comprobación de los requisitos de ASTM C 33 de la granulometría del árido grueso

El parámetro necesario para definir el límite granulométrico para el árido grueso según la norma ASTM C 33 es el tamaño máximo nominal. Del ensayo granulométrico del árido grueso tenemos que el tamaño máximo nominal es de 19.0 mm (3/4 pulg.), con este



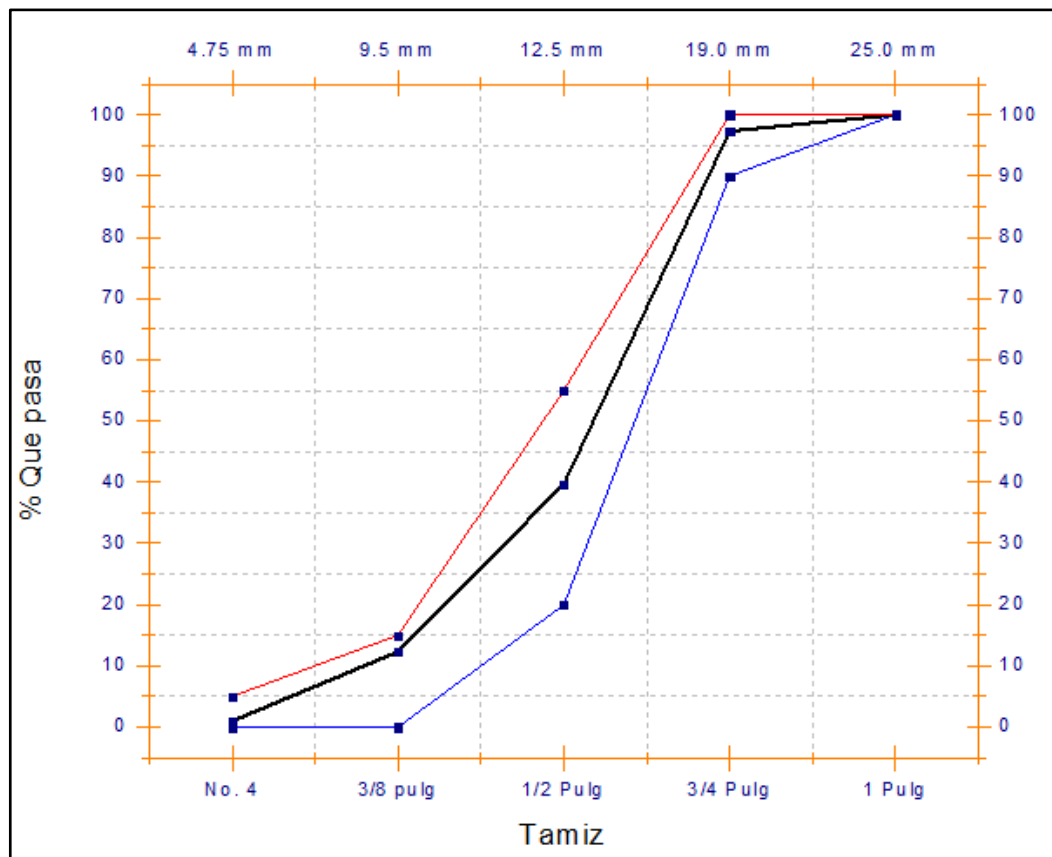
parámetro determinamos el número de tamaño o el tamaño granulométrico según la norma ASTM C 33, donde obtuvimos un tamaño granulométrico igual a 6, valor que permite definir el límite granulométrico para el árido grueso. Los requisitos granulométricos para el agregado grueso según la norma ASTM C 33 se presentan en la Tabla 4.4

**Tabla 4. 4.** Requisitos granulométricos del árido grueso según ASTM C 33. Número de tamaño 6

Tamiz	Porcentaje que pasa (en masa)
25.0 mm (1 pulg.)	100
19.0 mm (3/4 pulg.)	90 a 100
12.5 mm (1/2 pulg.)	20 a 55
9.5 mm (3/8 pulg.)	0 a 15
4.75 mm (No. 4)	0 a 5

Fuente: PCA, Capítulo V – Agregados para concreto, Tabla 5-5  
 Elaboración: Los autores.

Con estos límites granulométricos establecidos por la norma ASTM C 33 se procede a graficar la faja granulométrica en la cual la granulometría del árido fino debe colocarse dentro de ella para garantizar que el material presenta las propiedades idóneas para la fabricación del concreto.



**Gráfica 4. 2.** Granulometría del árido grueso utilizada en la elaboración de probetas cilíndricas bajo requisitos de los límites granulométricos según ASTM C 33

Fuente: Los autores.  
 Elaboración: Los autores.

Como podemos observar en la Gráfica 4.2, la granulometría del árido grueso (línea azul) queda dentro del límite granulométrico (faja granulométrica), cumpliendo con los requisitos de la norma ASTM C 33, y de esta manera se considera al árido apto para la fabricación de concreto.

#### 4.2. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino

**Tabla 4. 5.** Propiedades físicas del Árido Fino.

Densidad relativa (SH)	2.50
Densidad relativa (SSS)	2.56
Densidad relativa aparente	2.66
Densidad (SH)	2490.05 kg/m <sup>3</sup>
Densidad (SSS)	2552.38 kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	2656.01 kg/m <sup>3</sup>
Absorción	2.50 %

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Al dosificar y proporcionar la mezcla de concreto se ha trabajado con los resultados de la densidad relativa SH (gravedad relativa SH) y la absorción, debido a que el árido fino se almaceno de manera correcta, garantizando que se encuentre en un estado seco. Como ya se mencionó, el proceso de cálculo se presenta en el Anexo 1.

#### 4.3. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso

**Tabla 4. 6.** Propiedades físicas del Árido Grueso.

Densidad relativa (SH)	2.59
Densidad relativa (SSS)	2.64
Densidad relativa aparente	2.72
Densidad (SH)	2583.36 kg/m <sup>3</sup>
Densidad (SSS)	2630.69 kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	2712.06 kg/m <sup>3</sup>
Absorción	1.83 %
Masa unitaria (Peso volumétrico)	1526.39 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Al dosificar y proporcionar la mezcla de concreto se ha trabajado con los resultados de la densidad relativa SH (gravedad relativa SH) y la absorción, debido a que el árido grueso se almaceno de manera correcta garantizando que se encuentre en un estado seco. Como ya se mencionó, el proceso de cálculo se presenta en el Anexo 2.

#### 4.4. Masa unitaria del árido grueso.

Se ha determinado la masa unitaria del árido grueso según la NTE INEN 858 – Procedimiento por varillado, cuyo valor fue **1526.39 kg/m<sup>3</sup>** (Ver Tabla 4.7.). El procedimiento de cálculo se indica en el Anexo 3. Este parámetro físico permite encontrar la cantidad en masa de árido grueso necesario para dosificar y proporcionar mezclas de concreto.

**Tabla 4. 7.** Determinación de la masa unitaria del árido grueso.

Masas obtenidas en el laboratorio:	
W = 24.90 kg	G = 31.20 kg
M = 10.80 kg	T = 9.64 kg
D = 998.244 kg/m <sup>3</sup>	
Cálculos:	
Volumen del molde.	
$V = \frac{(W - M)}{D} = \frac{(24.90 - 10.80)}{998.244} = 0.014 \text{ m}^3$	
Masa unitaria (peso volumétrico)	
$M = \frac{(G - T)}{V} = \frac{(31.20 - 9.64)}{0.014} = 1526.39 \text{ kg/m}^3$	

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores

#### 4.5. Dosificación – PCA (Método del Volumen Absoluto)

**Tabla 4. 8.** Dosificación para concreto sin la inclusión de aditivo plastificante.

Dosificación por m <sup>3</sup> f'c = 21 MPa	Dosificación por m <sup>3</sup> f'c = 24 MPa	Dosificación por m <sup>3</sup> f'c = 30 MPa
Agua = 190 kg	Agua = 190 kg	Agua = 190 kg
Cemento = 256 kg	Cemento = 284 kg	Cemento = 306 kg
Árido grueso = 962 kg	Árido grueso = 962 kg	Árido grueso = 962 kg
Árido fino = 830 kg	Árido fino = 807 kg	Árido fino = 788 kg
<b>A/C = 0.74</b>	<b>A/C = 0.67</b>	<b>A/C = 0.62</b>

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

**Tabla 4. 9.** Dosificación para concreto con la inclusión de aditivo plastificante.

Dosificación por m <sup>3</sup> 30 MPa	Dosificación por m <sup>3</sup> 34 MPa	Dosificación por m <sup>3</sup> 39 MPa
Agua = 171 kg	Agua = 171 kg	Agua = 171 kg
Cemento = 256 kg	Cemento = 284 kg	Cemento = 306 kg
Árido grueso = 962 kg	Árido grueso = 962 kg	Árido grueso = 962 kg
Árido fino = 830 kg	Árido fino = 807 kg	Árido fino = 788 kg
Aditivo = 768.71 cc	Aditivo = 850.74 cc	Aditivo = 919.35 cc
<b>A/C = 0.66</b>	<b>A/C = 0.60</b>	<b>A/C = 0.55</b>

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores.

Las Tablas 4.8 – 4.9 presentan las proporciones de los ingredientes para producir un concreto con calidad uniforme y que cumple con las condiciones y especificaciones impuestas para lograr las resistencias de 21 MPa, 24 MPa y 30 MPa, que fueron las utilizadas para el desarrollo del presente estudio.

Cabe indicar que, la variación entre la Tabla 4.8 y la Tabla 4.9 radica en la disminución del agua de amasado en un 10 % debido a la inclusión del aditivo plastificante en la mezcla, esta consideración resulta de seguir las especificaciones del fabricante. Teniendo como resultado relaciones agua/cemento menores afectando positivamente en la resistencia en compresión del concreto en un orden de aproximadamente 10 MPa. Esto ha sido comprobado luego de haber ensayo 240 probetas cilíndricas las cuales representan un lote de datos muy representativo.

**4.6. Resultados de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas utilizadas en la definición del modelo estadístico ( $f'c = 24$  MPa).**

**Tabla 4. 10.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas  $f'c = 24$  MPa (sin aditivo)

Resultados resistencia en compresión sin aditivo (MPa)				Diferencia en %
3 días	7 días	14 días	28 días	
9.82	16.01	20.30	24.38	2%
8.90	16.53	19.92	25.59	7%
12.09	19.89	24.09	25.30	5%
11.59	16.59	22.25	24.66	3%
13.52	16.51	20.01	24.81	3%
10.62	15.79	21.09	24.48	2%
10.23	17.24	22.16	26.65	11%
8.99	17.04	20.66	23.45	-2%
10.45	16.02	20.43	22.15	-8%
11.18	17.59	21.75	24.73	3%
10.60	17.31	21.26	24.20	1%
12.56	14.30	21.04	23.46	-2%
13.13	18.98	20.65	26.58	11%
13.46	18.88	19.61	25.13	5%
12.28	18.43	23.63	27.50	15%
10.34	18.55	22.06	25.79	7%
11.30	19.19	24.02	25.96	8%
11.28	19.70	23.11	26.21	9%
12.05	18.42	19.56	24.38	2%
11.10	15.06	20.57	22.21	-7%
14.67	23.50	23.48	23.80	-1%
11.42	17.76	23.01	24.01	0%
14.74	17.67	19.67	23.81	-1%
9.31	13.05	19.88	23.87	-1%
10.60	17.28	23.19	25.14	5%
11.28	16.70	21.05	23.47	-2%
12.56	19.73	20.67	24.74	3%
11.34	13.09	19.94	22.14	-8%
13.49	18.42	21.75	23.45	-2%
12.30	14.33	19.54	24.82	3%

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores.

**Tabla 4. 11.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas  $f'c = 34$  MPa (con aditivo)

Resultados resistencia en compresión con aditivo (MPa)				Diferencia en %
3 días	7 días	14 días	28 días	
15.11	19.10	23.41	28.19	-17%
10.91	18.91	25.68	28.24	-17%
15.17	25.68	29.28	33.52	-1%
17.87	25.25	29.63	33.93	0%
18.90	25.42	30.64	33.42	-2%
17.90	27.89	33.32	36.08	6%
19.26	27.11	31.26	33.15	-2%
14.80	23.29	28.81	31.22	-8%
18.42	26.35	31.48	34.20	1%
19.57	27.24	30.21	35.45	4%
17.67	27.26	30.81	34.51	2%
21.70	27.31	30.49	33.12	-3%
19.53	26.28	31.52	34.82	2%
20.94	26.61	29.25	34.63	2%
18.91	28.19	32.62	35.19	3%
17.19	26.83	31.17	35.01	3%
18.65	26.73	32.08	34.13	0%
19.88	27.10	31.38	34.15	0%
19.69	25.82	30.72	34.85	3%
19.80	27.54	31.16	34.42	1%
23.85	31.71	35.30	38.68	14%
18.00	26.87	33.94	34.65	2%
20.90	26.77	32.83	33.82	-1%
19.80	21.41	29.46	33.57	-1%
19.41	26.25	33.56	34.84	2%
19.87	18.93	30.46	33.14	-3%
21.73	27.11	28.83	35.44	4%
18.69	21.43	25.69	34.20	1%
20.95	25.82	30.24	31.26	-8%
18.89	27.29	30.73	33.44	-2%

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores.

Los datos presentados en las Tablas 4.10 – 4.11, son el resultado de haber realizado el ensayo estándar destructivo de compresión uniaxial a probetas cilíndricas. Cada ensayo constó de un par de probetas cilíndricas, con las que se determinó un promedio de la resistencia en compresión representativo, cumpliendo con los requisitos de la NTE INEN 1573. Las Tablas 4.10 – 4.11, conforman la base de datos necesaria para definir el modelo estadístico que permite proyectar la resistencia del concreto a los 28 días cuando se use un cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE.

La determinación de la resistencia en compresión se detalla en el Anexo 8.

#### 4.7. Resultados de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas utilizadas en la comprobación del modelo estadístico ( $f'c = 21$ MPa y $f'c = 30$ MPa).

Las Tablas 4.12 – 4.15, contienen los resultados de las 64 probetas cilíndricas utilizadas para la comprobación del modelo estadístico. La comprobación se realizó determinando la resistencia de manera experimental en laboratorio a las edades de 3, 7, 14, y 28 días de curado, junto con la resistencia proyectada a 28 días utilizando la ecuación (2).

La resistencia determinada mediante el ensayo a compresión a una edad de 7 días, permite proyectar la resistencia a compresión del concreto a 28 días con un error absoluto de  $\pm 1$  MPa.

