



UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Civil

Licenciatura En Ingeniería Civil

Tesis de grado

**CALIBRACIÓN DE TRES MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA COMPRESIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO SECO DE ALTO
DESEMPEÑO**

Sergio Jiménez Jiménez

Tutor: Ing. Andrés Reyes Bonilla M. Sc

Lector: Ing. Minor Murillo Chacón

Heredia, abril de 2017

COMITÉ ASESOR

ING. ANDRÉS REYES BONILLA

TUTOR

ING. MINOR EDUARDO MURILLO CHACÓN

LECTOR

ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTINEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "CALIBRACIÓN DE TRES MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO SECO DE ALTO DESEMPEÑO.", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:



ING. ANDRÉS REYES BONILLA

TUTOR



ING. MINOR EDUARDO MURILLO CHACÓN

LECTOR



ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTINEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente, quiero agradecer a Dios por permitirme concluir esta etapa de mi vida, a mi familia que me han apoyado en todo momento.

Agradezco a la empresa Productos de Concreto, al Ing. Minor Murillo y al Ing. Andrés Reyes por darme la oportunidad de realizar este proyecto de graduación bajo su tutela, por su apoyo, consejos y enseñanzas.

Debo reconocer también la ayuda de los técnicos William Montero y Eduardo Artavia por todo el conocimiento y los consejos que me brindaron a través del tiempo que estuve en el laboratorio de Productos de Concreto.

Agradezco a mi novia Abigaíl Rojas por su comprensión y apoyo en todo momento.

Retribuciones, por último, pero no menos importante a mis compañeros, amigos y colegas de la carrera que a lo largo de este proceso han estado ahí para brindar su apoyo, especialmente quiero dar gracias a Juan José Álvarez por su ayuda y colaboración en estos últimos pasos de la carrera.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico inicialmente a Dios por darme siempre las fuerzas para continuar adelante, a mi familia, mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en cada parte de mi vida, a mi novia por brindarme las fuerzas y la motivación para continuar cada día adelante.

A todos mis profesores que a lo largo de mi vida estudiantil me motivaron a llegar largo, por cada enseñanza que me han hecho llegar hasta acá.

Por último quiero dedicarlo a mi vecino Juvenal Chavarría Vargas que desde niño me dijo que sería un ingeniero, desde ahí nació en mí la chispa por esta hermosa carrera.

RESUMEN

El concreto vibro compactado es un material especial que, debido a sus características de cero asentamientos dada por la baja cantidad de agua utilizada en la mezcla, requiere de equipo especial para ser colado. Gracias a esto, posee características como rápido desmolde lo cual permite la elaboración de una gran variedad de productos prefabricados como por ejemplo bloques de mampostería o la losa alveolar extruida. Para este tipo de elementos se han realizado estudios sobre su comportamiento mecánico, sin embargo, no existe una manera práctica de relacionar los distintos tipos de obtención de la resistencia a la compresión y la densidad seca obtenida para trabajar de manera práctica en laboratorio.

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados del estudio sobre la calibración de tres métodos de obtención de la resistencia a la compresión del concreto seco, utilizado para producir losa alveolar extruida pretensada, producida en Productos de Concreto S.A los cuales son los núcleos extraídos del elemento según lo establecido por la ASTM C42, cilindros de 100 mm x 200 mm elaborados en mesa vibratoria los cuales son los indicadores de resistencia actuales y los cilindros utilizando el método de Frasson Jr.

Los resultados muestran los factores de correlación necesarios para la calibración de los métodos estudiados, tomando en cuenta la densidad seca y la resistencia alcanzada a distintas edades del concreto.

Palabras Claves

Losa alveolar extruida
pretensada / Concreto seco /
Resistencia a la compresión /
Densidad seca / Núcleos de concreto

Abstract

Dried vibro-compacted concrete is a special material that, due to its zero slump given by the low amount of water used in the mix, requires special equipment to be pour. Thanks to this, it has characteristics such as fast unmolding which allows the production of a large variety of prefabricated products such as masonry blocks or prestressed extruded hollow core slab. There are studies for this type of elements such as their mechanical characteristic; however, there is no practical way to relate the different types of obtaining the compressive strength and dry density to work in a practical way in laboratory.

This article presents the results of the study on the calibration of three methods of obtaining the compressive strength of the dry concrete used to produce prestressed extruded hollow core slab in Productos de Concreto S.A. The three methods are cores extracted from the element as established by ASTM C42, cylinders of 100 mm x 200mm elaborated in vibratory table which are the current resistance indicators and the cylinders using the method of Frasson Jr.

The results show the correlation factors necessary for the calibration of the studied methods, taking into account the dry density and the resistance reached at different ages of the concrete.

Key words

Prestressed extruded hollow core slab / Dry concrete / Compressive strength / Dry density / Concrete cores

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes del problema.....	1
1.2 Planteamiento del problema de investigación	2
1.3 Hipótesis.....	2
1.4 Justificación del estudio de investigación.....	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 Alcances y limitaciones	4
1.6.1 Alcances de la investigación.....	4
1.6.2 Limitaciones de la investigación	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Losa alveolar extruida pretensada	6
2.2 Concreto de alto desempeño.....	9
2.2.1 Concreto de alta resistencia inicial	9
2.3 Componentes del concreto de alto desempeño.....	10
2.3.1 Cemento.....	11
2.3.2 Agregados	12
2.3.3 Aditivos	13
2.3.4 Agua	15
2.4 Proceso de producción de losa alveolar	16
2.5 Método para el cálculo de la densidad en concreto en estado endurecido	23
2.6 Métodos para obtención de la resistencia a la compresión en losa alveolar extruida pretensada .	25
2.6.1 Método interno con especímenes cilíndricos.....	25
2.6.1.1 Procedimiento normado	27
2.6.1.2 Procedimiento utilizado por la empresa.....	28
2.6.1.3 Curado de los especímenes.	31
2.6.2 Extracción de núcleos de concreto	31
2.6.2.1 Equipo para la extracción de núcleos de concreto	32
2.6.3 Metodología ACI para interpretación de resultados en extracción de núcleos	34
2.6.3.1 Enfoque de factor de tolerancia	35
2.6.3.2 Enfoque alternativo	40

2.6.4 Método de Frasson Jr.....	43
2.6.4.1 Equipo para elaborar especímenes.....	44
2.6.4.2 Procedimiento de elaboración de especímenes.....	46
2.6.4.3 Determinación de la cohesión	47
2.7 Marco situacional.....	49
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO	50
3.1 Definición del enfoque y métodos de investigación utilizados	50
3.2 Categorías de análisis de la investigación	51
3.3 Fuentes de información	51
3.4 Población y muestra.....	52
3.5 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos.....	53
3.6 Procedimiento metodológico	53
3.6.1 Curado de especímenes.....	54
3.6.2 Preparación de especímenes para falla a compresión	55
3.6.3 Procedimiento para cilindros estándar.....	58
3.6.4 Procedimiento para extracción de núcleos	59
3.6.5 Procedimiento para método práctico de Frasson Jr.....	60
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
4.1 Resultados obtenidos.....	61
4.1.1 Resultados de resistencia a la compresión mediante metodología interna de PC y comparación de resultados según tipo de cura.....	61
4.1.1.1 Densidad seca para cilindros según metodología interna de PC.....	62
4.1.1.2 Método de cura en laboratorio	63
4.1.1.3 Método de cura en patio	65
4.1.1.4 Resultados de los ensayos a compresión.....	65
4.1.2 Resultados obtenidos de la extracción de núcleos de concreto.....	67
4.1.2.1 Densidad Seca de la losa de prueba.....	67
4.1.2.2 Resultados para ensayo a compresión a 24 horas para núcleos extraídos según ACI 214.4R	74
4.1.2.3 Resultados para ensayo a compresión a 7 días para núcleos extraídos según ACI 214.4R 78	78
4.1.2.1 Resultados para ensayo a compresión a 28 días para núcleos extraídos según ACI 214.4R	80
4.1.3 Resultados para método de Frasson Jr.	83
4.1.3.1 Cálculo de cohesión según método de Frasson Jr.	84

4.1.3.2 Densidad seca para los especímenes por el método de Frasson Jr.	84
4.1.3.3 Resultados para ensayo a compresión a 24 horas en especímenes mediante método de Frasson Jr.	86
4.1.4 Resultados obtenidos de la modificación de tiempo de vibrado en cilindros de 100 mm x 200 mm según metodología interna.....	93
4.1.4.1 Cálculo de densidad seca según tiempo de vibrado	95
4.1.4.2 Resultado de los ensayos a compresión en cilindros variando el tiempo de vibrado	98
4.2 Análisis de resultados	105
4.2.1 Análisis de resultados de resistencia a la compresión mediante metodología interna de PC y comparación de resultados según tipo de cura.....	105
4.2.2 Análisis de los resultados obtenidos de la extracción de núcleos de concreto	107
4.2.2.1 Comparación de densidad seca de la losa de prueba según zona.....	107
4.2.2.2 Análisis de la resistencia equivalente obtenida para cada edad del concreto en núcleos extraídos	107
4.2.3 Análisis de los resultados obtenidos por el método de Frasson Jr.	110
4.2.3.1 Análisis de la resistencia a la compresión obtenida en cilindros mediante método de Frasson Jr.	111
4.2.4 Análisis de los resultados obtenidos por la modificación de tiempo de vibrado en cilindros de 100 mm x 200 mm según metodología interna	116
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
5.1 Conclusiones	118
5.2 Recomendaciones	119
FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS	122

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Losa alveolar 8 cm.....	7
Ilustración 2 Losa alveolar 15 cm.....	7
Ilustración 3 Losa alveolar 20 cm.....	8
Ilustración 4 Losa alveolar 25 cm.....	8
Ilustración 5 Limpieza y colocación de desmoldante	17
Ilustración 6 Torones de preesfuerzo	18
Ilustración 7 Movilización de máquina extrusora.....	19
Ilustración 8 Tolva de concreto	19
Ilustración 9 Verificación de calidad visual del concreto	20
Ilustración 10 Verificación de espesor	21
Ilustración 11 Proceso de realización de cilindros de concreto.....	21
Ilustración 12 Colocación de plástico y lona para curado	22
Ilustración 13 Proceso de corte de losa	23
Ilustración 14 Horno para secado.....	24
Ilustración 15 Balanza para pesado de especímenes sumergidos.....	25
Ilustración 16 Llaneta, sobrecarga grande y sobrecarga pequeña	29
Ilustración 17 Mesa vibratoria	30
Ilustración 18 Equipo para extraer núcleos	33
Ilustración 19 Proceso de corte de núcleos.....	34
Ilustración 20 Cilindro para método de Frasson Jr.	44
Ilustración 21 Set para método de Frasson Jr.....	45
Ilustración 22 Proceso para realizar especímenes.....	46
Ilustración 23 Ensayo para determinar cohesión en cilindros frescos	48
Ilustración 24 Máquina sin tornillos sin fin.....	54
Ilustración 25 Máquina pulidora para cilindros de concreto.....	55
Ilustración 26 Adaptador para pulir especímenes de 5cm de diámetro	56
Ilustración 27 Revisión de la planicidad de los especímenes	57
Ilustración 28 Elaboración de especímenes variando el tiempo de vibrado	58
Ilustración 29 Equipo actual para método practico de Frasson Jr.....	61
Ilustración 30 Pilas de cura	63
Ilustración 31 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con cura en laboratorio ..	64
Ilustración 32 Cilindros con cura en patio	65
Ilustración 33 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con cura en patio	66
Ilustración 34 Corte transversal de la losa de prueba	68
Ilustración 35 Zonas utilizadas para análisis de densidad seca	69
Ilustración 36 Piezas 1 y 2 de losa para cálculo de densidad seca.....	70
Ilustración 37 Piezas 3 y 4 de losa para cálculo de densidad seca.....	70
Ilustración 38 Pieza 5 de losa para cálculo de densidad seca.....	71
Ilustración 39 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto en núcleos extraídos	83
Ilustración 40 Prueba para cohesión según metodología de Frasson Jr.....	84
Ilustración 41 Gráfica de resistencia a la compresión en función de la densidad seca a 24 horas	88
Ilustración 42 Gráfica de resistencia a la compresión en función de la densidad seca a 7 días	90
Ilustración 43 Gráfica de resistencia a la compresión en función de la densidad seca a 28 días	92
Ilustración 44 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto para masa máxima, media y mínima	93
Ilustración 45 Moldes con tuercas sueltas	94
Ilustración 46 Deformidad en especímenes debido a problemas por moldes	94

Ilustración 47 Pasta de la mezcla emergiendo por excesivo vibrado	96
Ilustración 48 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 2 segundos de vibrado	98
Ilustración 49 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 5 segundos de vibrado	99
Ilustración 50 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 10 segundos de vibrado	100
Ilustración 51 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 20 segundos de vibrado	101
Ilustración 52 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 40 segundos de vibrado	102
Ilustración 53 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 60 segundos de vibrado	103
Ilustración 54 Gráfico de resistencia a la compresión del concreto a 24 horas según el tiempo de vibrado	104
Ilustración 55 Gráfico de resistencia a la compresión del concreto a 28 días según el tiempo de vibrado	104
Ilustración 56 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto según el método de cura	106
Ilustración 57 Gráfica de resistencia a la compresión a 24 horas vs densidad seca para las metodologías de Frasson Jr. y la interna de PC	111
Ilustración 58 Gráfica de resistencia a la compresión a 7 días vs densidad seca para las metodologías de Frasson Jr. y la interna de PC	112
Ilustración 59 Gráfica de resistencia a la compresión a 28 días vs densidad seca para las metodologías de Frasson Jr. y la interna de PC	113
Ilustración 60 Gráfica de resistencia a la compresión a 24 horas vs densidad seca aplicando factor de correlación para la metodología de Frasson Jr.	115
Ilustración 63 Gráfica de ganancia de resistencia a la compresión vs la edad del concreto para distintos tiempos de vibrado	117

Índice de ecuaciones

(1).....	23
(2).....	36
(3).....	37
(4).....	37
(5).....	37
(6).....	38
(7).....	39
(8).....	40
(9).....	41
(10).....	42

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación del cemento según INTE C173	11
Tabla 2 Clasificación de los aditivos según INTE C494	14
Tabla 3 Criterios de aceptación para abastecimiento de aguas dudosas según ASTM C94	15
Tabla 4 Límites químicos opcionales para el agua de lavado	16
Tabla 5 Factor de corrección para núcleos	35
Tabla 6 Magnitud y precisión de los factores de corrección de la fuerza para convertir la fuerza en fuerzas equivalentes in situ	36
Tabla 7 Factor K para límites unilaterales de tolerancia en el fractile 10%	39
Tabla 8 Factor Z	40
Tabla 9 Factor T	42
Tabla 10 Factor C	42
Tabla 11 Densidad seca de especímenes para pruebas "D"	62
Tabla 12 Resultado ensayo a la compresión a 24 horas prueba D	62
Tabla 13 Resultado ensayo a la compresión a 7 días para cura en laboratorio	64
Tabla 14 Resultado ensayo a 28 días, cura en laboratorio	64
Tabla 15 Resultado ensayo a 7 días para cura en patio	66
Tabla 16 Resultado ensayos a 28 días para cura en patio	66
Tabla 17 Densidad seca obtenida para zona 1	72
Tabla 18 Densidad seca para zona 2	73
Tabla 19 Densidad seca cilindro para zona 3	74
Tabla 20 Resultados de ensayo a compresión en núcleos a 24 horas	75
Tabla 21 Resultados obtenidos para los factores de la tabla 5, falla a 24 horas	75
Tabla 22 Resultados para ecuaciones 3, 4, 5 y 6 para prueba a compresión en núcleos a 24 horas	76
Tabla 23 Resultados para Factor K y Z para prueba a compresión en núcleos a 24 horas	77
Tabla 24 Resultado para factor T unilateral en ensayo a compresión en núcleos a 24 horas	77
Tabla 25 Resultados de prueba a compresión y coeficientes obtenidos para núcleos a 7 días	79
Tabla 26 Resultados de las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 para núcleos a 7 días	79
Tabla 27 Resultados de las tablas 7 y 8 para núcleos a 7 días	79
Tabla 28 Resultados de las tablas 9 y 10, y las ecuaciones 9 y 10 para núcleos a 7 días	80
Tabla 29 Resultados de prueba a compresión y coeficientes obtenidos para núcleos a 28 días	80
Tabla 30 Resultados de las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 para núcleos a 28 días	81
Tabla 31 Resultados de las tablas 7 y 8 para núcleos a 28 días	81
Tabla 32 Resultados de las tablas 9 y 10, y las ecuaciones 9 y 10 para núcleos a 28 días	82
Tabla 33 Densidad seca para especímenes con masa máxima	85
Tabla 34 Densidad seca para especímenes con masa media	85
Tabla 35 Densidad seca para especímenes con masa mínima	86
Tabla 36 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, masa máxima	87
Tabla 37 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, masa media	87
Tabla 38 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, masa mínima	87
Tabla 39 Resultado ensayo a compresión a 7 días, masa máxima	89
Tabla 40 Resultado ensayo a compresión a 7 días, masa media	89
Tabla 41 Resultado ensayo a compresión a 7 días, masa mínima	89
Tabla 42 Resultado ensayo a compresión a 28 días, masa máxima	90
Tabla 43 Resultado ensayo a compresión a 28 días, masa media	91
Tabla 44 Resultado ensayo a compresión a 28 días, masa mínima	91
Tabla 45 Resultados de densidad seca para cilindros de concreto según tiempo de vibrado	97

Tabla 46 Densidad seca promedio según tiempo de vibrado.....	97
Tabla 47 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 2 segundos de vibrado.....	98
Tabla 48 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 2 segundos de vibrado	98
Tabla 49 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 5 segundos de vibrado.....	99
Tabla 50 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 5 segundos de vibrado	99
Tabla 51 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 10 segundos de vibrado	100
Tabla 52 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 10 segundos de vibrado	100
Tabla 53 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 20 segundos de vibrado	101
Tabla 54 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 20 segundos de vibrado	101
Tabla 55 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 40 segundos de vibrado	102
Tabla 56 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 40 segundos de vibrado	102
Tabla 57 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 60 segundos de vibrado	103
Tabla 58 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 60 segundos de vibrado	103
Tabla 59 Resumen de resistencia a la compresión según método de curado.....	105
Tabla 60 Densidad seca para cada zona estudiada	107
Tabla 61 Diferencia de resistencia a la compresión entre cilindros mediante metodología interna y núcleos extraídos aplicando corrección ACI 214.4R	108
Tabla 62 Diferencia de resistencia a la compresión entre cilindros mediante metodología interna y núcleos extraídos corrigiendo según ASTM C42	108
Tabla 63 Comparación entre 0.85f 'c de la resistencia de los cilindros mediante metodología interna y la resistencia de los núcleos extraídos.....	109
Tabla 64 Factores de correlación para calibrar el método de Frasson Jr. y la metodología interna de PC.....	114

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

La losa alveolar pretensada es un sistema de entrepiso pretensado el cual presenta extrusión a lo largo de su estructura, es principalmente utilizado en edificaciones donde la distancia entre columnas es mayor a 6m. Su principal característica es que, una vez colocada, se puede movilizar los trabajadores sobre la misma ya que tiene la capacidad de soportarse por sí sola sin deformar. Se debe aclarar que se debe verificar en los manuales del sistema de entrepiso si se necesita la utilización de puntales si se tienen distancias muy largas entre columnas. Este sistema de entrepiso, por su forma de ser construida, requiere de un tipo de mezcla especial llamada mezclas secas de alto desempeño.

Las mezclas secas son un tipo de diseño de concreto que tienen la particularidad de poseer bajo contenido de humedad, prácticamente cero asentamientos lo que se refleja en la poca trabajabilidad. Sin embargo, posee grandes beneficios como lo son resistencias tempranas y la reutilización rápida de las cimbras en la obra.

Las mezclas secas, utilizadas para dicha producción de la losa alveolar son especiales debido a que necesitan alcanzar alta resistencia a edad temprana, esto para agilizar la producción ya que este tipo de elemento es pretensado y se deben cortar los torones lo más rápido posible para continuar con la línea de producción, pero sin que esto genere un problema de deformación en el elemento por falta de tiempo de endurecimiento del concreto.

La resistencia requerida para poder cortar los torones (f^*_{ci}) es la alcanzada en un rango de entre 16 a 24 horas y debe ser de 290 kg/cm^2 aproximadamente, y la resistencia a la cual es diseñada el elemento es la resistencia a los 28 días ($f^*_{'c}$) la cual es de 420 kg/cm^2 .

Actualmente la empresa Productos de Concreto, lugar en donde se lleva a cabo la investigación mide la resistencia a la compresión mediante un ensayo modificado de uno normado, esto por la falta de equipo especializado para realizar los especímenes, sin embargo, esta resistencia es mayor a la que dan dichos ensayos, y realizar un ensayo de la resistencia del elemento es costosa.

Investigando sobre el tema, no se han realizado investigaciones sobre qué elementos interfieren en la resistencia de la losa alveolar, ni la forma de realizar ensayos para determinar dicha resistencia de manera más económica y práctica.

1.2 Planteamiento del problema de investigación

La resistencia f'_{ci} en la losa alveolar es sumamente importante, pues esta agiliza la producción. No se puede aceptar una resistencia menor ya que se pueden generar deformaciones en el elemento volviéndolo inservible, sin embargo, la resistencia de diseño f'_c también es sumamente importante ya que es con la cual se hacen los análisis de cargas.

Al medirse la resistencia a compresión a los 28 días, se obtienen valores cercanos a los 550kg/cm^2 , lo cual representa una incompatibilidad de aproximadamente 31% mayor de firmeza lo cual a nivel de empresa no es rentable, pues la diferencia entre uno y otro es muy amplia y esto genera un costo excesivo para la producción y baja rentabilidad.

Al darse esta problemática, la presente investigación se enfoca en calibrar los métodos de obtención de la resistencia en concretos secos, específicamente en losa alveolar de manera tal que se pueda proponer cambios en el diseño de mezcla actual, logrando su optimización.

1.3 Hipótesis

Mediante la utilización de distintos métodos para la obtención de la resistencia en el concreto; uno destructivo normado por la ASTM C42 y otros dos realizados en el concreto en estado fresco el primero de estos dos últimos métodos realizado mediante la normativa interna de Productos de Concreto y la otra mediante la metodología planteada por Frasson Jr., se busca comparar la densidad seca y la resistencia a la compresión para determinar si los datos obtenidos por estas metodologías necesitan de factores para la correlación entre ellos.

Se esperaría que la dispersión entre los datos obtenidos por los distintos métodos no sea significativa, sino que se puedan comparar sin necesidad de factores de correlación.