**Tabla 4. 12.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas  $f'c = 21$  MPa (sin aditivo)

Resultados resistencia en compresión sin aditivo (MPa)				Diferencia en %
3 días	7 días	14 días	28 días	
9.05	14.11	17.59	19.39	-8%
9.31	14.31	17.66	20.18	-4%
9.50	13.68	17.24	23.00	10%
8.53	14.02	18.03	21.76	4%

Fuente: Los autores  
Elaboración: Los autores.

**Tabla 4. 13.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas  $f'c = 21$  MPa (con aditivo)

Resultados resistencia en compresión con aditivo (MPa)				Diferencia en %
3 días	7 días	14 días	28 días	
16.53	22.34	27.18	29.18	-6%
16.86	22.07	26.85	31.49	2%
15.91	22.72	27.46	30.04	-3%
15.98	23.01	27.25	31.22	1%

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.

**Tabla 4. 14.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas  $f'c = 30$  MPa (sin aditivo)

Resultados resistencia en compresión con aditivo (MPa)				Diferencia en %
3 días	7 días	14 días	28 días	
13.78	17.34	27.11	30.58	2%
13.23	21.79	27.18	31.73	6%
12.69	21.84	25.09	30.89	3%
12.06	19.27	26.55	28.72	-4%

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.

**Tabla 4. 15.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas  $f'c = 30$  MPa (con aditivo)

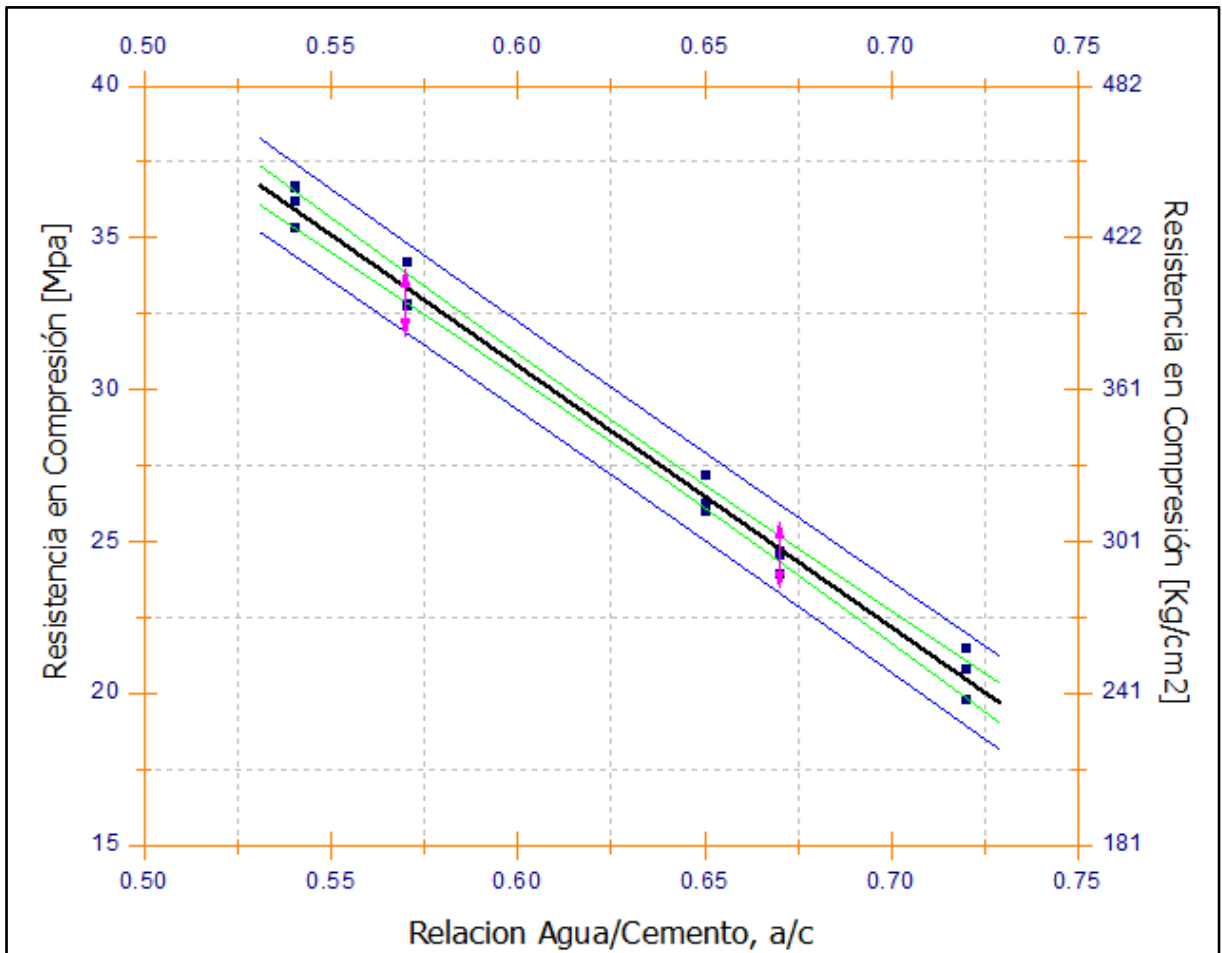
Resultados resistencia en compresión con aditivo (MPa)				Diferencia en %
3 días	7 días	14 días	28 días	
24.33	30.96	34.34	38.67	-3%
24.46	31.62	34.44	38.85	-3%
20.12	28.98	34.75	38.36	-4%
19.52	29.39	36.08	40.11	0%

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.

#### 4.8. Resultados del diseño experimental.

##### 4.8.1. Modelo estadístico que permite estimar la relación agua/cemento.

Se encontró un modelo estadístico que permite estimar con un margen de confianza de 95% la dosificación agua/cemento (Gráfica 4.5.).



**Gráfica 4. 3.** Relación agua/cemento vs. Resistencia en compresión

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.



Este modelo estadístico se encuentra representado por la ecuación (1).

$$\sigma_{28} = 86.04 \times (a/c) + 82.41 \quad \text{ecuación(1)}$$

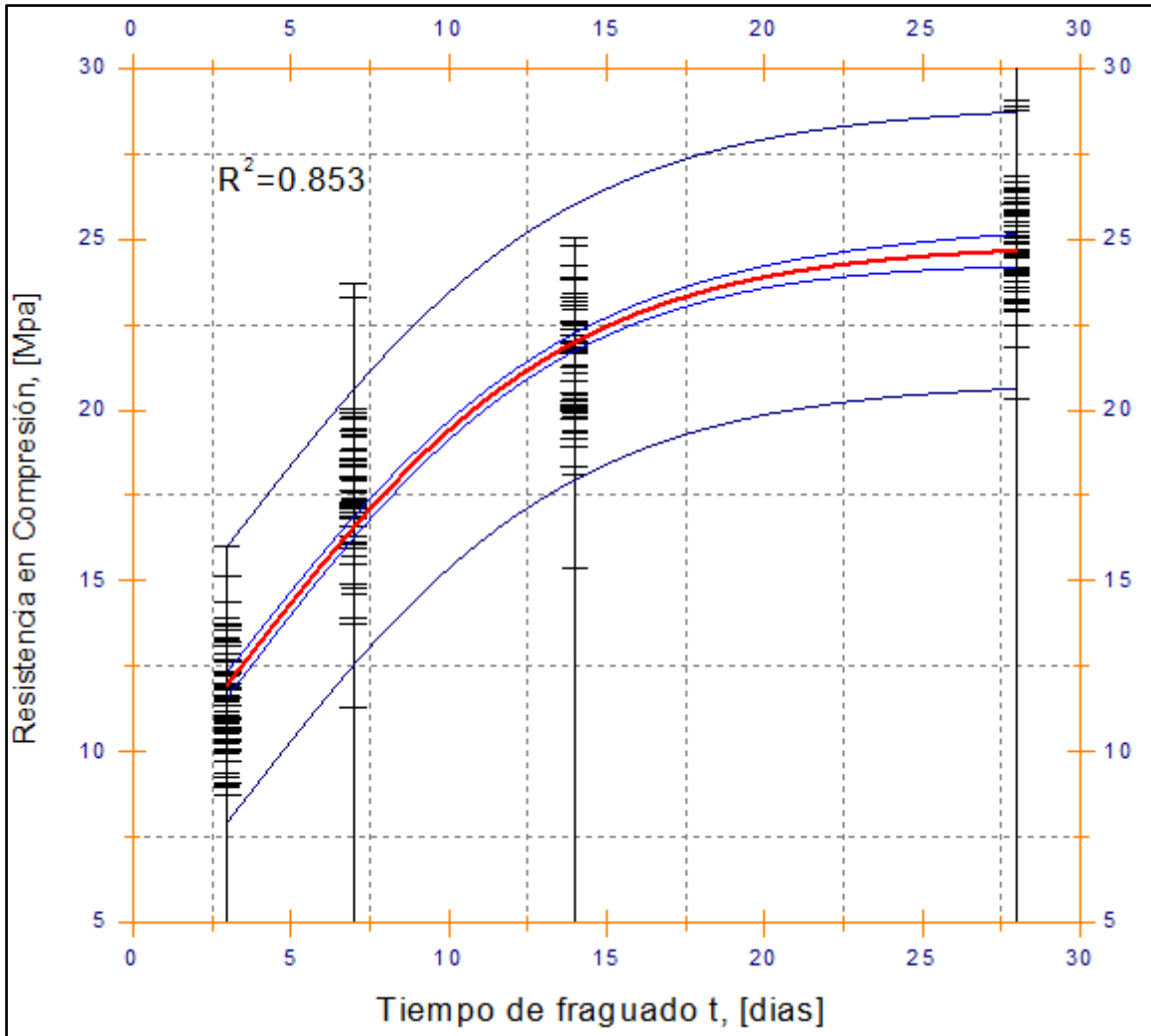
**Donde:**

- $\sigma_{28}$  = resistencia en compresión a los 28 días.
- $(a/c)$  = relación agua/cemento.

De este modelo estadístico y como se puede observar en la Grafica 4.5, se pudo determinar que para llegar a un  $f'c=24$  MPa la relación agua/cemento será de 0.68. Este modelo estadístico también permite determinar la relación agua/cemento necesaria para lograr resistencias en un rango que fluctúan desde los 20 MPa hasta los 37 MPa utilizando cemento estructura de alta resistencia inicial tipo HE.

#### **4.8.2. Modelo estadístico para proyectar la resistencia a compresión del concreto a 28 días cuando se utiliza cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE.**

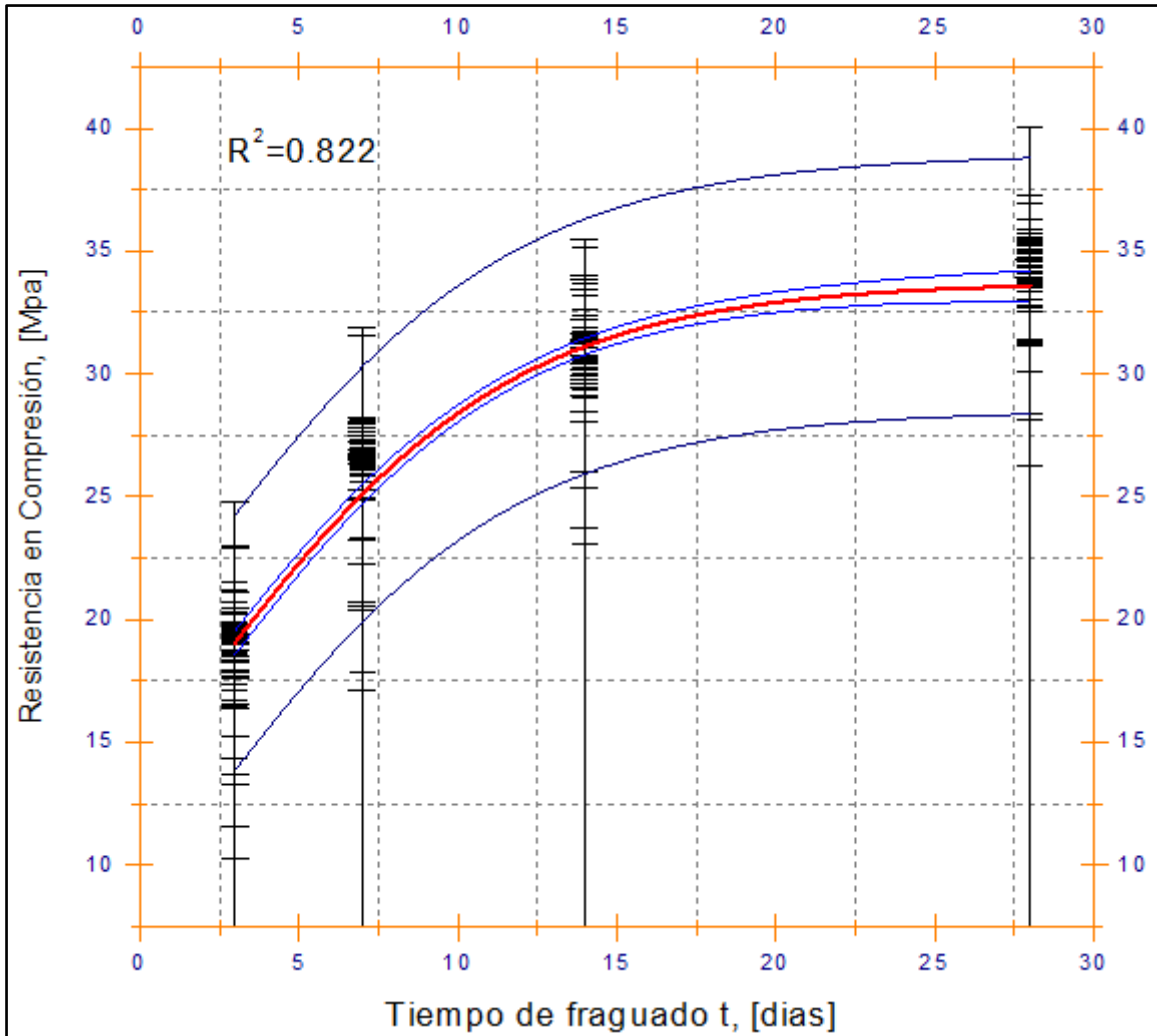
Se definió un modelo para proyectar la resistencia en compresión a 28 días, el cual se ajustó con un margen de confianza de 95% a los datos del ensayo en compresión obtenidos experimentalmente en laboratorio. (Gráfica 4.2.).



**Gráfica 4. 4.** Modelo que mejor se ajusta a datos de la resistencia en compresión de 240 probetas de concretos sin aditivo, preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 24 MPa.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.



**Gráfica 4. 5.** Modelo que mejor se ajusta a datos de la resistencia en compresión de 240 probetas de concretos con aditivo, preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 24 MPa.