1.4 Justificación del estudio de investigación

En la actualidad, existe incertidumbre sobre si uno de los métodos que permiten obtener la resistencia a la compresión del concreto en estos elementos es completamente representativo, esto se demuestra con base en los estudios de laboratorio que se han llevado a cabo analizando la resistencia dada por los cilindros de concreto y la extracción de núcleos en la losa alveolar, en donde se demuestra que no son similares. Esto es principalmente por el fenómeno de vibro compactación que recibe la losa al momento de ser colada. A pesar de ser relativamente más exacta la resistencia determinada mediante los núcleos extraídos, no se puede realizar tan seguido pues son pruebas destructivas y relativamente más complicadas y de mayor duración que el método estándar de especímenes de concreto. Es por esto que se pretende calibrar los métodos utilizados por la empresa de manera tal que, al utilizar uno u otro método, puedan ser fácilmente relacionados con otro método y a la vez relacionado a la resistencia real del elemento.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Determinar los factores de corrección para la calibración de tres métodos de obtención de la resistencia a la compresión en concreto seco de alto desempeño en losa alveolar pretensada.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Comparar la resistencia a la compresión obtenida por dos métodos de curado en cilindros estándar de 100 mm de diámetro x 200 mm de altura, preparados en mesa vibradora según la metodología interna establecida por Productos de Concreto.
2. Determinar la resistencia a la compresión y la densidad seca en probetas cilíndricas por medio de la metodología interna establecida por Productos de Concreto para mezclas de concreto utilizadas en la fabricación de losas alveolares, en núcleos extraídos en la losa

alveolar mediante la metodología descrita en la ASTM C42 y en probetas cilíndricas por medio de la metodología de Frasson Jr.

3. Determinar el efecto de la variabilidad en el tiempo de vibración de las mezclas de concreto utilizadas en la fabricación de losa alveolar, en la densidad y la resistencia a la compresión.
4. Determinar si existe un factor de correlación para los tres métodos de obtención de la resistencia a la compresión en concreto seco de alto desempeño en losa alveolar evaluadas.

1.6 Alcances y limitaciones

1.6.1 Alcances de la investigación

Partiendo de la investigación realizada por el Ingeniero Antonio Incera Pérez, quien validó la metodología planteada por Frasson Jr. Siendo esta práctica para la evaluación en laboratorio y complementado por las normativas establecidas por la ASTM y ACI e INTE, se determinará los factores de relación necesarios para calibrar los distintos métodos de obtención de la resistencia a la compresión planteados en el presente trabajo de investigación para concreto seco de alto desempeño empleado en la producción de losa alveolar.

Mantener los especímenes realizados con los distintos métodos con el mismo sistema de cura del concreto, de manera que no sea una variable que interfiera en los resultados finales. Si esto no se tomara en cuenta, no se puede asegurar que los resultados obtenidos sean confiables ya que no se llevaron a cabo tomando las mismas condiciones.

Verificar si existe una diferencia pronunciada entre dos métodos de cura; en laboratorio por medio de pilas y la cura en patio con aspersores.

1.6.2 Limitaciones de la investigación

La mezcla de concreto es proporcionada por la empresa y su diseño es el establecido para la losa alveolar de 20 cm de peralte.

No se tiene control sobre la mezcla, ya que es preparada en el centro de mezclado en la planta de producción de Productos de Concreto.

Los experimentos realizados se realizan en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa, por lo que algunas variables como el clima no se pueden controlar, especialmente los fines de semana.

La época del año en la cual se realiza la investigación, ya que los resultados se limitan a la época y el estado del clima al momento de realizar los ensayos del presente trabajo de investigación.

El personal que realiza las pruebas en la mesa vibratoria no es el mismo, ya que esto genera una variabilidad en los resultados obtenidos.

El proceso de extracción de los núcleos lo realizan técnicos certificados ACI, además se genera una variabilidad pues fueron distintos personales que realizaron este proceso.

Al momento de realizar los cilindros por el método de Frasson Jr. algunos especímenes no quedan perfectamente cilíndricos, principalmente por problemas con los moldes, lo cual infiere en variaciones al momento de pulir los cilindros.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se proporcionará la argumentación teórica necesaria para el desarrollo del proyecto de investigación realizado en mezclas secas de alto desempeño utilizadas en la fabricación de losa alveolar. Este capítulo se divide en cuatro partes, en donde la primera trata sobre la losa alveolar, una breve explicación de sus características y la utilidad en la construcción, la segunda parte trata sobre el concreto seco de alto desempeño, sus cualidades, materiales y aplicaciones en la industria. En la tercera parte se exponen los métodos para obtención de la resistencia en la losa alveolar utilizados por la empresa Productos de Concreto S.A y las normativas que lo respaldan, tanto nacionales como internacionales. Para finalizar, la cuarta parte muestra el método de diseño de mezcla para bloques de concreto de Frasson Jr., de qué trata, sus cualidades y diferencias con otros métodos.

2.1 Losa alveolar extruida pretensada

El Manual técnico PC de entresijos establece que el sistema de losa alveolar extruida pretensada consiste en paneles con secciones huecas, con módulos de 1.22 m de ancho menos la losa alveolar 8 cm que cuenta con 0.395 m (ver ilustración 1). Cuenta con paneles con peraltes de 8 cm, 15 cm (ver ilustración 2), 20 cm (ver ilustración 3) y 25 cm (ver ilustración 1), los cuales se pueden utilizar para claros entre vigas de hasta 13.80 m.

Según ANIPPAC (S.F). La principal característica de este elemento es que no necesita de encofrado para la fabricación del mismo, pues la energía que se le da para la compactación, sumado a la resistencia del concreto y la baja relación de agua en la mezcla hacen que la mezcla apenas se termine de vibro-compactar, obtenga una resistencia tan alta que el elemento se pueda sostener por sus propios medios, esto genera una gran productividad en planta pues los ciclos de colado son generalmente de 24 horas.

Algunas de sus aplicaciones en la industria de la construcción son en sistemas de entresijos para edificios de oficinas, hospitales, gimnasios, centros comerciales, entre otros que requieran claros mayores con cargas altas. Entre sus ventajas se encuentran su ligereza, capacidad de aislamiento térmico y acústico, facilidad para la colocación de ductos de

instalaciones eléctricas e hidráulicas. Las piezas de losas se fabrican en distintas dimensiones, según las características deseadas para el proyecto realizado. Las dimensiones con las que trabaja la empresa Productos de Concreto son las mostradas a continuación:

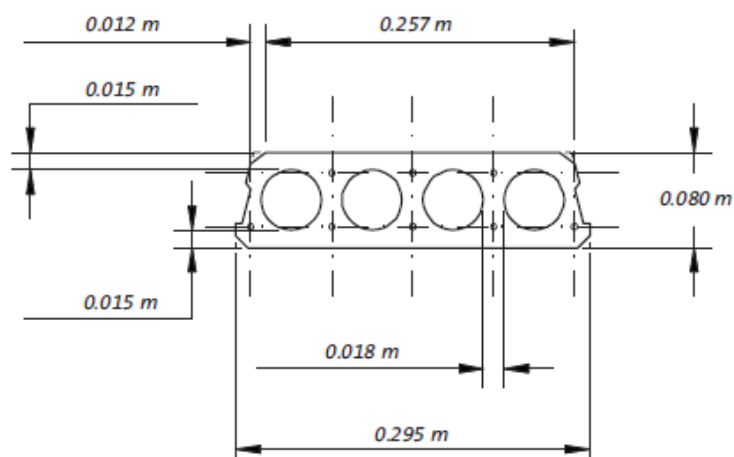


Ilustración 1 Losa alveolar 8 cm.

Fuente: Catálogo Productos de Concreto, 2017

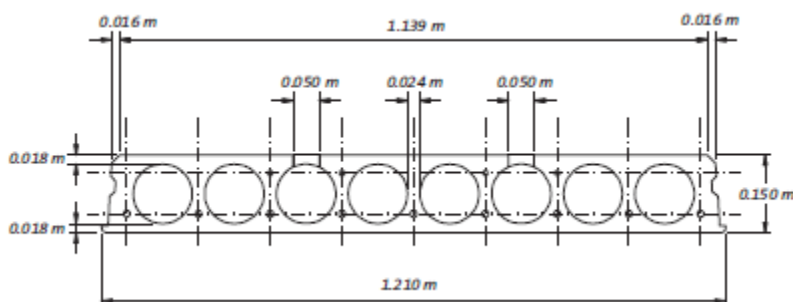


Ilustración 2 Losa alveolar 15 cm

Fuente: Catálogo Productos de Concreto, 2017

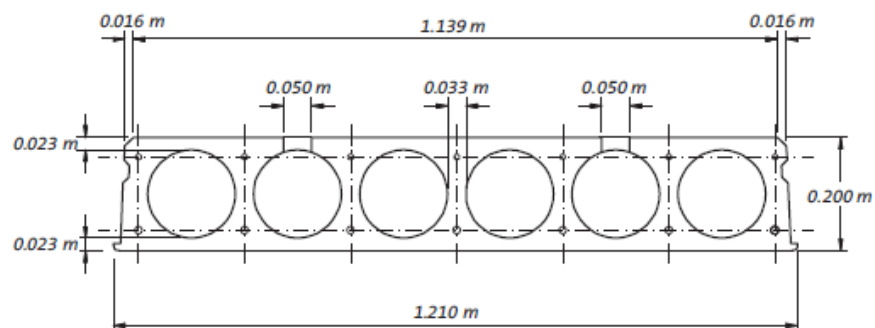


Ilustración 3 Losa alveolar 20 cm

Fuente: Catálogo Productos de Concreto, 2017

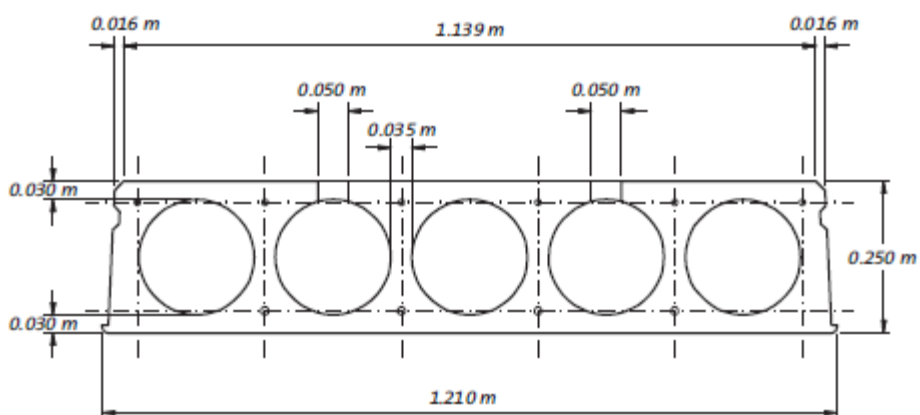


Ilustración 4 Losa alveolar 25 cm

Fuente: Catálogo Productos de Concreto, 2017

Se debe mencionar que la losa mostrada en la figura 3 es con la que se trabaja para el presente trabajo de investigación.

2.2 Concreto de alto desempeño

Los concretos de alto desempeño (CAD) poseen características que superan las propiedades y constructibilidad de los concretos tradicionales.

Su diseño y elaboración requieren de materiales seleccionados, y de procedimientos bien especificados como lo puede ser el tiempo de mezclado, las secuencias de dosificación, el tiempo de colado, entre otras.

Estos tipos de concretos son generalmente utilizados en elementos estructurales en donde se necesite alguna característica especial, como lo puede ser un tiempo de obtención de resistencia corto, alta resistencia, gran durabilidad, entre otros.