Fuente: Los autores.

Elaboración: Los autores.

Deducimos la ecuación (2) de los resultados ilustrados en la Gráfica 4.4 y 4.5.

$$\sigma_{28}^P = \sigma_t \left( 1 + e^{-\frac{t-t_0}{k}} \right) \quad \begin{cases} \text{Sin aditivo} \rightarrow t_0 = 3.3 ; k = 5.2 \\ \text{Con aditivo} \rightarrow t_0 = 1.1 ; k = 5.2 \end{cases} \quad \text{ecuación(2)}$$

Donde:

- $\sigma_{28}^P$  = resistencia a la compresión (MPa) proyectada a los 28 días.
- $\sigma_t$  = resistencia a la compresión (MPa) determina a cierta edad de curado.
- $t$  = tiempo en días de determinada la resistencia en compresión  $\sigma_t$ .

### 4.8.3. Comprobación del modelo.

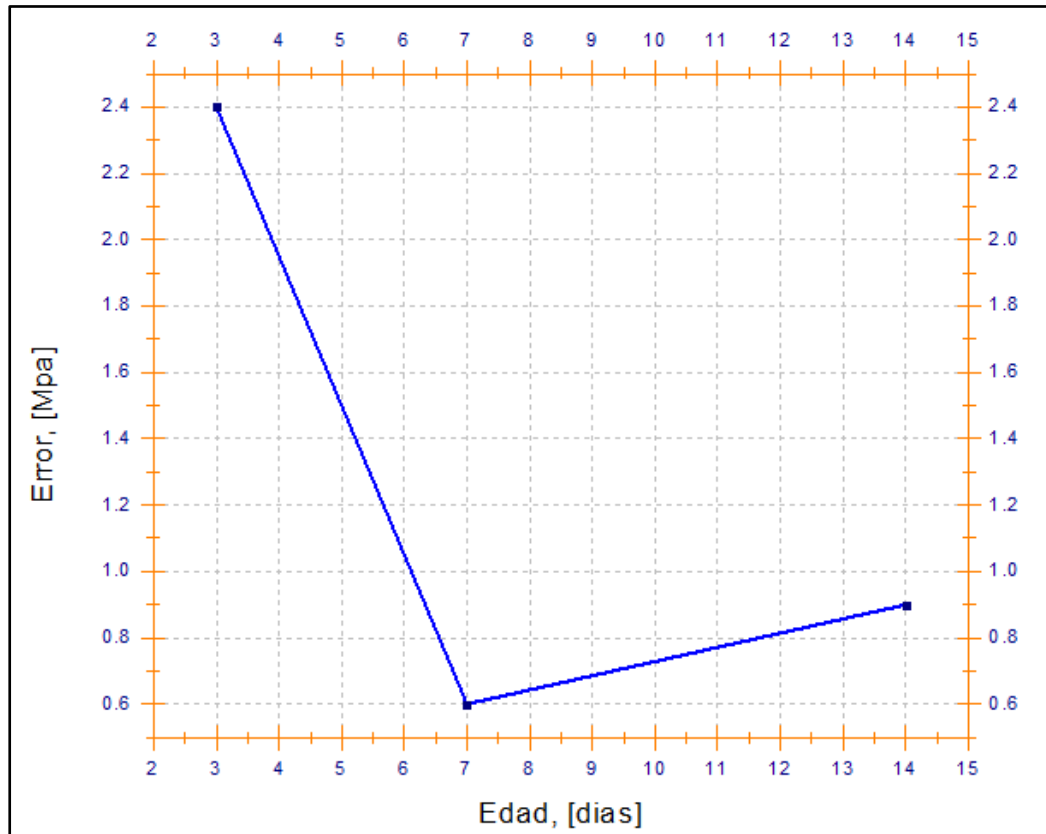
En la Tabla 4.16., se muestra el valor de la resistencia determinada experimentalmente en laboratorio a las distintas edades de curado establecidas, junto con la resistencia proyectada a 28 días utilizando la ecuación (2) derivada del modelo estadístico definido. Y conjuntamente se ha calculado el error absoluto que se obtiene de la ecuación (2) al utilizar los valores de resistencia a la compresión correspondientes a cada una de las distintas edades de curado.

**Tabla 4. 16.** Valores de resistencia proyectados y error absoluto después de usar la Ecuación (2), en conjunto con resultados de los ensayos en compresión de probetas preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 21 , 24 y 30 MPa.

<i>t</i>	$\sigma_{28} = 21 \text{ MPa}$			$\sigma_{28} = 24 \text{ MPa}$			$\sigma_{28} = 30 \text{ MPa}$		
[días]	$\sigma_t$	$\sigma_{28}^P$	$ \sigma_{t=28} - \sigma_{28}^P $	$\sigma_t$	$\sigma_{28}^P$	$ \sigma_{t=28} - \sigma_{28}^P $	$\sigma_t$	$\sigma_{28}^P$	$ \sigma_{t=28} - \sigma_{28}^P $
3	9.1	18.7	2.3	11.6	23.8	1.1	12.9	26.6	3.8
7	14.0	20.9	0.2	17.3	25.8	0.9	20.1	29.9	0.6
14	17.6	19.9	1.2	21.3	24.1	0.9	26.5	29.9	0.6
28	21.1	21.3	0.2	24.9	25.2	0.2	30.5	30.7	0.3

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores



**Gráfica 4. 6.** Error absoluto de comprobación del modelo estadístico (sin aditivo)

Fuente: Los autores

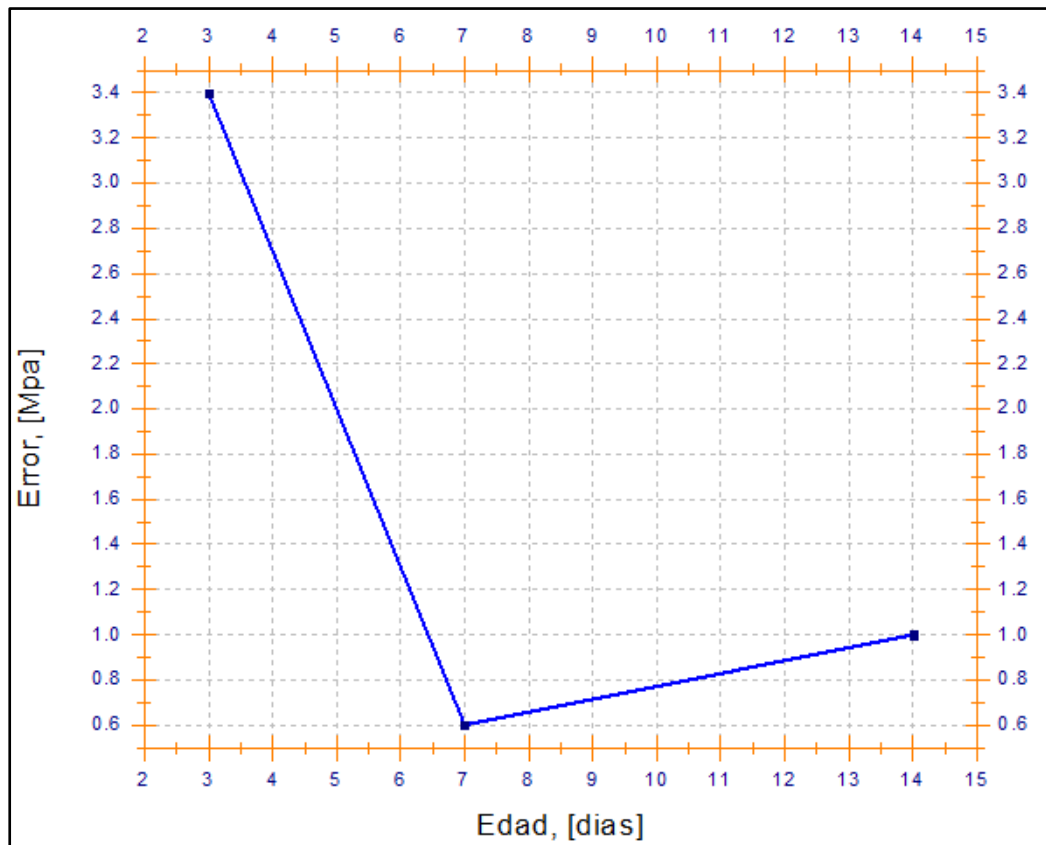
Elaboración: Los autores

De igual manera, en la Tabla 4.17., se presenta la misma comparación pero para cuando se incluye el aditivo plastificante en la mezcla del concreto.

**Tabla 4. 17.** Valores de resistencia proyectados y error absoluto después de usar la Ecuación (2), en conjunto con resultados de los ensayos en compresión de probetas preparadas para desplegar a los 28 días una resistencia de 21 , 24 y 30 MPa. (Con aditivo)

<i>t</i>	$\sigma_{28} = 21 \text{ MPa}$			$\sigma_{28} = 24 \text{ MPa}$			$\sigma_{28} = 30 \text{ MPa}$		
[días]	$\sigma_t$	$\sigma_{28}^P$	$ \sigma_{t=28} - \sigma_{28}^P $	$\sigma_t$	$\sigma_{28}^P$	$ \sigma_{t=28} - \sigma_{28}^P $	$\sigma_t$	$\sigma_{28}^P$	$ \sigma_{t=28} - \sigma_{28}^P $
3	16.3	23.8	6.7	18.8	31.8	2.0	22.1	37.4	1.5
7	22.5	29.8	0.7	25.6	33.9	0.1	30.2	40.0	1.0
14	27.2	29.5	1.0	30.5	33.1	0.8	34.9	37.8	1.2
28	30.5	30.7	0.2	33.8	34.0	0.2	39.0	39.2	0.2

Fuente: Los autores.  
Elaboración: Los autores.



**Gráfica 4. 7.** Error absoluto de comprobación del modelo estadístico (con aditivo)

Fuente: Los autores  
Elaboración: Los autores

El objetivo de la investigación como ya se ha mencionado es predecir la resistencia a compresión a la edad de 28 días de curado en base a la resistencia determinada a edades tempranas, con el afán de ahorrar tiempo y realizar mejoras o ajustes en la mezcla del concreto en caso de ser requerido. En este estudio se ha considerado como “edades tempranas” la edad de curado a 3 y 7 días, y en algunos casos se podría incluir la edad a los

14 días. Analizando los resultados obtenidos se pudo observar que el menor error absoluto se da cuando se trabaja con la resistencia a la compresión determinada a los 7 días de curado, ofreciendo una proyección de la resistencia a la compresión a los 28 días que varía en  $\pm 1$  MPa de la resistencia medida mediante procesos experimentales en laboratorio como es la prueba estándar destructiva de compresión uniaxial.

## CONCLUSIONES

- Se definió un modelo estadístico que, permite proyectar la resistencia en compresión que desplegaran a los 28 días las probetas preparadas con mezclas de cemento tipo HE de alta resistencia inicial.
- Al proyectar la resistencia en compresión del concreto a 28 días mediante el modelo, utilizando como insumo los resultados de ensayos en compresión realizados a los 7 días de fraguado, se obtiene el menor error absoluto de  $\pm 1$  MPa.
- El insumo de los ensayos en compresión realizados a los 3 días de fraguado, presentan el mayor error absoluto al proyectar la resistencia en compresión a los 28 días, utilizando el modelo estadístico.
- De la correlación entre la relación agua/cemento y la resistencia en compresión a 28 días de fraguado, se encontró un modelo estadístico que permite estimar con un margen de confianza de 95% la relación agua/cemento, cuando se trabaje con material cementante de características estructurales de alta resistencia inicial (Tipo HE).
- Por la inclusión de aditivo plastificante, el agua de amasado en la dosificación se reduce, cambiando la relación agua/cemento y por ende afectando de manera positiva a la resistencia del concreto, aumentando la resistencia a la compresión en aproximadamente 10 MPa.
- El incremento en la temperatura del agua de curado afecta significativamente en la ganancia de resistencia durante el transcurso de los tres primeros días de curado.

## RECOMENDACIONES

- Es importante tener presente que la viabilidad de uso del modelo se circunscribe a condiciones de curado convencionales en el medio ambiente del sur oriente del Ecuador, específicamente en la región andina-tropical, donde el uso de otros modelos compromete la fiabilidad del resultado.
- Como limitante de la expresión matemática definida es, el análisis de la evolución de la resistencia en compresión del concreto desde los 3 días hasta los 28 días. Teniendo muy en cuenta que el concreto a medida que pasa el tiempo sigue ganado resistencia, de forma paulatinamente casi imperceptible.
- Realizar una comparación de los modelos estadísticos representados en esta investigación, con resultados obtenidos cuando se utilice áridos redondeados.
- El modelo estadístico que proyecta la resistencia en compresión a los 28 días de fraguado solo es aplicable cuando se utilice como material cementante, al cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE.
- Si se desea tener una mayor exactitud en la proyección de la resistencia en compresión a los 28 días al utilizar el modelo estadístico, se debe utilizar el insumo de los resultados de ensayos a la compresión realizados a los 7 días de fraguado.
- Los áridos deben estar libres de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas que puedan afectar las reacciones químicas de fraguado o produzcan porosidades indeseables.
- El material cementante de ser almacenado en sitio cubierto, seco, con ventilación apropiada, para garantizar que el mismo se encuentre en estado suelto y no presente grumos de fraguado anticipado.
- Para realizar un estudio en el cual se necesite garantizar la homogeneidad en el concreto, es necesario proveerse de una cantidad suficiente de materiales tomados de un mismo lugar de producción o almacenamiento.



- Para garantizar la calidad del concreto y el cumplimiento de sus condiciones y especificaciones iniciales como es el asentamiento, se debe realizar constantemente el ensayo del cono de Abrams.
- Controlar el contenido de humedad de los áridos, para realizar las correcciones, en caso de ser necesaria, en la cantidad de agua de amasado.

## BIBLIOGRAFÍA

- IMCYC. (2006). Pruebas de resistencia a la compresión del concreto. *EL CONCRETO EN LA OBRA, PROBLEMAS CAUSAS Y SOLUCIONES*, 20.
- Kosmatka et al. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. México: Portland Cement Association.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. México: Portland Cement Association.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2010). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México: Limusa Wiley.
- NILSON, A. H. (1999). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.
- NTE INEN 695. (2010). ÁRIDOS. Muestreo. En I. E. NORMALIZACIÓN, *NORMA TECNICA ECUATORIANA* (pág. 5). Quito.
- NTE INEN 696. (2010). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. En I. E. NORMALIZACIÓN, *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA* (pág. 1). Quito.
- NTE INEN 856. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. En I. E. NORMALIZACIÓN, *NORMA TECNICA ECUATORIANA* (pág. 3). Quito.
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. En I. E. NORMALIZACIÓN, *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA* (pág. 3). Quito.
- Universidad Técnica Nacional de Atenas. (14 de Septiembre de 1995).

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Cálculo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino (NTE INEN 856).**

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
<b>Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.</b>	
<b>Fecha de muestreo:</b>	25/04/2014
<b>Fecha de ensayo:</b>	08/05/2014
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de resistencia de materiales
<b>Laboratoristas:</b>	Leonard Patricio Álvarez Gahona. Juan Antonio Carvallo Campoverde.
<b>Identificación de la muestra:</b>	Árido fino TFT – cantera Río Malacatos
<b>Norma:</b>	NTE INEN 856:2010
<b>Símbolos:</b>	
A = masa de la muestra seca al horno, g	
B = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g	
C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g	
S = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g	
SH = seco al horno	
SSS = saturado superficialmente seco	
<b>Masa obtenidas en el laboratorio:</b>	
A = 487.80 g	C = 1603.80 g
B = 1299.20 g	S = 500.01 g
<b>Cálculos:</b>	
<b>Densidad relativa (gravedad específica SH)</b>	
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) = $\frac{A}{(B+S-C)} = \frac{487.80}{(1299.20+500.01-1603.80)} = 2.50$	
<b>Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)</b>	
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) = $\frac{S}{(B+S-C)} = \frac{500.01}{(1299.20+500.01-1603.80)} = 2.56$	
<b>Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)</b>	
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) = $\frac{A}{(B+A-C)} = \frac{487.80}{(1299.20+487.80-1603.80)} = 2.66$	

**Densidad (SH)**

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997.5A}{(B+S-C)} = \frac{997.5 \times 487.80}{(1299.20 + 500.01 - 1603.80)} = 2490.05 \text{ kg/m}^3$$

**Densidad (SSS)**

$$\text{Densidad (SSS), kg/m}^3 = \frac{997.5S}{(B+S-C)} = \frac{997.5 \times 500.01}{(1299.20 + 500.01 - 1603.80)} = 2552.38 \text{ kg/m}^3$$

**Densidad aparente**

$$\text{Densidad aparente (SSS), kg/m}^3 = \frac{997.5A}{(B+A-C)} = \frac{997.5 \times 487.80}{(1299.20 + 487.80 - 1603.80)} = 2656.01 \text{ kg/m}^3$$

**Absorción**

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S-A)}{A} \times 100 = \frac{(500.01 - 487.80)}{487.80} \times 100 = 2.50\%$$

**Anexo 2. Cálculo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso (NTE INEN 857).**

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
<b>Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.</b>	
<b>Fecha de muestreo:</b> 25/04/2014	<b>Fecha de ensayo:</b> 08/05/2014
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de resistencia de materiales
<b>Laboratoristas:</b>	Leonard Patricio Álvarez Gahona. Juan Antonio Carvallo Campoverde.
<b>Identificación de la muestra:</b>	Árido grueso TFT – cantera Río Malacatos
<b>Norma:</b>	NTE INEN 857:2010
<b>Símbolos:</b>	
A = masa en el aire de la muestra seca al horno, g	
B = masa en el aire de la muestra saturada superficialmente, g	
C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g	
SH = seco al horno	
SSS = saturado superficialmente seco	
<b>Masa obtenidas en el laboratorio:</b>	
A = 3820 g	
B = 3890 g	
C = 2415 g	
<b>Cálculos:</b>	
<b>Densidad relativa (gravedad específica SH)</b>	
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) = $\frac{A}{(B-C)} = \frac{3820}{(3890-2415)} = 2.59$	
<b>Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)</b>	
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) = $\frac{B}{(B-C)} = \frac{3890}{(3890-2415)} = 2.64$	
<b>Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)</b>	
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)(SSS) = $\frac{A}{(A-C)} = \frac{3820}{(3820-2415)} = 2.72$	

**Densidad (SH)**

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997.5 \times A}{(B-C)} = \frac{997.5 \times 3820}{(3890-2415)} = 2583.36 \text{ kg/m}^3$$

**Densidad (SSS)**

$$\text{Densidad (SSS), kg/m}^3 = \frac{997.5 \times B}{(B-C)} = \frac{997.5 \times 3890}{(3890-2415)} = 2630.69 \text{ kg/m}^3$$

**Densidad aparente**

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997.5A}{(A-C)} = \frac{997.5 \times 3820}{(3820-2415)} = 2712.06 \text{ kg/m}^3$$

**Absorción**

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(B-A)}{A} \times 100 = \frac{(3890-3820)}{3820} \times 100 = 1.83\%$$

**Anexo 3. Cálculo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858).**

<b>UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA</b> <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico).</b>	
<b>Fecha de muestreo:</b> 25/04/2014	<b>Fecha de ensayo:</b> 08/05/2014
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de resistencia de materiales
<b>Laboratoristas:</b>	Leonard Patricio Álvarez Gahona. Juan Antonio Carvallo Campoverde.
<b>Identificación de la muestra:</b>	Árido grueso TFT – cantera Río Malacatos
<b>Norma:</b>	NTE INEN 858:2010
<b>Símbolos:</b> <b>M</b> = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m <sup>3</sup> <b>G</b> = masa del árido más el molde, kg <b>T</b> = masa del molde, m <sup>3</sup> <b>V</b> = volumen del molde, m <sup>3</sup> <b>S</b> = gravedad específica (en condición seca) <b>Da</b> = densidad del agua, 998 kg/m <sup>3</sup> <b>W</b> = masa del agua, placa de vidrio y molde, kg <b>M</b> = masa de la placa de vidrio y molde, kg <b>D</b> = densidad del agua para la temperatura de medición, kg/m <sup>3</sup> <b>F</b> = factor del molde, 1/m <sup>3</sup>	
<b>Masa obtenidas en el laboratorio:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"><b>W</b> = 24.90 kg</div> <div style="text-align: center;"><b>G</b> = 31.20 kg</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"><b>M</b> = 10.80 kg</div> <div style="text-align: center;"><b>T</b> = 9.64 kg</div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"><b>D</b> = 998.244 kg/m<sup>3</sup></div>	
<b>Cálculos:</b> <b>Volumen del molde.</b> $V = \frac{(W - M)}{D} = \frac{(24.90 - 10.80)}{998.244} = 0.014 \text{ m}^3$	



**Masa unitaria (peso volumétrico)**

$$M = \frac{(G - T)}{V} = \frac{(31.20 - 9.64)}{0.014} = 1526.39 \text{ kg/m}^3$$

**Anexo 4. Diseño y proporcionamiento de mezcla de concreto por el método del volumen absoluto.**

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
<b>Diseño y proporcionamiento de mezcla de concreto <math>f'c = 21</math> MPa – Método del volumen absoluto.</b>	
<b>Fecha:</b> 14/05/2014.	
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de resistencia de materiales
<b>Laboratoristas:</b>	Leonard Patricio Álvarez Gahona. Juan Antonio Carvallo Campoverde.
<b>Norma:</b>	PCA
<b>Condiciones y especificaciones</b>	
Se requiere un concreto de resistencia a la compresión especificada $f'c = 24$ MPa con un asentamiento de 25 mm, el cual estará expuesto a condiciones de laboratorio. No se cuenta con datos estadísticos anteriores.	
<b>Características de los materiales.</b>	
<b>Cemento:</b> Cemento estructural de alta resistencia inicial tipo HE	
<b>Árido grueso:</b> árido triturado bien gradado con tamaño máximo nominal de 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ pulg.), con masa específica relativa seca en el horno de 2.59, absorción de 1.83% y masa volumétrica varillada compactada de 1526.39 kg/m <sup>3</sup> . La muestra de la laboratorio para la mezcla de prueba presenta una humedad del 0.0%.	
<b>Árido fino:</b> arena de río, con masa específica relativa seca en el horno de 2.50, absorción del 2.50%. La muestra de la laboratorio para la mezcla de prueba presenta una humedad del 0.0%. El módulo de finura es de 2.70	
<b>Resistencia:</b> como no hay datos estadísticos disponibles $f'cr = 24$ MPa	
<b>Relación agua/cemento:</b> la relación agua/cemento recomendada para la resistencia de 21 MPa es igual 0.67 según la <i>(Tabla 9-3 Dependencia entre la relación agua – material cementante y la resistencia a la compresión del concreto)</i> del PCA.	
<b>Asentamiento:</b> el asentamiento especificado es de 25 mm	
<b>Contenido de agua:</b> según la <i>(Tabla 9-5 Requisitos aproximados de agua de mezcla y</i>	

contenido de aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales del agregado) la cantidad de agua necesaria es de 190 kg debido a que se cuenta con un árido grueso de tamaño máximo nominal de 19.0 mm y se especifica un asentamiento de 25 mm

**Contenido de cemento:**

$$\frac{a}{c} = 0.67 \quad \text{Donde:} \quad \begin{cases} a \rightarrow \text{Agua} \\ c \rightarrow \text{Cemento} \end{cases} \therefore c = \frac{190}{0.67} = 284 \text{ kg}$$

**Contenido de árido grueso:** la cantidad de árido grueso de tamaño máximo nominal de 19.0 mm se puede estimar según la (Tabla 9-4 Volumen de árido grueso por volumen unitario de concreto). Teniendo un volumen de árido grueso de 0.63 debido a que se cuenta con un árido fino que tiene un MF = 2.70. Como el árido tiene una masa seca al horno de 1536.29 kg/m<sup>3</sup> la cantidad necesaria de árido grueso por m<sup>3</sup> es:

$$0.63m^3 \times 1536.29kg/m^3 = 962 \text{ kg}$$

**Contenido de árido fino:** el volumen del agregado fino se determina sustrayendo de 1m<sup>3</sup> los volúmenes absolutos de los ingredientes ya determinados. El volumen absoluto se determina de la siguiente manera:

<i>Agua</i>	=	$\frac{190}{1 \times 1000}$	=	$0.19m^3$
<i>Cemento</i>	=	$\frac{284}{3 \times 1000}$	=	$0.09m^3$
<i>Árido grueso</i>	=	$\frac{962}{2.59 \times 1000}$	=	$0.37m^3$
<b>Volumen total de los ingredientes</b>				$0.66m^3$

$$\text{Árido fino} = (1 - 0.66) \times 2490.05 = 807 \text{ kg}$$

**Resumen de la proporción de los ingredientes para 1m3 de concreto.**

Agua = 190 kg

Cemento = 284 kg

Árido grueso = 962 kg

Árido fino = 807 kg

## Anexo 5. Determinación del asentamiento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
<b>Determinación del asentamiento.</b>	
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de resistencia de materiales
<b>Laboratoristas:</b>	Leonard Patricio Álvarez Gahona. Juan Antonio Carvallo Campoverde.
<b>Identificación de la muestra:</b>	Concreto $f'c = 24$ MPa - TFT
<b>Norma:</b>	NTE INEN 1578:2010
<b>Equipos:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Molde – Cono de Abrams.</li><li>• Varilla de compactación.</li><li>• Instrumento de medida – flexómetro.</li><li>• Cucharón.</li></ul>	
<b>Procedimiento:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, rígida, húmeda y no absorbente.</li><li>• El operador debe sostener firmemente el molde en su lugar durante el llenado y limpieza del perímetro.</li><li>• Llenar el molde en tres capas y compactar cada una de ellas con 25 golpes utilizando la varilla de compactación. Cada capa debe ser de aproximadamente un tercio del volumen del molde.</li><li>• Al llenar la capa superior, mantenerse un excedente de concreto sobre la parte superior del molde antes de empezar la compactación.</li><li>• Enrasar la superficie del concreto rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde.</li><li>• Continuar presionando el molde durante la limpieza del área que rodea la base del molde para evitar interferencia con el movimiento de asentamiento del concreto.</li><li>• Retirar el molde levantando cuidadosamente en dirección vertical en <math>5\text{ s} \pm 2\text{ s}</math>.</li><li>• Medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.</li><li>• Este ensayo debe ser realizado dentro de un periodo de <math>2\frac{1}{2}</math> minutos.</li></ul>	
<b>Resultado:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Asentamiento del concreto (<math>f'c = 24</math> MPa) = 25 mm</li></ul>	

## Anexo 6. Elaboración de probetas cilíndricas a ser ensayadas.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
<b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>Elaboración de probetas cilíndricas a ser ensayadas.</b>	
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de resistencia de materiales
<b>Laboratoristas:</b>	Leonard Patricio Álvarez Gahona. Juan Antonio Carvallo Campoverde.
<b>Identificación de la muestra:</b>	Concreto $f'c = 24$ MPa - TFT
<b>Norma:</b>	NTE INEN 1576:2010
<b>Equipos:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Molde – cilindros 150x300 mm que cumplan con los requisitos de la norma ASTM C 470</li><li>• Varilla de compactación.</li><li>• Martillo de goma.</li><li>• Herramientas de colocación.</li><li>• Herramientas para el terminado.</li><li>• Equipo para medir asentamiento.</li><li>• Recipiente para toma de muestras</li></ul>
<b>Procedimiento para moldeo de probetas cilíndricas.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Moldear los especímenes lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones.</li><li>• Seleccionar la varilla de compactación según el numeral 5.2.4 y la Tabla 1.</li><li>• De la Tabla 2 determinar el método de compactación.</li><li>• Determinar los requisitos para el moldeo según la Tabla 3.</li><li>• Seleccionar un cucharón del tamaño descrito en el numeral 5.2.7.</li><li>• Asegurar una distribución del concreto con una mínima segregación, moviendo el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde.</li><li>• Luego de que cada capa ha sido compactada según el numeral 5.6.4.1, golpear en el exterior del molde de 10 a 15 veces con el martillo de goma.</li><li>• Luego de la compactación, igualar y terminar la superficie superior con la varilla compactadora cuando la consistencia lo permita o con una llana o paleta.</li><li>• Marcar las probetas cilíndricas para su identificación y del concreto que representan.</li></ul>
<b>Resultado:</b>	Se han elaborado un total de 544 probeta cilíndricas de 150x300 mm, cumpliendo con los requisitos de la NTE INEN 1576:2010

**Anexo 7. Curado de probetas cilíndricas a ser ensayadas.**

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b> <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>Elaboración de probetas cilíndricas a ser ensayadas.</b>	
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de resistencia de materiales
<b>Laboratoristas:</b>	Leonard Patricio Álvarez Gahona. Juan Antonio Carvallo Campoverde.
<b>Identificación de la muestra:</b>	Concreto $f'c = 24$ MPa - TFT
<b>Norma:</b>	NTE INEN 1576:2010
<b>Equipos:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Piscina para curado de probetas cilíndricas de 150x300 mm, de cualquier material que no permita la filtración de agua ni que se corra ni deteriore por la influencia del agua.</li></ul>	
<b>Curado.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Moldear los especímenes lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones.</li><li>• El curado debe ser capaz de mantener las condiciones de humedad y temperatura apropiadas durante el periodo de curado.</li></ul>	
<b>Resultado:</b> <p>Se han elaborado un total de 544 probetas cilíndricas de 150x300 mm, cumpliendo con los requisitos de la NTE INEN 1576:2010</p>	