Estos materiales generalmente poseen baja relación entre agua y material cementante, por lo que es muy común el uso de aditivos como los fluidificantes, entre otros.

Portland Cement Association, (2004) menciona que concreto de alto desempeño no significa alta resistencia, pueden existir concretos de alto desempeño con resistencia normal como es el caso de los concretos con alta durabilidad y baja permeabilidad, pero con resistencia normal.

Se debe mencionar, además, que no se pueden obtener todas las características posibles en un concreto de alto desempeño, por lo que para cada caso se deben seleccionar las características necesarias para ser elaborado. Para el caso del concreto utilizado en la producción de la losa alveolar, se utiliza un concreto de alta resistencia inicial, esto para lograr cortar los cables del pretensado de en aproximadamente 24 horas.

2.2.1 Concreto de alta resistencia inicial

Este tipo de concreto logra una alta resistencia a una edad muy corta, que va desde horas hasta varios días.

El concreto de alta resistencia inicial es utilizado en concreto pretensado para permitir la aplicación de esfuerzos más pronto, en prefabricados para reutilización rápida del

encofrado, en construcciones con climas fríos, en fin, en obras que necesiten de una rápida obtención de resistencia según el Portland Concrete Association (2004)

Para el caso de estudio, el concreto de alta resistencia inicial es indispensable para obtener la resistencia necesaria para el pretensado. El Portland Concrete Association (2004), establece las altas resistencias en un concreto se pueden dar combinando una o varias de las siguientes recomendaciones:

- Uso de cemento de alta resistencia inicial
- Alto contenido de cemento
- Baja relación agua- material cementante
- Temperatura más elevada del concreto fresco
- Mayor temperatura de curado
- Aditivos químicos

En el concreto utilizado para la fabricación de la losa alveolar, se utiliza una relación agua-cemento de aproximadamente 0.3 lo cual requiere de vibro compactación para lograr la uniformidad en la mezcla colocada, su cohesión entre las partículas y su resistencia.

2.3 Componentes del concreto de alto desempeño

Para la elaboración del CAD, se deben seleccionar de manera minuciosa los agregados, tipo de cemento y aditivos.

El Portland Concrete Association (2004), menciona que, para los concretos de alto desempeño, se debe producir con agregados seleccionados, con dosis bien definidas, con el proceso de mezclado adecuado, colocación y proceso de cura correctas, asegurando un alto nivel en la industria.

Cada agregado posee sus cualidades en el concreto, es por esto que seguidamente se explicará cada uno de ellos.

2.3.1 Cemento

El cemento hidráulico está compuesto principalmente por silicatos de calcio, tienen la capacidad de endurecerse al reaccionar químicamente con el agua.

El cemento se realiza al pulverizar el Clinker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. También contiene algunos tipos de aluminatos de calcio y ferro aluminatos de calcio las cuales son molidas en conjunto al Clinker. (PCA, 2004, p. 28)

En Costa Rica, la normativa que rige la clasificación de los cementos es la INTE C147, la cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Clasificación del cemento según INTE C173

Clasificación	Especificación
Tipo I	Cemento Portland ordinario
Tipo ME	Cemento hidráulico modificado con escoria de alto horno
Tipo MF	Cemento hidráulico modificado con Humo de Sílice
Tipo MP	Cemento hidráulico modificado con puzolana, ceniza volante o Esquisto
Tipo MC	Cemento hidráulico modificado con Caliza
Tipo MM	Cemento hidráulico modificado Mixto

Fuente: Elaboración propia, 2017

** Para el presente trabajo de investigación se utilizó un cemento establecido en el diseño de mezcla el cual es tipo MC/A-AR el cual presenta alta resistencia inicial.

2.3.2 Agregados

La calidad de los agregados es de suma importancia. Algunos creen que la calidad de un concreto es solo en el cemento utilizado, sin embargo, la calidad de los agregados no se debe subestimar.

Según el Portland Concrete Association (2004, p. 103), los agregados, fino y grueso, ocupan entre el 60% al 75% del volumen de la mezcla de concreto.

Estos generan una gran influencia en la resistencia, propiedades y cualidades finales del concreto. Es por esto que para realizar concretos de alto desempeño se deben seleccionar los mejores agregados que proporcionen las cualidades que se buscan en el resultado final.

Para verificar la calidad de los agregados, se debe realizar la caracterización respectiva, tanto para el agregado fino como grueso. A continuación, se mencionarán las normas nacionales que rigen la caracterización de los agregados.

- INTE C67 “Practica para la toma de muestras de agregados”
- INTE C62 “Norma para reducir muestras de agregado a tamaño de ensayo”
- INTE C68 “Método de ensayo para determinar la densidad, gravedad específica (densidad relativa), y la absorción del agregado grueso.
- INTE C69 “Método de ensayo para determinar la densidad, gravedad específica (densidad relativa), y la absorción del agregado fino”
- INTE C71 “Método de ensayo para medir el contenido total de humedad evaporable en agregados mediante secado”
- INTE C58 “Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario) y los vacíos en agregado”
- INTE C49 “Método para determinar por lavado el material que pasa por el tamiz 75 μm en agregados minerales”

- INTE C46 “Método de ensayo para el análisis granulométrico en mallas de agregado fino y grueso.”

Teniendo los agregados caracterizados se puede asegurar un comportamiento en la mezcla de concreto como se desea, así si se cambian los agregados se puede verificar si los nuevos agregados pueden servir para realizar la misma mezcla con las mismas características.

2.3.3 Aditivos

Los aditivos son ingredientes en polvo o líquido, que se añaden a la mezcla de concreto antes o durante el mezclado para que este obtenga nuevas propiedades. Sus principales funciones son la de reducir el costo de la construcción de concreto y obtener propiedades del concreto de una manera eficaz.

El Portland Concrete Association (2004, p. 135), establece la siguiente clasificación de los aditivos según su función:

- Aditivos incorporadores de aire.
- Aditivos reductores de agua.
- Plastificantes.
- Aditivos aceleradores.
- Aditivos retardadores.
- Aditivos de control de la hidratación.
- Inhibidores de corrosión.
- Reductores de retracción.
- Inhibidores de reacción álcali-agregado.
- Aditivos colorantes.
- Aditivos diversos para usos específicos.

Por otra parte, la norma ASTM C494 “Especificación estándar para aditivos químicos par concreto” establece la siguiente clasificación de los aditivos, la cual se muestra en la tabla 3.

Tabla 2 Clasificación de los aditivos según INTE C494

Tipo	Función
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardantes
C	Aditivos acelerantes
D	Aditivos reductores de agua y retardantes
E	Aditivos reductores de agua y acelerantes
F	Aditivos reductores de agua de alto rango
G	Aditivos reductores de agua de alto rango, y retardantes
S	Aditivos de desempeño específico

Fuente: INTE C494, 2017

Para el caso del presente trabajo de investigación según lo establecido por el diseño de mezcla señalado por la empresa para este tipo de elementos, se utiliza un aditivo plastificante para productos de concreto: Drycast (moldeados en seco) es un aditivo líquido que promoverá una hidratación más completa y eficiente del cemento, lo cual mejora la resistencia temprana y final, así como la integridad del elemento.

2.3.4 Agua

El agua es indispensable para la mezcla de concreto, es la encargada de hacer reaccionar el cemento, formando los cristales que unen la pasta de concreto. Prácticamente cualquier agua que sea potable, sin mal olor o color, puede ser utilizada para realizar mezclas de concreto, así lo establece la Portland Concrete Association (2004, p. 95)

Si se desea utilizar agua de una fuente dudosa, se deben realizar los distintos ensayos de laboratorio para determinar si esa agua puede o no ser utilizada para la elaboración de concreto, ya que el exceso de impurezas en el agua puede causar distintas anomalías en el concreto como lo es el tiempo de fraguado, la resistencia alcanzada, manchas, corrosión en el acero si esta presenta gran cantidad de metales, problemas en la durabilidad entre otros, es por esto que se debe garantizar la calidad del agua utilizado para la elaboración de concreto.

La norma ASTM C42 muestra los criterios de aceptación si se desea utilizar agua

Tabla 3 Criterios de aceptación para abastecimiento de aguas dudosas según ASTM C94

	Limits	Test Method
Compressive strength, min % control at 7 days	90	C 109/C 109M ^A
Time of set, deviation from control, h: min	from 1:00 early to 1:30 later	C 191 ^A

de dudosa calidad.

Fuente: ASTM C94, 2004

Por otra parte, muestra la siguiente tabla en donde se dan los límites químicos opcionales especificados para la realización de concreto.

Tabla 4 Límites químicos opcionales para el agua de lavado

	Limits	Test Method ^A
Chemical requirements, maximum concentration in mixing water, ppm ^B		
Chloride as Cl, ppm:		D 512
Prestressed concrete or in bridge decks	500 ^C	
Other reinforced concrete in moist environments or containing aluminum embedments or dissimilar metals or with stay-in-place galvanized metal forms	1000 ^C	
Sulfate as SO ₄ , ppm	3000	D 516
Alkalies as (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), ppm	600	
Total solids, ppm	50 000	AASHTO T26

Fuente: ASTM C94, 2004

2.4 Proceso de producción de losa alveolar

En la empresa Productos de Concreto, poseen dos máquinas para la producción de este tipo de entrepiso pretensado, una máquina para los de peraltes de 8 cm y de 15 cm, y la otra para los peraltes de 20 cm y 25 cm. Cabe mencionar que esta investigación se limita solamente a las de peralte de 20 cm y 25 cm ya que ambas comparten el mismo diseño de mezcla y la misma maquinaria extrusora.

La máquina extrusora utilizada es de la marca ELEMATIC la cual es mencionada por elematic.com (S.F) en su catálogo, donde utiliza compactación por cizallamiento que se ajusta a las propiedades del concreto.

El proceso para la elaboración de una losa alveolar es sencillo, seguidamente se mostrará el paso a paso.

1. Primeramente, se debe limpiar la pista por donde será producida la losa, este proceso se realiza mediante una máquina que va barriendo la pista mientras se le introduce agua, posteriormente se coloca desmoldante en la superficie de la pista



Ilustración 5 Limpieza y colocación de desmoldante

Fuente: Propia, 2017

2. Se colocan los torones y se tensan hasta alcanzar la tensión necesaria. Este proceso es indispensable pues transmite la pretensión al elemento una vez cortada. Cabe mencionar que esta parte posee un poco de riesgo ya que la tensión alcanzada es muy elevada y si algún cable se suelta o falla puede causar daños graves a personas. La cantidad de torones



Ilustración 6 Torones de preesfuerzo

varía dependiendo del tipo de losa a producir.

Fuente: Propia, 2017

3. Una vez colocados los torones se procede a trasladar la máquina extrusora hasta la pista en donde será producida la losa alveolar. Este proceso se realiza gracias a las puente-grúa que se encuentran suspendidas a lo largo de la planta.



Ilustración 7 Movilización de máquina extrusora

Fuente: Propia, 2017

4. Una vez colocada la máquina, se procede a pedir concreto de alto desempeño al centro de mezclado el cual lo envía en tolvas de 1m^3 . Para este tipo de losa el rendimiento para cada tolva es de aproximadamente 6 a 8 metros lineales.



Ilustración 8 Tolva de concreto

5. Al llegar la tolva a la máquina, el operario realiza una inspección del concreto para verificar si este está apto para ser utilizado. Como se puede observar en la ilustración 9, el proceso se realiza visualmente por lo que el operario debe tener alto conocimiento en el tipo de concreto a utilizar.