**Anexo 8. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.  
Resultados de  $f'_c = 24$  MPa (sin aditivo).**

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
1	3	5.970	5.937	5.873	150.54	17798	298	298	296	297.33	172.60	9.70
2	3	6.015	6.016	6.023	152.86	18351	303	302	303	302.67	182.50	9.94
3	7	5.951	5.958	5.967	151.35	17991	297	297	297	297.00	293.00	16.29
4	7	5.906	5.933	5.937	150.50	17790	300	300	303	301.00	280.00	15.74
5	14	5.878	5.875	5.876	149.26	17497	298	298	298	298.00	351.60	20.09
6	14	5.978	6.022	6.044	152.77	18331	297	298	298	297.67	375.90	20.51
7	28	5.835	5.819	5.813	147.89	17177	299	298	300	299.00	423.20	24.64
8	28	5.879	5.897	5.894	149.61	17579	303	303	303	303.00	424.20	24.13
9	3	5.912	5.887	5.881	149.69	17599	300	300	300	300.00	153.00	8.69
10	3	5.795	5.840	5.805	147.66	17124	296	296	296	296.00	155.80	9.10
11	7	5.932	5.936	5.895	150.39	17764	303	301	301	301.67	301.80	16.99
12	7	5.854	5.926	5.889	149.60	17577	298	300	300	299.33	282.40	16.07
13	14	5.907	5.920	5.915	150.22	17722	295	296	295	295.33	349.60	19.73
14	14	6.021	6.015	6.002	152.72	18319	304	304	305	304.33	368.30	20.11
15	28	5.954	5.931	5.950	151.00	17909	303	300	303	302.00	456.30	25.48
16	28	5.961	5.964	5.962	151.44	18013	300	299	300	299.67	463.00	25.70
17	3	5.834	5.913	5.885	149.28	17503	301	300	302	301.00	215.70	12.32
18	3	5.888	5.939	5.927	150.32	17746	299	299	298	298.67	210.30	11.85
19	7	5.822	5.844	5.843	148.24	17260	298	297	299	298.00	340.50	19.73
20	7	5.732	5.770	5.783	146.35	16821	293	293	293	293.00	337.30	20.05
21	14	6.002	5.988	5.986	152.20	18193	304	304	304	304.00	421.20	23.15
22	14	5.898	5.912	5.907	150.00	17672	294	295	296	295.00	442.40	25.03
23	28	5.902	5.902	5.901	149.90	17648	300	301	300	300.33	512.90	29.06
24	28	5.808	5.830	5.817	147.79	17154	298	299	298	298.33	495.70	28.90
25	3	5.937	5.940	5.924	150.72	17840	303	302	302	302.33	202.90	11.37
26	3	5.863	5.888	5.877	149.25	17495	294	293	293	293.33	206.40	11.80
27	7	5.996	5.945	5.924	151.26	17969	296	296	296	296.00	307.00	17.09
28	7	5.844	5.871	5.864	148.84	17398	297	297	297	297.00	280.00	16.09
29	14	5.931	5.931	5.921	150.56	17804	300	301	301	300.67	379.90	21.34

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
30	14	5.911	5.907	5.897	149.99	17668	303	302	302	302.33	409.10	23.15
31	28	5.862	5.892	5.909	149.55	17565	301	300	301	300.67	446.00	25.39
32	28	6.008	6.020	6.010	152.72	18319	304	304	304	304.00	438.30	23.93
33	3	5.817	5.926	5.897	149.35	17519	298	299	298	298.33	243.90	13.92
34	3	5.856	5.928	5.927	149.95	17660	302	302	302	302.00	231.70	13.12
35	7	5.985	5.999	5.966	151.98	18140	298	298	298	298.00	306.70	16.91
36	7	5.866	5.896	5.910	149.62	17583	295	294	294	294.33	283.20	16.11
37	14	5.753	5.774	5.794	146.65	16891	294	294	294	294.00	319.60	18.92
38	14	5.855	5.861	5.841	148.65	17355	297	298	299	298.00	366.20	21.10
39	28	5.900	5.939	5.904	150.22	17724	300	300	300	300.00	435.60	24.58
40	28	5.871	5.877	5.877	149.23	17489	302	302	302	302.00	438.00	25.04
41	3	5.871	5.896	5.903	149.61	17579	294	294	295	294.33	186.50	10.61
42	3	5.926	5.933	5.915	150.49	17786	299	300	300	299.67	189.00	10.63
43	7	5.932	5.931	5.924	150.60	17812	299	301	300	300.00	248.00	13.92
44	7	5.908	5.885	5.878	149.61	17581	301	303	303	302.33	310.40	17.66
45	14	5.978	5.980	5.977	151.85	18110	304	304	304	304.00	393.50	21.73
46	14	5.975	5.974	5.979	151.79	18096	304	304	304	304.00	370.20	20.46
47	28	5.838	5.821	5.822	148.01	17205	299	299	298	298.67	399.30	23.21
48	28	5.896	5.894	5.900	149.78	17619	298	297	297	297.33	453.60	25.75
49	3	5.904	5.920	5.913	150.17	17712	300	300	300	300.00	178.70	10.09
50	3	5.941	5.941	5.934	150.84	17870	300	300	299	299.67	185.30	10.37
51	7	5.908	5.952	5.935	150.66	17828	300	300	301	300.33	319.10	17.90
52	7	5.996	6.029	6.018	152.76	18329	304	304	304	304.00	304.00	16.59
53	14	5.949	5.987	5.986	151.74	18084	298	299	298	298.33	407.70	22.55
54	14	5.784	5.864	5.890	148.49	17317	294	294	294	294.00	377.10	21.78
55	28	5.810	5.847	5.829	148.05	17215	300	299	300	299.67	455.00	26.43
56	28	5.895	5.918	5.884	149.83	17633	303	303	303	303.00	473.60	26.86
57	3	5.768	5.777	5.795	146.81	16928	294	293	293	293.33	151.70	8.96
58	3	5.887	5.910	5.905	149.88	17642	295	294	295	294.67	159.20	9.02
59	7	5.948	5.962	5.940	151.13	17939	299	299	299	299.00	308.10	17.18
60	7	5.909	5.920	5.924	150.31	17744	303	300	302	301.67	299.80	16.90



Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
61	14	5.857	5.856	5.819	148.44	17305	299	299	299	299.00	380.00	21.96
62	14	5.870	5.881	5.881	149.28	17503	303	303	303	303.00	338.90	19.36
63	28	5.903	5.925	5.929	150.34	17752	300	301	301	300.67	425.50	23.97
64	28	5.995	5.983	5.985	152.09	18167	305	304	305	304.67	416.60	22.93
65	3	5.942	5.922	5.866	150.11	17698	296	298	298	297.33	191.50	10.82
66	3	5.761	5.781	5.785	146.70	16903	293	294	293	293.33	170.30	10.08
67	7	5.879	5.908	5.917	149.89	17646	302	303	302	302.33	272.70	15.45
68	7	5.812	5.915	5.919	149.40	17531	302	302	302	302.00	290.80	16.59
69	14	5.918	5.931	5.944	150.65	17824	301	301	301	301.00	371.40	20.84
70	14	5.861	5.895	5.886	149.37	17523	295	295	296	295.33	351.00	20.03
71	28	5.899	5.885	5.876	149.52	17559	300	301	300	300.33	383.80	21.86
72	28	5.997	5.980	5.989	152.11	18173	305	305	304	304.67	408.00	22.45
73	3	5.884	5.898	5.906	149.76	17615	301	301	303	301.67	185.50	10.53
74	3	5.971	5.838	5.996	150.75	17848	299	298	297	298.00	211.10	11.83
75	7	6.014	6.002	5.982	152.38	18237	297	298	298	297.67	334.40	18.34
76	7	5.937	5.953	5.935	150.92	17888	300	300	300	300.00	301.20	16.84
77	14	5.812	5.929	5.925	149.57	17571	302	303	303	302.67	380.10	21.63
78	14	5.978	5.983	5.986	151.95	18134	304	304	305	304.33	396.40	21.86
79	28	5.895	5.806	5.785	148.05	17215	298	299	299	298.67	428.60	24.90
80	28	5.986	5.987	5.987	152.06	18160	305	304	304	304.33	446.20	24.57
81	3	5.811	5.937	5.971	150.02	17676	298	299	298	298.33	192.40	10.88
82	3	5.897	5.921	5.900	150.01	17674	304	302	303	303.00	182.30	10.31
83	7	5.867	5.884	5.877	149.25	17495	303	303	303	303.00	301.50	17.23
84	7	5.826	5.823	5.813	147.84	17167	296	296	296	296.00	298.40	17.38
85	14	5.878	5.927	5.923	150.10	17694	300	300	301	300.33	359.90	20.34
86	14	5.946	5.985	5.983	151.67	18068	300	299	298	299.00	400.80	22.18
87	28	5.980	5.976	5.971	151.78	18094	304	304	304	304.00	425.00	23.49
88	28	5.982	5.981	5.988	151.99	18142	304	305	304	304.33	452.10	24.92
89	3	5.916	5.924	5.921	150.38	17760	304	303	303	303.33	217.80	12.26
90	3	5.857	5.895	5.912	149.56	17567	295	295	296	295.33	225.80	12.85

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
91	7	5.804	5.857	5.820	148.01	17205	298	298	298	298.00	236.00	13.72
92	7	5.870	5.914	5.910	149.81	17627	302	303	302	302.33	262.50	14.89
93	14	5.978	6.012	6.004	152.35	18229	296	296	297	296.33	407.10	22.33
94	14	5.980	5.988	5.984	151.99	18144	304	304	303	303.67	358.30	19.75
95	28	5.895	5.911	5.896	149.88	17642	300	300	300	300.00	408.30	23.14
96	28	5.900	5.908	5.928	150.16	17710	301	302	301	301.33	421.10	23.78
97	3	5.905	5.914	5.941	150.37	17758	300	301	301	300.67	225.00	12.67
98	3	5.974	5.979	5.995	151.96	18136	304	305	304	304.33	246.30	13.58
99	7	5.946	5.956	5.930	150.98	17903	299	298	299	298.67	356.60	19.92
100	7	5.909	5.894	5.910	149.97	17664	300	300	300	300.00	318.70	18.04
101	14	5.981	6.009	6.011	152.41	18243	304	304	304	304.00	334.50	18.34
102	14	5.812	5.830	5.813	147.79	17154	297	297	296	296.67	393.90	22.96
103	28	5.905	5.920	5.911	150.16	17710	303	302	302	302.33	468.80	26.47
104	28	5.939	5.909	5.897	150.24	17728	295	296	297	296.00	473.10	26.69
105	3	5.863	5.891	5.882	149.32	17511	295	295	296	295.33	231.60	13.23
106	3	5.923	5.870	5.857	149.44	17539	297	296	296	296.33	240.20	13.70
107	7	5.986	5.995	5.983	152.10	18169	305	305	304	304.67	336.40	18.52
108	7	5.895	5.917	5.920	150.13	17702	303	303	302	302.67	340.50	19.23
109	14	6.050	6.028	5.990	152.98	18380	296	297	297	296.67	438.10	23.84
110	14	5.910	5.925	5.904	150.19	17716	300	300	300	300.00	272.60	15.39
111	28	5.836	5.851	5.849	148.47	17313	298	299	298	298.33	424.80	24.54
112	28	5.992	5.991	5.993	152.20	18193	305	304	305	304.67	467.90	25.72
113	3	5.876	5.939	5.893	149.93	17654	300	300	300	300.00	210.80	11.94
114	3	6.000	5.994	5.988	152.25	18205	304	305	304	304.33	229.80	12.62
115	7	5.758	5.760	5.788	146.52	16862	294	293	294	293.67	296.00	17.55
116	7	5.867	5.884	5.889	149.35	17519	301	300	300	300.33	338.10	19.30
117	14	5.843	5.833	5.825	148.18	17244	299	299	298	298.67	387.00	22.44
118	14	5.915	5.920	5.914	150.27	17736	299	298	298	298.33	440.10	24.81
119	28	5.950	5.987	5.947	151.42	18007	298	299	298	298.33	518.30	28.78
120	28	5.933	5.950	5.935	150.86	17874	301	301	301	301.00	468.60	26.22
121	3	5.965	5.987	5.942	151.50	18027	298	299	298	298.33	179.30	9.95

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
122	3	5.872	5.883	5.897	149.45	17543	300	300	300	300.00	188.30	10.73
123	7	5.735	5.766	5.756	146.11	16767	293	293	293	293.00	289.70	17.28
124	7	5.999	5.994	5.968	152.07	18163	303	303	303	303.00	359.90	19.82
125	14	5.921	5.860	5.833	149.13	17468	298	297	297	297.33	353.80	20.25
126	14	5.906	5.916	5.925	150.26	17732	297	297	298	297.33	423.20	23.87
127	28	5.882	5.888	5.887	149.50	17553	303	304	303	303.33	452.50	25.78
128	28	5.925	5.927	5.909	150.38	17760	300	300	300	300.00	458.40	25.81
129	3	5.966	5.972	5.986	151.76	18088	305	304	304	304.33	200.20	11.07
130	3	5.910	5.902	5.902	149.98	17666	300	300	300	300.00	203.80	11.54
131	7	5.737	5.736	5.810	146.33	16817	294	293	293	293.33	312.20	18.56
132	7	5.863	5.858	5.819	148.51	17321	299	297	297	297.67	343.20	19.81
133	14	5.874	5.878	5.875	149.24	17493	302	302	302	302.00	423.90	24.23
134	14	5.976	5.982	5.993	151.99	18142	305	304	305	304.67	432.10	23.82
135	28	6.030	6.020	6.031	153.09	18406	298	300	299	299.00	480.30	26.09
136	28	5.889	5.901	5.911	149.87	17640	296	295	296	295.67	455.60	25.83
137	3	5.863	5.899	5.903	149.56	17569	300	300	301	300.33	203.70	11.59
138	3	5.956	5.890	5.864	149.94	17658	298	299	298	298.33	193.70	10.97
139	7	5.882	5.896	5.878	149.49	17551	304	302	302	302.67	351.00	20.00
140	7	5.967	5.971	5.952	151.47	18019	299	298	299	298.67	349.60	19.40
141	14	5.909	5.924	5.910	150.22	17724	302	302	302	302.00	410.50	23.16
142	14	5.825	5.832	5.857	148.29	17270	298	297	297	297.33	398.40	23.07
143	28	6.020	6.009	5.968	152.37	18235	297	297	297	297.00	474.60	26.03
144	28	5.925	5.931	5.912	150.44	17774	300	300	300	300.00	469.30	26.40
145	3	5.827	5.864	5.834	148.38	17291	297	298	297	297.33	218.20	12.62
146	3	5.773	5.786	5.785	146.85	16936	292	292	293	292.33	194.30	11.47
147	7	5.876	5.986	5.884	150.25	17730	303	302	302	302.33	319.50	18.02
148	7	5.903	5.917	5.896	150.00	17670	299	298	299	298.67	332.40	18.81
149	14	5.879	5.904	5.902	149.73	17609	295	296	295	295.33	337.80	19.18
150	14	5.901	5.913	5.909	150.05	17684	301	300	300	300.33	352.50	19.93
151	28	6.000	5.876	5.870	150.25	17730	298	298	299	298.33	437.60	24.68