Ilustración 9 Verificación de calidad visual del concreto

Fuente: Propia, 2017

6. Al verificar la calidad comienza el proceso de producción. A lo largo de la pista se va verificando las medidas tanto de ancho como de espesor, esto mediante el uso de cinta métrica e introduciendo una varilla para medir su espesor. Por otra parte, se realizan cilindros para comprobar la resistencia en tres partes de la pista, a un tercio, a un medio y a tres cuartos de la misma, por cada zona se realizan 3 cilindros los cuales son usados principalmente para verificar la resistencia f'_{ci} .



Ilustración 11 Verificación de espesor

Fuente: Propia, 2017



Ilustración 10 Proceso de realización de cilindros de concreto

Fuente: Propia, 2017

7. Una vez finalizado el proceso de producción de la losa se procede a colocar una manta plástica y encima una lona como se puede observar en la siguiente ilustración, esto para que se dé el proceso de cura con el propio calor de hidratación del concreto. Este proceso dura aproximadamente 24 horas, al siguiente día se toman de los cilindros realizados y se fallan para verificar si la resistencia es la adecuada para poder cortar el elemento.



Ilustración 12 Colocación de plástico y lona para curado

Fuente: Propia, 2017

8. El último proceso posterior a la verificación de la resistencia es el corte de los elementos según las dimensiones requeridas, como se logra observar en la ilustración 14, y posterior a ello se da el traslado a los patios de cura, en donde recibirá agua en los primeros 7 días por completo, y posterior a ello recibirá al menos una vez al día agua. Cabe recalcar que, al estar en periodo lluvioso, por las tardes llueve, por lo que el proceso de cura se da en mayor medida para los elementos que se encuentran en el patio.



Ilustración 13 Proceso de corte de losa

Fuente: Propia, 2017

2.5 Método para el cálculo de la densidad en concreto en estado endurecido

Para el cálculo de las densidades se realiza mediante la ley del volumen desplazado de Arquímedes la cual es explicada en la normativa INTE C50 “Muestreo y método de ensayo de unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas”. En esta normativa se da la siguiente ecuación:

$$Densidad = \frac{W_d}{(W_s - W_i)} * 1000 \quad (1)$$

Donde:

- W_d : Es el peso del núcleo luego de 24 horas en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (kg). Esto se realiza colocando los especímenes tal y como se logra apreciar en la siguiente ilustración.



Ilustración 14 Horno para secado

Fuente: Propia, 2017

- W_s : Es el peso del núcleo en condición de superficie saturada-superficie seca. Esto se realiza secando la superficie de los especímenes con un paño para eliminar el agua libre.
- W_i : Es el peso del núcleo sumergido luego de 24 horas de estar en condición sumergida. Para esto se introducen los especímenes a las pilas de curado y posterior se utiliza una balanza especial para poder pesar el espécimen mientras se encuentra sumergido. En la siguiente ilustración se muestra esta balanza.



Ilustración 15 Balanza para pesado de especímenes sumergidos

Fuente: Propia, 2017

Esta metodología será aplicada para el cálculo de la densidad seca para los ensayos estudiados.

2.6 Métodos para obtención de la resistencia a la compresión en losa alveolar extruida pretensada

2.6.1 Método interno con especímenes cilíndricos

En Productos de Concreto velan por mantener los estándares de calidad necesarios garantizar la eficacia que han mantenido durante su trayectoria. Es por esto que siguen las normas establecidas por INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica) o el

ASTM (American Society for Testing and Materials International), para la producción de losa alveolar y los respectivos ensayos para verificar su calidad.

Tal y como se mencionó anteriormente, al producir losa alveolar se realizan cilindros estándar de 100 mm x 200 mm los cuales son la única forma de verificar la resistencia de la losa, para la producción de estos cilindros no se puede realizar de la forma ordinaria según lo establece el ASTM C31, esto debido a la baja relación agua/cemento lo cual es catalogado como mezclas de concreto seco con un asentamiento prácticamente de cero.

El ASTM C31 establece que, para concretos con asentamiento menor a 25 mm, se debe utilizar vibración para realizar los cilindros.

En este caso, se utiliza la norma INTE C34 “Elaboración de concreto compactado con rodillo en moldes cilíndricos usando una mesa vibratoria.” Sin embargo, se debe recalcar que, para la realización del presente trabajo, se utilizó una adaptación de esta normativa, esto debido a que actualmente no cuentan con el equipo normado como lo dicta dicha norma. Cabe mencionar que la empresa se encuentra en proceso de adquirir el equipo necesario para cumplir por completo con lo establecido.

Esta norma establece el uso de una máquina, conocida como **consistómetro vebe**. Este equipo se basa en una mesa vibratoria con una frecuencia establecida según la norma, en la cual se sujeta mediante pernos el cilindro para realizar el espécimen. Para realizar la compactación del concreto se utiliza una pesa normalizada, mientras el cilindro es vibrado. Así se simula la vibro compactación que le da la máquina al producir losa alveolar.

Para los cilindros de concreto se utiliza la mesa vibratoria, cabe recalcar que al momento de realizar la investigación en la empresa no contaban con una mesa vibratoria que cumpliera con la normativa nacional INTE C34 “Elaboración de concreto compactado con rodillo en moldes cilíndricos usando una mesa vibratoria.” Sin embargo, el proceso de realización de los especímenes se trata de simular de la misma manera.

A continuación, se mostrarán los procedimientos tanto normado como el que utilizan actualmente en la empresa Productos de Concreto para la realización de dichos cilindros estándar de 100 mm x 200 mm.

2.6.1.1 *Procedimiento normado*

En esta normativa se han definido 2 métodos para la elaboración de los cilindros de concreto usando una mesa vibratoria:

- El método A es un procedimiento para la elaboración de especímenes de ensayo en moldes de acero reusables anexados a una mesa vibratoria.
- El método B es un proceso para la elaboración de especímenes de ensayo en moldes plásticos desechables que han sido insertados al interior de un collarín metálico anexados a una mesa vibratoria.

Para el caso de estudio, se selecciona el método A, pues se cuenta con moldes de acero reusables.

Los especímenes de ensayo son elaborados en moldes cilíndricos que son sujetos a una mesa vibratoria bajo una sobrecarga de 9 kg (20 lb) para facilitar la consolidación, la explicación del método es la siguiente:

1. Cubrir los moldes tipo A con un lubricante o desmoldante apropiado antes de colocar los especímenes de ensayo para facilitar su remoción de los moldes.
2. Colocar el molde sobre la mesa vibratoria y centrar la sobrecarga a tal punto que los lados del disco de plástico no toquen las paredes del molde. Bajar la sobrecarga al interior del molde para chequear el apropiado distanciamiento. Sujetar el molde a la mesa vibratoria ajustando firmemente las tuercas tipo mariposa. Mover la sobrecarga fuera del molde.
3. Colocar suficiente cantidad de concreto en el molde de manera tal que este se llene a 1/3 de su volumen luego de la consolidación con aproximadamente 4,5 kg (9,5 lb). La varilla de apisonado puede ser usada para distribuir el concreto suelto mientras es añadido.
4. Mover la sobrecarga sobre el centro del molde, desplazar el collarín guía y colocar la sobrecarga suavemente sobre el concreto suelto. La sobrecarga debe ser capaz deslizarse verticalmente sin obstrucción del collar guía.

Se debe mencionar que este es el procedimiento estándar establecido en la normativa INTECO, se debe verificar que en la empresa se siga este procedimiento.

2.6.1.2 *Procedimiento utilizado por la empresa*

El procedimiento que se sigue actualmente en la empresa es muy similar al mencionado anteriormente solo que posee algunas variaciones entre ellas el quipo utilizado. Seguidamente se señalará el equipo con el que cuentan actualmente para la producción de cilindros estándar en la planta de producción.

- Sobrecarga grande de 8449 gramos.
- Sobrecarga pequeña de 6256 gramos.
- Mesa vibratoria (No cuenta con modelo ni marca).
- Moldes de acero para especímenes de concreto.
- Llaneta.
- Cuchara.

En la siguiente ilustración se muestran parte de los equipos necesarios para la elaboración de los especímenes.



Ilustración 16 Llaneta, sobrecarga grande y sobrecarga pequeña

Fuente: Propia, 2017



Ilustración 17 Mesa vibratoria

Fuente: Propia, 2017

Procedimiento:

1. Preparación de moldes para concreto. Los moldes que utilizan deben estar completamente limpios, con desmoldante y en buen estado, los pernos y tuercas deben estar lo suficientemente ajustadas para evitar que se suelten mientras se da el proceso de vibración.
2. Muestreo del concreto proveniente del centro de mezclado, se debe la suficiente mezcla para realizar todos los cilindros requeridos, el concreto debe estar fresco y la cantidad de cilindros por realizar deben ser pocas para que el concreto no pierda la poca humedad que posee por ser un concreto seco, si esta humedad se pierde se necesitará más tiempo de vibrado lo que puede causar pérdida de materiales finos.
3. Se introduce mezcla de concreto en el cilindro hasta llenar la mitad del cilindro, se coloca en la mesa vibradora colocando levemente la sobrecarga pequeña sin presionarla hacia abajo, debe compactar el tiempo que sea necesario hasta lograr ver un anillo de mezclas saliendo por el perímetro del cilindro. Este proceso debe durar entre 8 y 10 segundos, dependiendo que la humedad del concreto.

4. Se coloca mezcla hasta $2/3$ del cilindro y se realiza el mismo procedimiento anterior con la sobrecarga pequeña. Este proceso debe durar entre 8 a 10 segundos.
5. La última capa se debe sobrellenar por acumulación del concreto encima del nivel superior del molde y se coloca levemente la sobrecarga grande, dejando que se compacte. Si se consolida por debajo del nivel del cilindro, se debe retirar el molde y colocar más concreto dejando una capa de 3mm sobre el borde. Este proceso debe durar entre 8 y 10 segundos.

2.6.1.3 Curado de los especímenes

Los cilindros deben ser curados de la misma manera que la losa alveolar, introduciéndolos debajo del plástico negro y la lona según lo establecido en la norma INTE C19 “Práctica para hacer y curar especímenes de concreto para ensayo en el campo”

2.6.2 Extracción de núcleos de concreto

Otra forma de verificar la resistencia a la compresión del concreto es mediante la práctica de un ensayo destructivo como lo es la extracción de núcleos, este ensayo se realiza mediante la norma dada por el ACI 214-4R y el ASTM C42. Este tipo de prueba da una idea de la resistencia real y de la densidad que obtiene el concreto al ser vibro compactado por la máquina en la planta, sin embargo, por su costo al tener que desechar el elemento y su dificultad para realizar la prueba, este tipo de ensayo es utilizado en pocas ocasiones.

El método de los núcleos consiste en extraer una muestra cilíndrica del elemento en estudio por medio de un taladro para posteriormente determinar la resistencia a la compresión. El uso de los equipos para extraer los núcleos solo puede ser utilizado por personal capacitado, para esta investigación los laboratoristas Eduardo Artavia Calderón (ACI 01175919) y el señor William Montero Villalobos (ACI 01175924) fueron los encargados del proceso de extracción de los núcleos.