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
152	28	5.993	5.983	5.975	151.99	18142	305	305	304	304.67	436.70	24.07
153	3	5.882	5.893	5.878	149.46	17545	300	300	300	300.00	175.20	9.99
154	3	5.828	5.820	5.829	147.97	17197	299	298	299	298.67	210.00	12.21
155	7	5.827	5.821	5.806	147.78	17152	300	299	299	299.33	250.90	14.63
156	7	5.902	5.917	5.917	150.16	17710	303	302	303	302.67	274.40	15.49
157	14	5.860	5.951	5.890	149.87	17640	294	294	295	294.33	340.50	19.30
158	14	5.893	5.912	5.932	150.17	17712	299	300	300	299.67	386.90	21.84
159	28	5.877	5.884	5.885	149.40	17531	302	302	302	302.00	423.10	24.13
160	28	5.771	5.830	5.798	147.31	17044	294	294	294	294.00	345.90	20.29
161	3	6.031	6.032	6.039	153.26	18449	298	299	298	298.33	295.30	16.01
162	3	5.891	5.846	5.817	148.62	17349	298	299	298	298.33	231.30	13.33
163	7	5.939	5.950	5.948	151.02	17913	300	300	299	299.67	417.20	23.29
164	7	5.997	5.999	5.995	152.32	18223	305	305	305	305.00	431.90	23.70
165	14	6.025	6.035	6.025	153.12	18414	305	304	304	304.33	438.40	23.81
166	14	5.980	5.982	5.981	151.92	18126	305	305	305	305.00	419.60	23.15
167	28	5.882	5.891	5.903	149.66	17591	300	301	300	300.33	529.60	30.11
168	28	5.833	5.919	5.909	149.53	17561	297	296	297	296.67	570.90	32.51
169	3	5.866	5.916	5.916	149.84	17635	297	296	297	296.67	205.50	11.65
170	3	5.865	5.876	5.920	149.53	17561	300	300	300	300.00	196.30	11.18
171	7	5.998	5.981	5.969	151.96	18136	305	305	304	304.67	333.80	18.41
172	7	5.979	5.983	5.999	152.07	18163	306	305	306	305.67	310.70	17.11
173	14	5.956	5.996	5.982	151.84	18108	298	298	297	297.67	424.20	23.43
174	14	6.008	6.004	6.005	152.54	18276	303	303	303	303.00	412.90	22.59
175	28	5.980	5.988	5.997	152.10	18171	297	298	297	297.33	446.00	24.55
176	28	5.873	5.950	5.937	150.37	17758	297	297	298	297.33	416.80	23.47
177	3	5.836	5.852	5.842	148.42	17301	298	299	298	298.33	248.40	14.36
178	3	5.879	5.899	5.899	149.67	17593	300	301	300	300.33	266.00	15.12
179	7	5.972	5.942	5.937	151.14	17941	297	299	296	297.33	323.10	18.01
180	7	5.870	5.863	5.870	149.04	17446	299	299	299	299.00	302.30	17.33
181	14	5.887	5.896	5.903	149.74	17611	302	303	302	302.33	374.40	21.26
182	14	5.894	5.912	5.910	150.00	17670	303	303	302	302.67	319.60	18.09

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
183	28	5.901	5.916	5.907	150.06	17686	300	301	300	300.33	445.40	25.18
184	28	5.783	5.840	5.803	147.54	17097	296	294	294	294.67	383.70	22.44
185	3	5.909	5.917	5.907	150.14	17704	304	304	303	303.67	164.00	9.26
186	3	5.911	5.918	5.900	150.11	17696	301	301	303	301.67	165.70	9.36
187	7	6.007	6.019	6.014	152.74	18323	303	303	303	303.00	206.90	11.29
188	7	5.865	5.920	5.924	149.94	17656	297	296	296	296.33	261.50	14.81
189	14	5.888	5.902	5.911	149.87	17640	299	300	300	299.67	348.90	19.78
190	14	5.902	5.909	5.904	149.99	17668	299	299	299	299.00	352.90	19.97
191	28	5.933	5.947	5.945	150.92	17888	298	298	298	298.00	422.10	23.60
192	28	5.769	5.808	5.804	147.16	17008	293	293	293	293.00	410.50	24.14
193	3	5.902	5.912	5.930	150.23	17726	300	300	300	300.00	194.20	10.96
194	3	5.735	5.763	5.789	146.36	16825	293	293	291	292.33	172.50	10.25
195	7	5.925	5.932	5.904	150.38	17760	300	300	300	300.00	330.30	18.60
196	7	5.845	5.800	5.904	148.58	17339	295	295	296	295.33	276.60	15.95
197	14	5.986	5.993	6.011	152.32	18221	305	305	305	305.00	420.50	23.08
198	14	6.032	6.045	6.059	153.55	18518	299	299	298	298.67	431.50	23.30
199	28	5.983	5.987	5.989	152.05	18158	303	303	303	303.00	444.00	24.45
200	28	6.010	6.005	5.990	152.44	18252	303	303	304	303.33	471.40	25.83
201	3	5.863	5.899	5.903	149.56	17569	300	300	301	300.33	203.90	11.61
202	3	5.956	5.890	5.864	149.94	17658	298	299	298	298.33	193.40	10.95
203	7	5.932	5.936	5.895	150.39	17764	303	301	301	301.67	307.60	17.32
204	7	5.854	5.926	5.889	149.60	17577	298	300	300	299.33	282.80	16.09
205	14	5.978	6.012	6.004	152.35	18229	296	296	297	296.33	407.50	22.35
206	14	5.980	5.988	5.984	151.99	18144	304	304	303	303.67	358.10	19.74
207	28	5.895	5.911	5.896	149.88	17642	300	300	300	300.00	408.70	23.17
208	28	5.900	5.908	5.928	150.16	17710	301	302	301	301.33	420.90	23.77
209	3	5.916	5.924	5.921	150.38	17760	304	303	303	303.33	217.60	12.25
210	3	5.857	5.895	5.912	149.56	17567	295	295	296	295.33	226.10	12.87
211	7	5.882	5.896	5.878	149.49	17551	304	302	302	302.67	351.60	20.03
212	7	5.967	5.971	5.952	151.47	18019	299	298	299	298.67	349.90	19.42

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
213	14	5.857	5.856	5.819	148.44	17305	299	299	299	299.00	380.60	21.99
214	14	5.870	5.881	5.881	149.28	17503	303	303	303	303.00	338.60	19.35
215	28	5.895	5.806	5.785	148.05	17215	298	299	299	298.67	428.30	24.88
216	28	5.986	5.987	5.987	152.06	18160	305	304	304	304.33	446.80	24.60
217	3	5.966	5.972	5.986	151.76	18088	305	304	304	304.33	201.90	11.16
218	3	5.910	5.902	5.902	149.98	17666	300	300	300	300.00	203.50	11.52
219	7	6.007	6.019	6.014	152.74	18323	303	303	303	303.00	207.20	11.31
220	7	5.865	5.920	5.924	149.94	17656	297	296	296	296.33	262.60	14.87
221	14	5.907	5.920	5.915	150.22	17722	295	296	295	295.33	349.90	19.74
222	14	6.021	6.015	6.002	152.72	18319	304	304	305	304.33	368.80	20.13
223	28	5.899	5.885	5.876	149.52	17559	300	301	300	300.33	383.10	21.82
224	28	5.997	5.980	5.989	152.11	18173	305	305	304	304.67	408.30	22.47
225	3	5.863	5.891	5.882	149.32	17511	295	295	296	295.33	232.20	13.26
226	3	5.923	5.870	5.857	149.44	17539	297	296	296	296.33	240.50	13.71
227	7	5.876	5.986	5.884	150.25	17730	303	302	302	302.33	319.10	18.00
228	7	5.903	5.917	5.896	150.00	17670	299	298	299	298.67	332.90	18.84
229	14	5.812	5.929	5.925	149.57	17571	302	303	303	302.67	380.40	21.65
230	14	5.978	5.983	5.986	151.95	18134	304	304	305	304.33	396.30	21.85
231	28	5.903	5.925	5.929	150.34	17752	300	301	301	300.67	425.80	23.99
232	28	5.995	5.983	5.985	152.09	18167	305	304	305	304.67	416.10	22.90
233	3	5.876	5.939	5.893	149.93	17654	300	300	300	300.00	211.20	11.96
234	3	6.000	5.994	5.988	152.25	18205	304	305	304	304.33	230.10	12.64
235	7	5.804	5.857	5.820	148.01	17205	298	298	298	298.00	236.60	13.75
236	7	5.870	5.914	5.910	149.81	17627	302	303	302	302.33	262.90	14.92
237	14	5.879	5.904	5.902	149.73	17609	295	296	295	295.33	337.40	19.16
238	14	5.901	5.913	5.909	150.05	17684	301	300	300	300.33	352.40	19.93
239	28	5.900	5.939	5.904	150.22	17724	300	300	300	300.00	435.40	24.57
240	28	5.871	5.877	5.877	149.23	17489	302	302	302	302.00	438.60	25.08

**Resultados de  $f'_c = 24$  MPa (con aditivo).**

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
1a	3	5.841	5.872	5.854	148.73	17374	297	297	297	297.00	238.40	13.72
2a	3	5.994	6.008	6.002	152.43	18250	297	297	297	297.00	301.10	16.50
3a	7	6.011	6.021	6.016	152.81	18339	296	297	296	296.33	374.00	20.39
4a	7	5.866	5.888	5.884	149.34	17515	300	298	300	299.33	312.00	17.81
5a	14	5.844	5.873	5.87	148.90	17414	297	296	298	297.00	402.40	23.11
6a	14	5.935	5.916	5.924	150.50	17788	300	299	302	300.33	421.90	23.72
7a	28	5.959	5.983	5.985	151.78	18094	305	303	302	303.33	544.60	30.10
8a	28	5.946	5.918	5.866	150.11	17698	300	297	297	298.00	465.20	26.28
9a	3	5.984	5.99	6.004	152.21	18197	301	301	301	301.00	186.30	10.24
10a	3	5.985	5.993	5.987	152.10	18171	302	303	302	302.33	210.60	11.59
11a	7	6.059	6.027	5.971	152.88	18357	295	296	295	295.33	380.20	20.71
12a	7	5.724	5.765	5.784	146.24	16798	293	293	292	292.67	287.40	17.11
13a	14	5.966	5.98	5.959	151.60	18049	298	298	297	297.67	469.20	26.00
14a	14	5.914	5.947	5.914	150.50	17788	300	300	300	300.00	451.20	25.37
15a	28	5.825	5.865	5.841	148.43	17303	297	297	298	297.33	491.00	28.38
16a	28	5.985	5.909	5.857	150.29	17740	298	297	298	297.67	498.60	28.11
17a	3	5.833	5.862	5.848	148.53	17327	293	294	294	293.67	296.40	17.11
18a	3	5.996	5.997	5.993	152.28	18213	303	302	302	302.33	241.20	13.24
19a	7	5.883	5.887	5.902	149.62	17583	301	299	298	299.33	449.30	25.55
20a	7	5.9	5.905	5.91	149.99	17668	301	301	301	301.00	456.10	25.81
21a	14	6.002	6.015	5.995	152.50	18266	303	303	303	303.00	531.90	29.12
22a	14	5.908	5.957	5.959	150.91	17886	298	297	298	297.67	526.50	29.44
23a	28	5.916	5.908	5.907	150.12	17700	297	298	297	297.33	608.50	34.38
24a	28	5.924	5.906	5.892	150.05	17682	303	303	303	303.00	577.50	32.66
25a	3	5.885	5.945	5.901	150.12	17700	298	298	298	298.00	341.10	19.27
26a	3	5.917	5.96	5.951	150.94	17895	297	297	297	297.00	294.80	16.47
27a	7	5.99	6.019	5.992	152.41	18243	297	298	298	297.67	467.60	25.63
28a	7	5.923	5.902	5.873	149.84	17635	295	296	296	295.67	438.70	24.88
29a	14	5.914	5.93	5.905	150.27	17736	302	302	303	302.33	535.70	30.20
30a	14	5.892	5.895	5.886	149.63	17585	293	294	294	293.67	510.80	29.05