Las investigaciones en general muestran que la resistencia a la compresión del hormigón medida a partir de núcleos extraídos de la estructura, es menor que la suministrada por los cilindros moldeados, curados y ensayados a la misma edad. Esta diferencia puede estar influenciada por la eficacia de curado en las obras y por la exposición de la estructura a factores ambientales como cambios fuertes de temperatura y agua lluvia. (Hincapié y Valencia: 2002)

Esta metodología, al poseer una serie de variables las cuales pueden modificar la resistencia real del elemento, produce una serie de factores los cuales modifican el valor de la resistencia obtenida al fallar el núcleo. Entre las variables se encuentran la condición climática al momento de fallar el núcleo, la condición de curado del elemento, la calidad de la extracción del núcleo ya que se pueden generar micro fisuras provocando valores menores a los reales, estas micro fisuras se pueden dar por mal proceso de extracción o por malas condiciones al curar el núcleo.

2.6.2.1 Equipo para la extracción de núcleos de concreto

Esta metodología requiere de equipo especial para su extracción, tal como un taladro el cual posee una broca con punta de diamante capaz de penetrar en el concreto. Este equipo posee una bomba a succión en su parte inferior para aferrarse al elemento, reduciendo así el movimiento y los posibles errores al momento de la extracción, adicional a esto se rocía agua en la zona a extraer para reducir la fricción entre la broca y el concreto.



Ilustración 18 Equipo para extraer núcleos

Fuente: Propia, 2017

Debido a que se debe cumplir con la planicidad del núcleo según el ASTM C39, los bordes de los núcleos deben ser cortados para posteriormente pulirlos, esto primeramente debido a que al momento de la extracción los bordes de los núcleos quedan con desperfectos y segundo ya que los núcleos quedan más largos de lo que deben ser, esto para cumplir con lo establecido en el ASTM C42 sobre la relación largo/diámetro la cual debe ser 2/1. Para poder cortar los núcleos se utiliza una mesa con una cierra, tal como se logra apreciar en la siguiente ilustración:



Ilustración 19 Proceso de corte de núcleos

Fuente: Propia, 2017

Posterior al proceso de corte se realiza el pulido de ambas caras y su respectiva prueba a compresión en la prensa hidráulica.

2.6.3 Metodología ACI para interpretación de resultados en extracción de núcleos

A continuación, se explicará el proceso metodológico que rige el ACI 214.4R. Con esta metodología se pretende extraer núcleos de una losa de pruebas. Con la extracción de estos núcleos se proyecta verificar tanto la resistencia con este método, y la densidad del concreto que transmite la máquina, comparando ambos valores con los obtenidos con los distintos métodos de obtención de la resistencia estudiados en este presente trabajo.

Según la norma ASTM C42 debe existir una relación 1:2 entre el diámetro y la altura del núcleo (relación l/d), sino se debe utilizar los siguientes factores de corrección que se muestran en la tabla siguiente.

l/d	ASTM C 42/C 42M
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Tabla 5 Factor de corrección para núcleos

Fuente: ACI 214.4R, 2003

Acorde con la norma ACI 318, el concreto representado por los núcleos es considerado estructuralmente adecuado si el esfuerzo promedio de 3 núcleos es al menos 85% del esfuerzo especificado, y no menos de 75% en un solo núcleo. Esto es importante al momento de realizar los cálculos por si algún determinado núcleo se debe desechar si no cumple con lo especificado.

Según lo establecido en el ACI 214.4R existen dos metodologías para calcular la resistencia real del elemento según distintas variables, a continuación, se explicarán ambos métodos.

2.6.3.1 Enfoque de factor de tolerancia

El primer método para determinar la resistencia real del elemento mediante la falla a compresión de los núcleos es mediante la utilización de fórmulas estadísticas y factores de tolerancia los cuales se explican a continuación:

1. El primer paso es determinar el f'_c equivalente, esto se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$f_c = F_{l/d} * F_{dia} * F_{mc} * F_d * F_{core} \quad (2)$$

Donde:

- f_c es esfuerzo equivalente en sitio
- F_{core} es el esfuerzo del núcleo
- $F_{l/d}$, F_{dia} y F_{mc} son factores de corrección de la fuerza que tienen en cuenta los efectos de la relación longitud-diámetro, diámetro, y la condición de humedad del núcleo, respectivamente. El factor F_d cuenta el efecto del daño sufrido durante la perforación incluyendo micro fisuras y ondulaciones en la superficie perforada y el corte a través de partículas de agregado grueso que pueden emerger posteriormente durante la prueba.

Los factores mencionados se encuentran en la siguiente figura tomada del ACI

Tabla 6 Magnitud y precisión de los factores de corrección de la fuerza para convertir la fuerza en fuerzas equivalentes in situ

Factor	Mean value	Coefficient of variation V , %
<i>F_{l/d}</i> : <i>l/d</i> ratio [†]		
As-received [‡]	$1 - \{0.130 - \alpha f_{core}\} \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$
Soaked 48 h	$1 - \{0.117 - \alpha f_{core}\} \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$
Air dried [‡]	$1 - \{0.144 - \alpha f_{core}\} \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{l}{d}\right)^2$
<i>F_{dia}</i> : core diameter		
50 mm (2 in.)	1.06	11.8
100 mm (4 in.)	1.00	0.0
150 mm (6 in.)	0.98	1.8
<i>F_{mc}</i> : core moisture content		
As-received [‡]	1.00	2.5
Soaked 48 h	1.09	2.5
Air dried [‡]	0.96	2.5
<i>F_d</i> : damage due to drilling	1.06	2.5

214.4R

**Constante α equivale a 4.3×10^{-4} para valores de resistencia en MPa

Fuente: ACI 214.4R, 2003

En esta tabla se muestran tanto los factores de correlación para convertir los esfuerzos en esfuerzos equivalentes *in situ* y su respectivo coeficiente de variación.

2. Calcular la muestra significativa mediante la siguiente ecuación

$$\bar{f}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad (3)$$

Donde n es el número de pruebas y f_{ci} es el esfuerzo equivalente **in situ**.

El siguiente paso es calcular la desviación estándar del esfuerzo **in situ** mediante la siguiente ecuación

$$S_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(f_{ci} - \bar{f}_c)^2}{(n-1)}} \quad (4)$$

La media muestral y la desviación estándar de la muestra son estimaciones de la media y desviación verdadera de toda la población, la exactitud de estas estimaciones mejora a medida que aumenta el tamaño de la muestra según los conceptos de la estadística.

3. La desviación estándar de la resistencia **in situ** debido a la naturaleza empírica de los factores de corrección del esfuerzo, esto mediante la siguiente ecuación:

$$S_a = \bar{f}_c \sqrt{V_{l/d}^2 + V_{dia}^2 + V_{mc}^2 + V_d^2} \quad (5)$$

4. La incertidumbre general de los esfuerzos **in situ** estimados son la sumatoria de las incertidumbres dadas por el tipo de muestreo y la incertidumbre

que se da por los factores de correlación de los esfuerzos, esto para calcular la desviación estándar global se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_o = \sqrt{S_c^2 + S_a^2} \quad (6)$$

Seguidamente el ACI 214.4R nos describe que se debe calcular fractile del 10% de la resistencia **in situ**, estos son medidas útiles porque son menos susceptibles que los medios para las distribuciones de cola larga y los valores atípicos. Empíricamente, si los datos que se analizan no se distribuyen realmente de acuerdo con una distribución asumida, o si hay otras fuentes potenciales de valores atípicos que están muy alejados de la media, entonces los fractiles pueden ser estadísticas descriptivas más útiles que las medias y otras estadísticas relacionadas con el momento.

El ACI 214.4R (2003) menciona varias consideraciones las cuales influirán en la estimación del esfuerzo equivalente especificado, entre ellos están el nivel de confianza deseado, ya que a mayor nivel menor será el error, por otra parte, también se habla de las incertidumbres dadas por cada factor de relación las cuales se muestran en la ilustración anterior. Existen también errores atribuibles al tipo de muestreo y la cantidad de las muestras, a mayor cantidad de muestras menos será el error alcanzado.

Por otra parte, menciona que el nivel de confianza seleccionado es sugerido según su utilidad:

- 75% para estructuras
- 90% para edificios muy importantes
- 95% para componentes esenciales en centrales nucleares.

El ACI 228.1R menciona que un nivel de confianza del 75% se utiliza ampliamente en la evaluación de resistencias **in situ.

ACI 214.4R (2003) menciona que el método convencional para estimar un valor fractile es utilizar un factor de tolerancia K que aloja las incertidumbres tanto de la media de la muestra como de la desviación estándar de la muestra causada por tamaños de muestra más

pequeños. Como se puede observar en la tabla siguiente, el valor del factor K disminuye a medida que el número de especímenes aumenta.

Los valores para el factor K se muestran en la siguiente tabla, los valores varían dependiendo del valor de nivel de confianza que se seleccione como se mencionó anteriormente, en este caso se seleccionó un valor de 75% y un valor de cantidad de especímenes de 3.

Tabla 7 Factor K para límites unilaterales de tolerancia en el fractile 10%

<i>n</i>	Confidence level		
	75%	90%	95%
3	2.50	4.26	6.16
4	2.13	3.19	4.16
5	1.96	2.74	3.41
6	1.86	2.49	3.01
8	1.74	2.22	2.58
10	1.67	2.06	2.36
12	1.62	1.97	2.21
15	1.58	1.87	2.07
18	1.54	1.80	1.97
21	1.52	1.75	1.90
24	1.50	1.71	1.85
27	1.49	1.68	1.81
30	1.48	1.66	1.78
35	1.46	1.62	1.73
40	1.44	1.60	1.70

Note: *n* = number of specimens tested.

Fuente: ACI 214.4R, 2003

Despreciando los errores debidos al uso de factores de corrección de fuerza derivados empíricamente, el límite de tolerancia inferior en el fractile del 10% de los datos de resistencia in situ $f_{0.10}$ se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$f_{0.10} = \bar{f}_c - KS_c \quad (7)$$

Donde

\bar{f}_c y S_c son obtenidos de la ecuación (3) y (4)

La estimación del décimo percentil inferior de la resistencia in situ obtenida de la Ecuación (6) no toma en cuenta la incertidumbre dada por el uso de los factores de corrección de la fuerza. Esta incertidumbre puede explicarse utilizando un factor Z que se muestra en la Tabla siguiente. Como se logra apreciar, los valores para los factores Z no disminuyen a medida que aumenta el número de especímenes, sino que solo interfiere como variable el nivel de confianza que se selecciona.

Tabla 8 Factor Z

Confidence level, %	Z
75	0.67
90	1.28
95	1.64

Fuente: ACI 214.4R, 2003

La resistencia de diseño equivalente $f'_{c,eq}$ obtenido mediante el enfoque del factor de tolerancia, se obtiene a partir de la ecuación:

$$f'_{c,eq} = \bar{f}_c - \sqrt{(KS_c)^2 + (ZS_a)^2} \quad (8)$$

2.6.3.2 Enfoque alternativo

Este enfoque es el utilizado para encontrar la resistencia de los núcleos para el presente trabajo por lo que se explicará a continuación.

Según menciona el ACI 214.4R (2003), el enfoque del factor de tolerancia puede ser excesivamente conservador en la práctica porque las pruebas tienden a sobrestimar la verdadera variabilidad del esfuerzo in situ, por lo tanto, el valor resultante de $f'_{c,eq}$ es demasiado bajo porque el valor de S_c utilizado en la Ecuación (8) es demasiado alto. Por lo tanto, la variabilidad de las resistencias medias del núcleo, que puede exceder la verdadera variabilidad

en la resistencia in situ debido a factores de prueba que son difíciles de cuantificar, afecta solamente a la estimación del límite inferior de la resistencia media.