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
31a	28	5.862	5.837	5.828	148.40	17295	299	299	300	299.33	583.30	33.73
32a	28	5.857	5.87	5.885	149.11	17464	304	303	304	303.67	596.10	34.13
33a	3	5.931	5.903	5.888	150.05	17682	296	294	296	295.33	322.30	18.23
34a	3	5.993	5.992	6.006	152.32	18223	304	304	304	304.00	356.70	19.57
35a	7	5.94	5.977	5.925	151.06	17923	302	302	304	302.67	463.90	25.88
36a	7	5.775	5.816	5.796	147.21	17020	298	298	298	298.00	424.80	24.96
37a	14	5.9	5.909	5.904	149.97	17664	303	301	300	301.33	556.60	31.51
38a	14	5.906	5.92	5.915	150.21	17720	300	299	300	299.67	527.40	29.76
39a	28	5.985	5.985	5.995	152.10	18171	304	304	304	304.00	623.60	34.32
40a	28	6.051	6.015	5.992	152.89	18359	297	297	297	297.00	597.00	32.52
41a	3	5.877	5.857	5.84	148.79	17388	297	295	295	295.67	331.90	19.09
42a	3	5.776	5.818	5.793	147.21	17020	294	293	293	293.33	284.50	16.72
43a	7	5.978	5.995	5.965	151.88	18116	299	297	298	298.00	507.10	27.99
44a	7	5.968	5.893	5.864	150.07	17688	297	297	298	297.33	491.60	27.79
45a	14	5.893	5.944	5.936	150.48	17784	302	303	304	303.00	590.60	33.21
46a	14	5.853	5.839	5.842	148.45	17309	298	299	298	298.33	578.80	33.44
47a	28	5.9	5.914	5.91	150.06	17686	304	304	303	303.67	634.40	35.87
48a	28	5.906	5.961	5.935	150.72	17842	301	300	301	300.67	647.50	36.29
49a	3	5.987	5.988	5.997	152.16	18185	305	304	304	304.33	352.00	19.36
50a	3	5.992	6.005	5.956	152.00	18146	296	296	296	296.00	347.60	19.16
51a	7	5.855	5.858	5.848	148.68	17363	297	298	298	297.67	464.30	26.74
52a	7	5.919	5.894	5.885	149.84	17635	295	296	295	295.33	484.60	27.48
53a	14	5.938	5.91	5.856	149.89	17646	298	298	298	298.00	570.90	32.35
54a	14	5.89	5.911	5.857	149.50	17555	303	303	303	303.00	529.50	30.16
55a	28	5.765	5.98	5.984	150.11	17696	305	304	304	304.33	618.10	34.93
56a	28	5.982	5.827	5.88	149.77	17617	295	294	294	294.33	552.80	31.38
57a	3	5.904	5.864	5.875	149.38	17525	299	297	297	297.67	251.20	14.33
58a	3	5.883	5.891	5.901	149.65	17589	299	299	300	299.33	268.40	15.26
59a	7	6.041	6.042	6.073	153.72	18559	299	298	298	298.33	433.20	23.34
60a	7	5.989	5.996	6.004	152.31	18219	303	303	303	303.00	423.20	23.23
61a	14	5.846	5.853	5.853	148.61	17345	299	299	299	299.00	486.10	28.03



Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
62a	14	6.014	5.983	5.955	151.99	18144	298	298	299	298.33	537.10	29.60
63a	28	5.987	6.005	5.987	152.22	18199	305	305	304	304.67	570.30	31.34
64a	28	5.821	5.828	5.813	147.84	17167	296	296	296	296.00	534.00	31.11
65a	3	5.848	5.917	5.892	149.50	17553	296	296	296	296.00	333.70	19.01
66a	3	5.872	5.864	5.867	149.04	17446	297	297	298	297.33	310.90	17.82
67a	7	5.989	5.984	5.978	151.99	18142	305	304	305	304.67	472.60	26.05
68a	7	5.865	5.89	5.895	149.44	17539	301	300	301	300.67	467.30	26.64
69a	14	5.98	6	5.965	151.93	18130	304	305	304	304.33	567.80	31.32
70a	14	5.972	5.976	5.943	151.48	18021	299	298	299	298.67	570.20	31.64
71a	28	5.845	5.818	5.773	147.62	17116	299	297	300	298.67	597.50	34.91
72a	28	5.832	5.833	5.835	148.17	17242	299	300	299	299.33	577.60	33.50
73a	3	5.996	5.973	6.036	152.44	18252	304	304	305	304.33	358.90	19.66
74a	3	5.919	5.955	5.93	150.74	17846	300	300	300	300.00	347.70	19.48
75a	7	5.807	5.878	5.855	148.51	17321	298	298	298	298.00	473.70	27.35
76a	7	5.884	5.903	5.895	149.71	17603	295	295	296	295.33	477.50	27.13
77a	14	5.882	5.926	5.925	150.14	17704	300	301	300	300.33	529.10	29.89
78a	14	5.758	5.824	5.8	147.17	17010	295	294	293	294.00	519.30	30.53
79a	28	5.881	5.874	5.874	149.26	17497	296	296	297	296.33	621.70	35.53
80a	28	6.016	6.027	6.032	153.04	18394	300	299	299	299.33	650.60	35.37
81a	3	5.818	5.856	5.841	148.29	17272	298	298	298	298.00	306.00	17.72
82a	3	5.778	5.812	5.806	147.29	17038	299	298	299	298.67	300.20	17.62
83a	7	5.949	5.95	5.95	151.12	17937	299	298	299	298.67	503.00	28.04
84a	7	5.995	5.99	5.99	152.19	18191	304	304	304	304.00	481.60	26.47
85a	14	5.903	5.909	5.901	149.97	17664	300	300	300	300.00	537.40	30.42
86a	14	5.914	5.917	5.92	150.29	17740	300	300	301	300.33	553.50	31.20
87a	28	5.877	5.898	5.895	149.61	17579	296	295	296	295.67	594.70	33.83
88a	28	6.043	6.023	5.895	152.07	18163	297	297	297	297.00	639.20	35.19
89a	3	5.983	5.997	5.947	151.78	18094	298	298	298	298.00	415.40	22.96
90a	3	5.977	5.903	5.891	150.46	17780	297	297	297	297.00	363.30	20.43
91a	7	5.993	5.995	6.001	152.31	18219	304	304	304	304.00	487.90	26.78
92a	7	5.953	5.971	5.947	151.31	17981	300	299	298	299.00	500.50	27.84

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
93a	14	5.98	5.988	5.999	152.12	18175	303	304	304	303.67	558.90	30.75
94a	14	5.881	5.88	5.868	149.26	17497	299	296	299	298.00	528.80	30.22
95a	28	5.909	5.853	5.815	148.82	17394	299	298	299	298.67	609.90	35.06
96a	28	5.834	5.834	5.83	148.15	17238	298	300	299	299.00	537.40	31.17
97a	3	5.827	5.809	5.802	147.64	17120	299	299	299	299.00	329.70	19.26
98a	3	5.79	5.86	5.837	148.06	17217	298	298	298	298.00	340.80	19.79
99a	7	5.936	5.907	5.845	149.76	17615	300	298	298	298.67	464.60	26.38
100a	7	5.852	5.867	5.864	148.87	17406	302	303	303	302.67	455.90	26.19
101a	14	5.999	6.004	5.991	152.35	18229	305	304	305	304.67	568.60	31.19
102a	14	5.878	5.898	5.906	149.71	17603	301	300	301	300.67	560.60	31.85
103a	28	5.93	5.942	5.953	150.92	17888	297	298	298	297.67	621.70	34.75
104a	28	5.822	5.851	5.897	148.76	17380	294	294	294	294.00	606.50	34.90
105a	3	5.857	5.84	5.837	148.45	17309	298	298	298	298.00	366.50	21.17
106a	3	5.975	6.004	6.025	152.43	18250	300	299	299	299.33	377.70	20.70
107a	7	5.932	5.931	5.859	150.05	17682	299	299	299	299.00	482.00	27.26
108a	7	5.871	5.889	5.879	149.34	17517	304	303	303	303.33	454.80	25.96
109a	14	5.939	5.938	5.926	150.73	17844	299	300	299	299.33	536.00	30.04
110a	14	6.002	5.996	5.982	152.23	18201	305	305	304	304.67	517.90	28.45
111a	28	5.936	5.927	5.928	150.63	17820	303	302	302	302.33	602.70	33.82
112a	28	5.871	5.874	5.892	149.33	17513	301	301	301	301.00	620.50	35.43
113a	3	5.903	5.859	5.825	148.90	17414	299	299	298	298.67	322.80	18.54
114a	3	6.002	6.01	6.005	152.54	18276	304	304	305	304.33	352.50	19.29
115a	7	5.95	5.929	5.916	150.66	17828	298	297	297	297.33	502.00	28.16
116a	7	5.86	5.878	5.881	149.17	17477	302	303	303	302.67	493.20	28.22
117a	14	5.849	5.84	5.839	148.40	17297	299	299	299	299.00	585.50	33.85
118a	14	5.97	5.979	5.986	151.85	18110	305	305	305	305.00	568.60	31.40
119a	28	5.877	5.894	5.905	149.66	17591	296	296	296	296.00	609.60	34.65
120a	28	5.901	5.92	5.915	150.16	17710	302	302	303	302.33	632.60	35.72
121a	3	5.834	5.825	5.824	148.02	17209	299	300	300	299.67	282.50	16.42
122a	3	5.847	5.854	5.848	148.58	17339	299	299	300	299.33	311.50	17.97
123a	7	5.851	5.871	5.892	149.13	17468	294	295	294	294.33	462.00	26.45

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
124a	7	5.896	5.9	5.923	150.02	17676	299	299	300	299.33	481.10	27.22
125a	14	5.81	5.923	5.867	149.01	17440	301	301	302	301.33	530.90	30.44
126a	14	5.983	5.981	5.985	151.97	18138	304	305	306	305.00	578.60	31.90
127a	28	6.037	6.044	6.056	153.56	18520	299	299	300	299.33	650.10	35.10
128a	28	5.984	5.991	5.999	152.18	18189	305	305	306	305.33	635.20	34.92
129a	3	5.968	5.975	5.964	151.61	18053	299	299	299	299.00	338.10	18.73
130a	3	5.815	5.813	5.798	147.54	17097	299	299	299	299.00	317.50	18.57
131a	7	5.871	5.874	5.889	149.30	17507	300	300	300	300.00	468.30	26.75
132a	7	5.841	5.865	5.845	148.60	17343	297	297	299	297.67	463.20	26.71
133a	14	5.925	5.927	5.923	150.50	17788	300	300	300	300.00	561.60	31.57
134a	14	5.977	5.939	5.923	151.04	17917	298	297	298	297.67	583.90	32.59
135a	28	5.994	5.987	5.994	152.19	18191	305	305	305	305.00	628.10	34.53
136a	28	5.917	5.921	5.913	150.29	17740	303	303	303	303.00	598.30	33.73
137a	3	5.826	5.831	5.823	148.00	17203	300	300	299	299.67	327.90	19.06
138a	3	5.971	5.975	5.979	151.77	18090	305	305	305	305.00	374.60	20.71
139a	7	5.987	6.013	6.031	152.66	18304	299	299	299	299.00	505.70	27.63
140a	7	5.993	5.984	5.987	152.10	18169	306	305	305	305.33	482.80	26.57
141a	14	5.834	5.859	5.895	148.91	17416	296	294	294	294.67	561.00	32.21
142a	14	5.924	5.932	5.932	150.61	17814	300	299	300	299.67	544.20	30.55
143a	28	5.995	5.989	5.994	152.21	18197	306	305	305	305.33	635.50	34.92
144a	28	5.792	5.834	5.788	147.44	17073	294	294	294	294.00	569.90	33.38
145a	3	5.979	5.986	5.987	151.99	18144	299	299	298	298.67	348.20	19.19
146a	3	5.793	5.901	5.924	149.17	17475	302	301	302	301.67	352.70	20.18
147a	7	5.975	5.982	5.99	151.95	18134	305	304	305	304.67	458.60	25.29
148a	7	5.875	5.897	5.906	149.67	17595	301	300	300	300.33	463.50	26.34
149a	14	5.978	5.981	6.002	152.07	18163	305	305	305	305.00	551.90	30.39
150a	14	6.026	5.985	5.956	152.12	18175	298	297	297	297.33	564.30	31.05
151a	28	5.921	5.864	5.832	149.16	17473	298	300	299	299.00	611.70	35.01
152a	28	5.925	5.93	5.913	150.44	17774	300	300	300	300.00	616.70	34.70
153a	3	5.919	5.928	5.924	150.46	17780	299	299	299	299.00	374.80	21.08
154a	3	5.972	5.977	5.985	151.84	18108	305	304	305	304.67	335.20	18.51

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
155a	7	5.862	5.847	5.817	148.39	17293	298	299	298	298.33	465.60	26.92
156a	7	6.018	6.03	6.052	153.25	18445	298	299	299	298.67	519.50	28.17
157a	14	5.881	5.893	5.903	149.67	17593	300	300	300	300.00	557.60	31.70
158a	14	5.995	6.032	6.025	152.84	18347	303	303	304	303.33	561.80	30.62
159a	28	6.012	5.968	5.943	151.75	18086	299	297	297	297.67	637.90	35.27
160a	28	5.996	5.997	6.009	152.42	18246	305	305	304	304.67	612.40	33.56
161a	3	5.879	5.924	5.929	150.13	17702	303	303	303	303.00	439.30	24.82
162a	3	5.84	5.842	5.842	148.37	17289	300	300	300	300.00	395.70	22.89
163a	7	5.783	5.824	5.8	147.38	17059	294	294	294	294.00	538.50	31.57
164a	7	5.944	5.948	5.947	151.04	17917	301	301	301	301.00	570.80	31.86
165a	14	5.876	5.861	5.88	149.16	17473	303	302	303	302.67	613.60	35.12
166a	14	5.908	5.858	5.87	149.32	17511	299	299	299	299.00	621.30	35.48
167a	28	5.91	5.919	5.919	150.27	17734	300	300	300	300.00	710.80	40.08
168a	28	5.877	5.899	5.907	149.72	17605	294	294	294	294.00	656.40	37.29
169a	3	5.877	5.896	5.932	149.90	17648	295	295	294	294.67	329.20	18.65
170a	3	5.737	5.75	5.772	146.13	16771	292	295	297	294.67	291.00	17.35
171a	7	5.923	5.937	5.941	150.72	17840	302	301	301	301.33	477.90	26.79
172a	7	5.893	5.909	5.903	149.90	17648	300	300	301	300.33	475.60	26.95
173a	14	5.839	5.83	5.835	148.20	17250	297	298	298	297.67	584.40	33.88
174a	14	5.849	5.869	5.855	148.78	17386	301	302	301	301.33	591.30	34.01
175a	28	5.83	5.842	5.85	148.35	17286	298	298	298	298.00	608.50	35.20
176a	28	5.911	5.892	5.883	149.74	17611	302	303	301	302.00	600.50	34.10
177a	3	5.992	5.986	5.986	152.10	18169	305	305	303	304.33	368.90	20.30
178a	3	6.004	5.992	5.991	152.29	18215	305	305	305	305.00	391.70	21.50
179a	7	5.982	5.984	5.998	152.10	18169	304	305	305	304.67	485.80	26.74
180a	7	5.928	5.86	5.822	149.10	17460	299	299	298	298.67	467.90	26.80
181a	14	5.912	5.905	5.889	149.91	17650	299	299	299	299.00	597.00	33.82
182a	14	6.055	6.052	6.068	153.88	18598	299	300	299	299.33	592.20	31.84
183a	28	5.886	5.902	5.917	149.90	17648	297	294	296	295.67	595.00	33.71
184a	28	5.94	5.95	5.945	151.00	17909	300	301	300	300.33	607.40	33.92
185a	3	5.918	5.861	5.829	149.08	17456	300	299	300	299.67	344.30	19.72

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
186a	3	5.823	5.823	5.851	148.14	17236	298	298	298	298.00	342.60	19.88
187a	7	5.842	5.842	5.85	148.45	17309	297	298	298	297.67	355.80	20.56
188a	7	5.909	5.916	5.903	150.10	17694	301	302	300	301.00	393.80	22.26
189a	14	6.035	6.045	6.071	153.68	18549	298	298	298	298.00	544.00	29.33
190a	14	6.006	5.993	5.986	152.27	18211	304	304	305	304.33	538.80	29.59
191a	28	5.71	5.878	5.905	148.11	17228	294	294	294	294.00	588.20	34.14
192a	28	5.994	5.992	5.996	152.25	18205	304	304	304	304.00	600.80	33.00
193a	3	5.894	5.83	5.95	149.64	17587	299	299	300	299.33	323.10	18.37
194a	3	5.935	5.957	5.94	150.98	17903	297	297	296	296.67	366.10	20.45
195a	7	5.973	5.903	5.962	151.03	17915	300	299	299	299.33	471.00	26.29
196a	7	5.838	5.838	5.833	148.24	17260	299	299	300	299.33	452.20	26.20
197a	14	5.897	5.874	5.868	149.34	17517	300	299	300	299.67	585.40	33.42
198a	14	5.898	5.896	5.876	149.61	17579	303	303	304	303.33	592.30	33.69
199a	28	5.895	5.912	5.919	150.08	17690	303	302	302	302.33	579.90	32.78
200a	28	5.935	5.933	5.926	150.66	17826	297	297	298	297.33	657.80	36.90
201a	3	5.826	5.831	5.823	148.00	17203	300	300	299	299.67	327.70	19.05
202a	3	5.971	5.975	5.979	151.77	18090	305	305	305	305.00	374.30	20.69
203a	7	6.059	6.027	5.971	152.88	18357	295	296	295	295.33	380.70	20.74
204a	7	5.724	5.765	5.784	146.24	16798	293	293	292	292.67	287.60	17.12
205a	14	5.98	5.988	5.999	152.12	18175	303	304	304	303.67	558.50	30.73
206a	14	5.881	5.88	5.868	149.26	17497	299	296	299	298.00	528.40	30.20
207a	28	5.909	5.853	5.815	148.82	17394	299	298	299	298.67	610.00	35.07
208a	28	5.834	5.834	5.83	148.15	17238	298	300	299	299.00	537.90	31.20
209a	3	5.983	5.997	5.947	151.78	18094	298	298	298	298.00	415.90	22.99
210a	3	5.977	5.903	5.891	150.46	17780	297	297	297	297.00	363.90	20.47
211a	7	5.987	6.013	6.031	152.66	18304	299	299	299	299.00	505.40	27.61
212a	7	5.993	5.984	5.987	152.10	18169	306	305	305	305.33	483.60	26.62
213a	14	5.846	5.853	5.853	148.61	17345	299	299	299	299.00	486.40	28.04
214a	14	6.014	5.983	5.955	151.99	18144	298	298	299	298.33	537.40	29.62
215a	28	5.881	5.874	5.874	149.26	17497	296	296	297	296.33	621.60	35.53
216a	28	6.016	6.027	6.032	153.04	18394	300	299	299	299.33	650.40	35.36

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm2	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
217a	3	5.968	5.975	5.964	151.61	18053	299	299	299	299.00	339.00	18.78
218a	3	5.815	5.813	5.798	147.54	17097	299	299	299	299.00	318.00	18.60
219a	7	5.842	5.842	5.85	148.45	17309	297	298	298	297.67	355.90	20.56
220a	7	5.909	5.916	5.903	150.10	17694	301	302	300	301.00	394.40	22.29
221a	14	5.966	5.98	5.959	151.60	18049	298	298	297	297.67	469.10	25.99
222a	14	5.914	5.947	5.914	150.50	17788	300	300	300	300.00	451.50	25.38
223a	28	5.845	5.818	5.773	147.62	17116	299	297	300	298.67	597.70	34.92
224a	28	5.832	5.833	5.835	148.17	17242	299	300	299	299.33	577.20	33.48
225a	3	5.857	5.84	5.837	148.45	17309	298	298	298	298.00	366.60	21.18
226a	3	5.975	6.004	6.025	152.43	18250	300	299	299	299.33	378.10	20.72
227a	7	5.975	5.982	5.99	151.95	18134	305	304	305	304.67	458.90	25.31
228a	7	5.875	5.897	5.906	149.67	17595	301	300	300	300.33	463.30	26.33
229a	14	5.882	5.926	5.925	150.14	17704	300	301	300	300.33	529.90	29.93
230a	14	5.758	5.824	5.8	147.17	17010	295	294	293	294.00	519.70	30.55
231a	28	5.987	6.005	5.987	152.22	18199	305	305	304	304.67	570.70	31.36
232a	28	5.821	5.828	5.813	147.84	17167	296	296	296	296.00	534.90	31.16
233a	3	5.903	5.859	5.825	148.90	17414	299	299	298	298.67	322.50	18.52
234a	3	6.002	6.01	6.005	152.54	18276	304	304	305	304.33	352.10	19.27
235a	7	5.993	5.995	6.001	152.31	18219	304	304	304	304.00	487.50	26.76
236a	7	5.953	5.971	5.947	151.31	17981	300	299	298	299.00	500.30	27.82
237a	14	5.978	5.981	6.002	152.07	18163	305	305	305	305.00	551.70	30.38
238a	14	6.026	5.985	5.956	152.12	18175	298	297	297	297.33	564.80	31.08
239a	28	5.985	5.985	5.995	152.10	18171	304	304	304	304.00	623.40	34.31
240a	28	6.051	6.015	5.992	152.89	18359	297	297	297	297.00	597.90	32.57

**Resultados de  $f'c = 21$  MPa (sin aditivo).**

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
1	3	5.915	5.885	5.937	150.173	17712	294	296	295	295	160.30	9.05
2	3	5.789	5.817	5.788	147.269	17034	298	299	290	296	158.60	9.31
3	7	5.921	5.917	5.913	150.300	17742	300	300	299	300	250.40	14.11
4	7	5.862	5.827	5.913	149.033	17444	303	302	303	303	249.60	14.31
5	14	5.913	5.909	5.949	150.467	17782	298	299	300	299	312.80	17.59
6	14	5.902	5.843	5.870	149.133	17468	297	297	297	297	308.40	17.66
7	28	5.883	5.900	5.883	149.573	17571	299	300	300	300	340.70	19.39
8	28	6.002	5.998	5.995	152.360	18232	299	299	299	299	368.00	20.18
9	3	6.341	6.327	6.393	161.383	20455	299	298	299	299	194.30	9.50
10	3	6.276	6.376	6.396	161.273	20427	302	301	301	301	174.30	8.53
11	7	5.909	5.850	5.925	149.733	17609	302	302	302	302	240.90	13.68
12	7	5.870	5.850	5.858	148.833	17398	298	299	298	298	243.90	14.02
13	14	5.924	5.957	5.983	151.253	17968	299	299	299	299	309.70	17.24
14	14	5.840	5.852	5.943	149.313	17510	297	297	297	297	315.70	18.03
15	28	5.902	5.964	5.926	150.633	17821	296	295	294	295	409.90	23.00
16	28	5.820	5.824	5.861	148.213	17253	299	298	298	298	375.50	21.76

**Resultados de  $f'c = 21$  MPa (con aditivo).**

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
1A	3	5.868	5.909	5.886	149.547	17565	298	298	297	298	290.30	16.53
2A	3	5.920	5.940	5.985	151.088	17929	297	298	298	298	302.30	16.86
3A	7	5.815	5.850	5.831	148.133	17234	298	298	298	298	385.10	22.34
4a	7	5.996	5.996	6.067	152.900	18361	298	297	298	298	405.30	22.07
5a	14	5.929	5.878	5.882	149.767	17617	296	296	296	296	478.90	27.18
6a	14	5.953	5.909	5.925	150.600	17813	302	303	304	303	478.30	26.85
7a	28	5.959	6.119	6.029	153.307	18459	305	306	305	305	538.70	29.18
8a	28	5.983	6.004	5.979	152.107	18171	305	304	304	304	572.20	31.49
9a	3	6.273	6.358	6.306	160.333	20190	296	297	297	297	321.30	15.91
10a	3	6.384	6.421	6.408	162.670	20783	304	303	304	304	332.10	15.98
11a	7	5.906	5.949	5.988	151.067	17924	298	297	298	298	407.30	22.72
12a	7	6.028	5.992	6.110	153.500	18506	297	298	297	297	425.90	23.01
13a	14	5.894	5.858	5.872	149.220	17488	299	300	299	299	480.30	27.46
14a	14	5.930	5.909	5.878	150.000	17671	296	297	296	296	481.60	27.25
15a	28	5.997	6.004	5.991	152.327	18224	304	304	304	304	547.50	30.04
16a	28	5.927	5.905	5.891	150.047	17682	300	299	300	300	552.10	31.22



**Resultados de  $f'c = 30$  MPa (sin aditivo).**

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
17	3	6.004	5.996	5.984	152.267	18210	303	303	303	303	251.00	13.78
18	3	6.004	6.035	6.024	152.933	18369	304	304	303	304	243.00	13.23
19	7	5.886	5.843	5.890	149.167	17476	296	297	296	296	303.10	17.34
20	7	5.846	5.543	5.972	147.000	16972	297	296	296	296	369.80	21.79
21	14	5.945	5.885	5.860	149.773	17618	299	300	298	299	477.60	27.11
22	14	5.952	5.992	5.990	151.840	18108	297	298	296	297	492.20	27.18
23	28	5.931	5.906	5.979	150.833	17868	302	301	301	301	546.40	30.58
24	28	5.932	6.033	5.928	151.500	18027	298	298	297	298	571.90	31.73
25	3	5.898	5.964	5.945	150.767	17853	295	294	294	294	226.50	12.69
26	3	5.992	6.002	5.995	152.313	18221	303	303	303	303	219.70	12.06
27	7	5.917	5.931	6.026	151.340	17989	303	302	302	302	392.80	21.84
28	7	6.003	5.866	5.824	149.807	17626	297	298	297	297	339.60	19.27
29	14	5.856	5.955	5.850	149.527	17560	295	295	296	295	440.60	25.09
30	14	5.918	5.924	5.965	150.767	17853	296	297	295	296	474.00	26.55
31	28	6.017	5.990	5.968	152.180	18189	299	298	298	298	561.80	30.89
32	28	5.910	5.885	5.894	149.767	17617	300	299	300	300	505.90	28.72

**Resultados de  $f'c = 30$  MPa (con aditivo).**

Descripción	Edad	D 1	D 2	D 3	D PROM	A	H 1	H 2	H 3	H PROM	Carga	Resistencia
	Días	in	in	in	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kn	Mpa
17a	3	6.012	5.965	5.965	151.900	18122	298	297	298	298	440.90	24.33
18a	3	5.882	5.976	5.894	150.300	17742	301	300	300	300	433.90	24.46
19a	7	5.862	5.886	5.890	149.333	17515	299	299	299	299	542.30	30.96
20a	7	5.827	5.843	5.850	148.333	17281	297	297	298	297	546.40	31.62
21a	14	5.936	5.923	5.930	150.613	17816	294	296	294	295	611.80	34.34
22a	14	5.827	5.824	5.812	147.853	17169	298	298	298	298	591.30	34.44
23a	28	5.876	5.892	5.950	150.013	17675	302	302	301	302	683.50	38.67
24a	28	5.957	5.938	5.883	150.520	17794	298	298	297	298	691.30	38.85
25a	3	5.891	5.818	5.849	148.653	17356	297	296	297	297	349.20	20.12
26a	3	5.915	5.858	5.909	149.713	17604	302	302	301	302	343.70	19.52
27a	7	5.891	5.891	5.900	149.713	17604	299	299	299	299	510.10	28.98
28a	7	5.814	5.891	5.827	148.440	17306	297	298	298	298	508.70	29.39
29a	14	5.997	6.002	5.983	152.240	18203	303	303	302	303	632.60	34.75
30a	14	5.938	5.935	5.927	150.707	17838	296	296	297	296	643.60	36.08
31a	28	5.939	5.926	5.911	150.507	17791	302	301	302	302	682.40	38.36
32a	28	5.889	5.952	5.913	150.320	17747	300	300	300	300	711.80	40.11

## Anexo 9. Fotografías



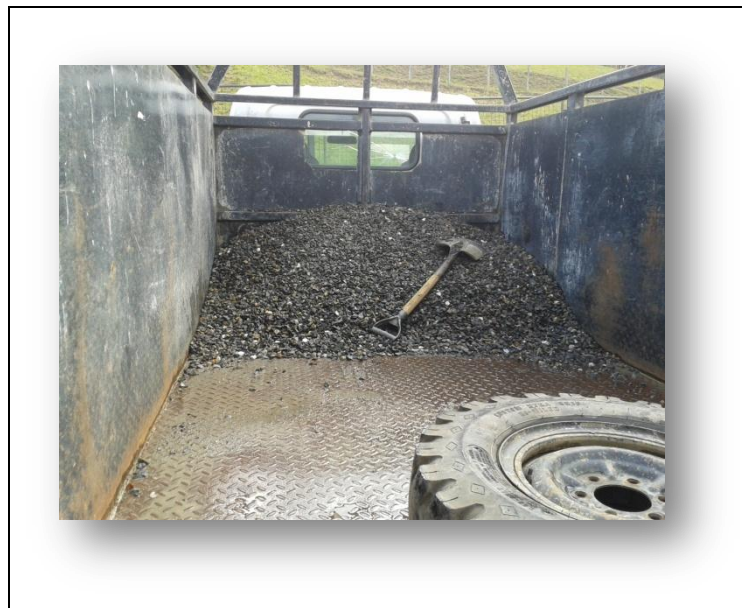
**Figura Anexo 9. 1** Recolección manual de árido grueso.



**Figura Anexo 9. 2** Transporte de árido grueso



**Figura Anexo 9. 3** Árido fino descargado para ser ingresado a lugar de acopio.



**Figura Anexo 9. 4** Árido grueso luego del proceso de lavado



**Figura Anexo 9. 5** Árido fino y grueso en lugar de acopio



**Figura Anexo 9. 6** Ensayos a árido fino



**Figura Anexo 9. 7** Materiales y equipos para realizar la mezcla de concreto



**Figura Anexo 9. 8** Mezcla de concreto para hacer 8 especímenes cilíndricos



**Figura Anexo 9. 9** Ensayo de asentamiento



**Figura Anexo 9. 10** Molde sobre cama de arena para evitar desniveles en el espécimen.



**Figura Anexo 9. 11** Especímenes de concreto con y sin aditivo



**Figura Anexo 9. 12** Especímenes colocados en fuente de curado





**Figura Anexo 9. 13** Especímenes a ser ensayados a compresión



**Figura Anexo 9. 14** Falla tipo 3.



**Figura Anexo 9. 15** Especímenes ensayados.