La estimación de dicho límite inferior de la resistencia media in situ puede determinarse para cierto nivel de confianza deseado $(\bar{f}_c)_{CL}$, utilizando la siguiente ecuación:

$$(\bar{f}_c)_{CL} = \bar{f}_c - \sqrt{\frac{(TS_c)^2}{n} + (ZS_a)^2} \quad (9)$$

En donde el primer término bajo la raíz cuadrada representa el efecto del tamaño de la muestra sobre la incertidumbre de la fuerza media en el lugar. El factor T se obtiene mediante la siguiente tabla que depende del nivel de confianza deseado. El segundo término bajo la raíz cuadrada refleja la incertidumbre atribuible a los factores de corrección de la fuerza.

Tabla 9 Factor T

<i>n</i>	Confidence level		
	75%	90%	95%
3	0.82	1.89	2.92
4	0.76	1.64	2.35
5	0.74	1.53	2.13
6	0.73	1.48	2.02
8	0.71	1.41	1.90
10	0.70	1.38	1.83
12	0.70	1.36	1.80
15	0.69	1.34	1.76
18	0.69	1.33	1.74
21	0.69	1.33	1.72
24	0.69	1.32	1.71
30	0.68	1.32	1.70

Fuente: ACI 214.4R, 2003

La resistencia especificada equivalente estimada se define mediante la siguiente ecuación:

$$f'_{c,eq} = C(\bar{f}_c)_{CL} \quad (10)$$

El valor de C se toma de la siguiente tabla, los cuales dependen del número de lotes, número de miembros y tipo de construcción.

Tabla 10 Factor C

Structure composed of:	One member	Many members
One batch of concrete	0.91	0.89
Many batches of concrete		
Cast-in-place	0.85	0.83
Precast	0.88	0.87

Fuente: ACI 214.4R, 2003

2.6.4 Método de Frasson Jr.

El método de elaborar el espécimen de concreto mediante la mesa de vibrado es poco práctico, si se desea hacer pruebas en laboratorio, ya que requiere de gran cantidad de concreto y la utilización de equipo costoso, es por esto por lo que se plantea este proyecto con la finalidad de calibrar los métodos antes mencionados con el método práctico creado por Frasson Jr.

La metodología creada por el ingeniero Frasson Jr. es relativamente reciente, exactamente del año 2000. Este ingeniero realizó investigaciones sobre las variables que intervienen en la producción de bloques de concreto, se basa principalmente en la resistencia a la compresión y la textura final del bloque, esto pues en este tipo de elementos es importante obtener un buen acabado.

Según Frasson (2000), las propiedades que influyen en la producción de los bloques son la granulometría, la proporción de los agregados, la cantidad de aglomerante, la capacidad de compactación de la maquinaria utilizada, la masa específica de los concretos y la cantidad de humedad en la mezcla.

Frasson (2000) señala que para realizar las pruebas necesarias se necesita realizar estrictamente en la fábrica, produciendo bloques de concreto y posteriormente fallarlos. Esto es prácticamente imposible, si se toma en cuenta el costo que posee una máquina para producir bloques de concreto, y el costo que implicaría tenerla, prácticamente inutilizable, mientras se realizan las experimentas. Es por esto que él propuso una forma simple y eficaz de realizar las pruebas necesarias.

Para reducir el volumen de concreto necesario para realizar las pruebas, y que sean más trabajables, Frasson estableció el uso de cilindros metálicos de 50 mm X 10 mm, de esta manera los especímenes son más fácil de trabajar, y se puede verificar las variables antes mencionadas, como el acabado en los bloques, la cohesión y la resistencia.

2.6.4.1 Equipo para elaborar especímenes

Para realizar los especímenes de concreto, Frasson Jr. (2000) elaboró y utilizó los siguientes equipos, logrando un cilindro de concreto que simule la compactación que se da en las maquinas productoras de concreto, mediante golpes con un mazo de hule. En la siguiente ilustración se muestra el tipo de cilindro para realizar los especímenes.



Ilustración 20 Cilindro para método de Frasson Jr.

Fuente: A mix design methodology for concrete blocks units.

15th International Brick and Block Masonry Conference, 2012

Los equipos utilizados son los siguientes los cuales se muestran en la siguiente ilustración.

- Molde tri-panel de 2 pulg x5.2 pulg (50 mm x13 mm, hecho de tres paneles laterales curvados unidos por una prensa).
- Base metálica de 2.76 pulg (70 mm) de diámetro por 0.79 pulg (20 mm) de altura.

- Barra compactadora convencional utilizada para la compactación del mortero (cuyas dimensiones siguen las recomendaciones de la ABNT-NBR 7215 - estándar de brasileño. 1996).
- Embudo de plástico.
- Protector de nylon.
- Martillo de goma.

Cabe mencionar que el cilindro metálico posee las dimensiones de 50 mm X 130 mm para contemplar la compactación final del concreto, el cilindro finalizado queda de dimensiones 50 mm X 100 mm.



Ilustración 21 Set para método de Frasson Jr.

Fuente: A mix design methodology for concrete blocks units.

15th International Brick and Block Masonry Conference, 2012

2.6.4.2 Procedimiento de elaboración de especímenes

El proceso de elaboración de los cilindros de concreto son los que establece Frasson Jr. en su artículo *A mix design methodology for concrete blocks units*.

Antes de iniciar la elaboración, se debe conocer cuál es la densidad deseada. Esto se logra pesando el material a utilizar. Tal masa se coloca en el molde tri-panel en cuatro partes iguales.

La primera parte de la masa es colocada en el molde y se le adiciona 20 golpes con la barra de mortero de compactación. Se realiza el mismo procedimiento para las siguientes 3 capas.

Frasson (2000) menciona que la energía aplicada mediante los golpes de la barra de compactación debe ser distribuida por igual entre cada capa, de manera tal que la altura de la muestra sea entre 4.06 y 4.13 pulg (10.3cm y 10.5 cm) después de los 80 golpes con la barra de compactación. Para finalizar, se aplican unos golpes adicionales al protector de hule sobre el molde con el martillo de goma. Se quita la prensa que une los paneles del cilindro para el desmolde.

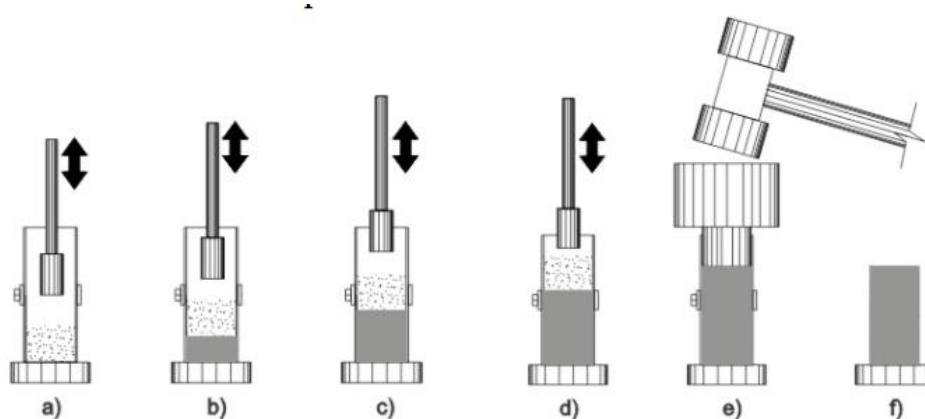


Ilustración 22 Proceso para realizar especímenes

Fuente: *A mix design methodology for concrete blocks units*.

15th International Brick and Block Masonry Conference, 2012

En la ilustración anterior se muestran los procesos para el moldeo, los cuales están enumerados alfabéticamente de la siguiente manera:

- a) Compactación de la primera capa.
- b) Compactación de la segunda capa.
- c) Compactación de la tercera capa.
- d) Compactación de la cuarta capa.
- e) Compactación de los 3 mm restantes con el protector de nylon y el martillo de goma.
- f) Desmolde de espécimen.

Para la parte de calibración de los métodos de obtención de resistencia, no se va a variar el diseño de mezcla, por lo que se debe trabajar con la humedad establecida en dicho diseño, sin embargo, se debe verificar que la humedad sea la óptima esto se realiza al desmoldar el espécimen, la superficie del cilindro debe notarse ligeramente húmedo. “Si el contenido de humedad es más bajo que el óptimo, se necesitará mayor energía de compactación para los especímenes, lo cual se vería reflejado en pérdidas de productividad y desgaste de maquinarias.” Frasson (2000).

2.6.4.3 Determinación de la cohesión

La determinación de la cohesión se realiza mediante la compresión de las muestras a lo largo de su diámetro, esto mediante el siguiente procedimiento:

Se colocan dos especímenes recién realizados, se acuestan a lo largo de su diámetro a una distancia entre ejes de cada cilindro de 30 cm, se coloca una tabla de madera

plano de 50 cm x 20 cm y espesor mínimo de 1,5 cm sobre ambos cilindros y posteriormente se coloca un recipiente sobre la tabla y este es llenado de agua a razón de 1kg/s.

El fin de la prueba es determinar la carga que se requiere para deformar los especímenes de concreto, esto asegura una cohesión correcta en la mezcla. En la ilustración siguiente se muestra la forma del ensayo para determinar la cohesión del concreto.

Según Frasson (2000), se recomienda que la carga mínima soportada por los especímenes sea entre 5 kg a 8 kg. Esto para asegurar que el espécimen pueda ser maniobrado y transportado sin peligro a que se deforme o se fisure.

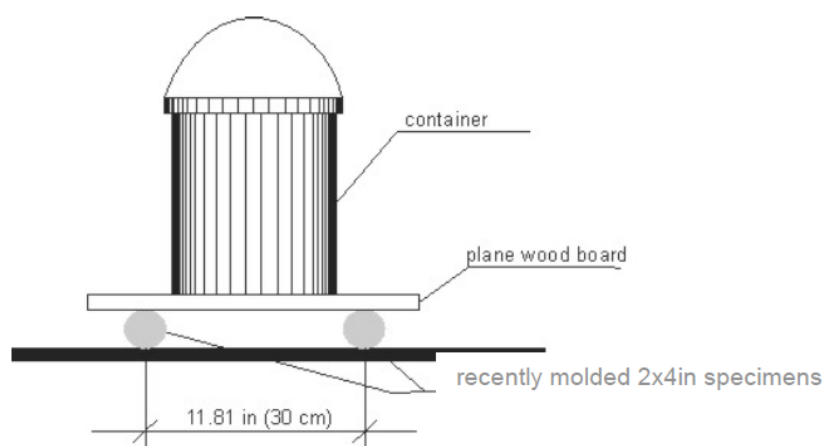


Ilustración 23 Ensayo para determinar cohesión en cilindros frescos

Fuente: A mix design methodology for concrete blocks units.

15th International Brick and Block Masonry Conference, 2012

El método de Frasson, permite por medio de curvas generadas al fallar los cilindros de concreto, predecir la resistencia a la compresión de los bloques de concreto fabricados con el mismo diseño de mezcla, esto se realiza mediante la aplicación de varias fórmulas que él mismo creó, sin embargo al ser un método para bloques de concreto y no para losa alveolar de alto desempeño como lo es el caso de esta investigación, no se mencionan dichas fórmulas pues al realizar los ensayos se deberán modificar dichas fórmulas de manera que el método sea válido para este tipo de elementos.

2.7 Marco situacional

El presente trabajo de investigación se lleva a cabo en la empresa Productos de Concreto S.A en San Rafael de Alajuela. Importante aclarar que se realiza en época lluviosa, esto para limitar los valores de resistencia obtenida según el tipo de cura que se obtuvo. Según la página *accuweather.com* la temperatura en la zona de San Rafael de Alajuela para los meses en que se realizó el proyecto varió entre los 18°C en las noches y los 28°C durante el día, con gran cantidad de precipitaciones en las tardes principalmente en el mes de mayo, que es el mes en donde se realiza la losa de prueba.

En esta empresa se cuenta con el apoyo material, equipos y laboratorios para llevar a cabo la investigación. Desde 1948 han estado al margen de las necesidades constructivas del país, realizando grandes obras. Su visión como empresa los ha llevado a tener un laboratorio encargado para la investigación y el desarrollo de nuevas soluciones, de ahí nace la necesidad de realizar el presente trabajo, para seguir en busca de innovación constante.

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Definición del enfoque y métodos de investigación utilizados

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), existen tres tipos de enfoques: el cualitativo, el cuantitativo y el mixto.

El presente trabajo de graduación se basa en un enfoque cuantitativo, que se basa en pruebas de laboratorio para justificar el comportamiento de las propiedades mecánicas en la mezcla del concreto, en este caso principalmente en la resistencia a la compresión.

Un enfoque cuantitativo se basa en la recolección de datos mediante la medición numérica, tomando en cuenta el análisis estadístico para establecer los patrones de comportamiento, mide los fenómenos que causan el proceso estudiado y se realiza un análisis de causa-efecto, en este caso se analiza que causa la resistencia a la compresión del concreto y su efecto en el diseño de mezcla.

Se debe evaluar la importancia de la investigación, por lo cual se toma en consideración la conveniencia del proyecto, el cual responde al elevado costo de la fabricación de la losa alveolar que termina siendo elevado si un comprador adquiere gran cantidad de estos elementos, al optimizar el diseño de mezcla el precio para el comprador se verá beneficiado. Por otra parte, también se toma en consideración la implicación práctica pues se trabajará con una metodología nueva en estos elementos, al lograr calibrarla será de gran implicación para los análisis en laboratorio ya que se logran realizar pruebas a pequeña escala.

El tipo de alcance para el proceso de investigación cuantitativa según Hernández et al. (2010) mencionan que existen distintos tipos de alcances, los cuales se deben verificar según el tipo de investigación realizada. En este caso se selecciona un alcance de investigación exploratoria. Por otra parte, ellos mencionan que este tipo de enfoque se basa en estudios realizados cuando el objetivo de la investigación es analizar o examinar un tema o un problema de investigación poco estudiado, de la cual se tienen ciertas dudas respecto al tema. Para esta investigación, se utiliza una metodología diseñada para bloques de mampostería de concreto, pero se utiliza para losa alveolar, lo cual genera dudas en la forma en cómo se comportará la

metodología, primeramente, se requiere investigar las repercusiones que genera utilizar dicho método en este tipo de elementos, y posteriormente se prosigue a calibrarlo respecto a los métodos utilizados actualmente.

3.2 Categorías de análisis de la investigación

Para la presente investigación, se seleccionan las siguientes categorías de análisis, tomando en cuenta lo establecido en el marco teórico. Al especificar que esta investigación se basa primeramente en la calibración de los métodos de obtención de resistencia, esto especifica que la resistencia del concreto a la compresión es una de las categorías de análisis de la investigación. Por otra parte, la calibración de dichos métodos se selecciona como una categoría del análisis ya que se debe investigar la relación que existe o la forma de relacionarlos mediante ecuaciones formuladas por el investigador. Entre las variables que se van a estudiar están la densidad de los cilindros, la duración de vibración en equipo, tipo de cura.

3.3 Fuentes de información

Las distintas fuentes de información se clasifican en primarias, secundarias y terciarias, esto según Hernández et al. (2010). Las fuentes primarias son las que proporcionan datos de primera mano, ya que estos salen de los resultados de las investigaciones correspondientes. Las fuentes secundarias serían las recopilaciones de las fuentes primarias, es decir se investigan los resultados obtenidos en las investigaciones correspondientes al tema y se analizan sus resultados, las conclusiones de esta investigación serían las referencias secundarias.

Para el siguiente trabajo, al tratar con una metodología reciente, se tienen pocas fuentes, ya que actualmente no se ha desarrollado en gran medida este tema. Para las fuentes primarias se utilizan la tesis presentada por el ingeniero Frasson Jr., y el resumen presentado por el mismo llamado "*A mix design methodology for concrete blocks units.*" El cual fue un artículo presentado en la 11 15th International Brick and Block Masonry Conference la cual se llevó a cabo en el año 2012.

Por otra parte, otra fuente de información utilizada son las normas tanto nacionales (INTE), como las internacionales (ASTM, ACI) las cuales sirven de guía para llevar a cabo los ensayos normados de manera tal, que el trabajo realizado sea válido según las especificaciones y normas que se encuentran en dichas normas.

Por último, se utiliza de fuentes secundarias la tesis presentada por el Ingeniero Antonio Incera Pérez, presentada en el 2017 la cual se basó en la adaptación del método de Frasson Jr. para mezclas secas en Costa Rica.

3.4 Población y muestra

Para la presente investigación, se toma como población el diseño de mezcla de la losa alveolar producida en Productos de Concreto, este diseño se utiliza para las losas de 20 cm y 25cm de peralte, lo cual no genera variantes entre ellas.

En el caso de la extracción de núcleos, la norma ACI 214.4R-4 establece que, para estructuras nuevas, se debe extraer una cantidad mínima de 3 núcleos, sin embargo, para mantener una mejor precisión se decidió extraer 4 núcleos por edad de falla. Por otra parte, para la realización de cilindros de concreto, el ACI 318 establece en el capítulo 26, los requisitos de construcción a cumplir para el concreto estructural, que para cilindros de dimensiones de 100 x 200mm se debe realizar mínimo 3 cilindros por cada edad de falla, sin embargo, menciona que se recomienda realizar más por si se deban realizar descartes de cilindros si alguno se pasa del rango establecido según el ACR 214R. Para esta investigación, se decidió realizar 5 cilindros por edad de falla.

Por último, para los cilindros de 50 mm x 100 mm utilizados en el método de Frasson Jr., se tomó como referencia lo especificado en la tesis del autor del método, que establece realizar mínimo 3 cilindros por edad, pero igualmente se determinó realizar 4 cilindros por edad de falla.

3.5 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos

De la misma manera que para determinar la muestra, las técnicas e instrumentos tanto para realizar los ensayos como para el procesamiento y análisis de datos se utilizaron las normativas del ACI 214, del ACI 318, del ASTM según su respectivo ensayo y las normas nacionales INTE.

Por otra parte, para la realización de procesamiento de datos, principalmente la parte de calibración de los métodos, se utilizará la herramienta de Microsoft Excel con la cual se encontrará la ecuación que relacione los métodos estudiados y el uso de fotografías con las cuales se logra comparar visualmente los resultados.

3.6 Procedimiento metodológico

A continuación, se mostrará el procedimiento metodológico establecido para llevar a cabo los objetivos mencionados en el Capítulo 1 del presente trabajo de investigación.

Para disminuir variables en las pruebas se estableció realizar los cilindros estándar, los cilindros mediante el método de Frasson Jr. y la losa de prueba el mismo día.

Se estableció iniciar con los especímenes mediante el método de Frasson Jr. mientras en la planta se encontraban realizando las pistas de losa requeridas por la producción, a la vez se realizaban los cilindros mediante la norma interna de Productos de Concreto, estos cilindros fueron realizados por personal de la planta de producción.

Para poder extraer los núcleos con una broca de 5cm de diámetro se tuvo que realizar una modificación a la máquina extrusora, ya que las partes en donde existe concreto macro son poco gruesas por lo que imposibilita la extracción de los núcleos. Para esta investigación se extrajeron tres de los tornillos sin fin que son los encargados de realizar la extrusión en la losa, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 24 Máquina sin tornillos sin fin

Fuente: Propia, 2017

Una vez realizada la modificación se procedió a la preparación de la pista para la losa de prueba. Se debe mencionar que esta losa no contó con torones de preesfuerzo.

3.6.1 Curado de especímenes

Se estableció utilizar para todos los métodos utilizar el mismo tipo de cura con la finalidad que no sea parte de las variables. Este tipo de cura es el mismo utilizado para la losa alveolar, tal y como se menciona en la sección 2.4 del presente trabajo de investigación.

Cabe mencionar que todos los cilindros tendrán pruebas de falla a las 24 horas, 7 días y a los 28 días, además se estableció que la edad para realizar la medición de las densidades es a los 7 días.

3.6.2 Preparación de especímenes para falla a compresión

Al ser un concreto de alto desempeño con resistencias elevadas a edades tempranas, se estableció que para estos especímenes no es conveniente el proceso de coronación para cumplir con la planicidad, esto ya que al fallarlo la coronación se desprende por la elevada resistencia, para este caso los cilindros realizados por este método y los núcleos extraídos son preparados mediante la máquina pulidora, la cual se encarga de recortar los extremos de los cilindros hasta dejarlos perpendicular a la altura del cilindro, cumpliendo con la planicidad establecida en la normativa ASTM C39. La máquina pulidora es la mostrada en la siguiente imagen:



Ilustración 25 Máquina pulidora para cilindros de concreto

Fuente: Elaboración propia, 2017

Esta máquina solo cuenta con espacios para cilindros de tamaños estandarizados, es decir 100mm de diámetro y 200 mm de alto, y los cilindros de 150 mm de diámetro y 300 mm de alto, es por esto que se requiere la utilización de un aparato adaptador para los especímenes

más pequeños como los elaborados por la metodología de Frasson Jr. y los núcleos extraídos. En la siguiente ilustración se muestra el aparato adaptador.



Ilustración 26 Adaptador para pulir especímenes de 5cm de diámetro

Fuente: Propia, 2017

Tal y como se especifica en las limitaciones de este proyecto, debido a la forma en cómo se realizan los especímenes de Frasson y la forma en cómo se extraigan los núcleos, si estos no se encuentran completamente perpendiculares al momento de pulir no cumplen completamente con la normativa de planicidad, de igual manera se realizaron las comprobaciones de planicidad tal y como se establece en la norma ASTM C39, esto se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 27 Revisión de la planicidad de los especímenes

Fuente: Propia, 2017

El último ensayo planteado es la realización de cilindros de 100 mm de diámetro x 200 mm de alto mediante la metodología interna de Productos de Concreto, esto variando el tiempo de vibrado. Cabe mencionar que este ensayo fue realizado por el autor de este trabajo de investigación.



Ilustración 28 Elaboración de especímenes variando el tiempo de vibrado

Fuente: Propia, 2017

3.6.3 Procedimiento para cilindros estándar

Con esta metodología se plantearon distintos ensayos los cuales son los señalados a continuación:

- Comparar la resistencia a la compresión según del tipo de cura, en patio o en pila de laboratorio. Cabe mencionar que esta comparación se limita a la época del año en la cual se realizó el estudio.
- Obtener la resistencia a la compresión y la densidad seca de los cilindros realizados en mesa vibratoria por operarios de la planta.

- Realizar cilindros modificando el tiempo de vibración de la máquina con el fin de ver la resistencia dependiendo de la densidad obtenida.

Para llevar a cabo estos ensayos se planteó la siguiente metodología:

- Se establece la cantidad necesaria de especímenes para realizar todos los ensayos, los cuales se especifican en la sección 3.7 del presente trabajo de investigación.
- Se preparan los moldes el día anterior.
- Los especímenes son realizados por personal de la planta de producción.
- Se colocan los especímenes al lado de la losa para que se dé el proceso de curado.
- Al siguiente día se trasladan los especímenes al patio y los destinados para la comparación de resistencia dependiendo del método de cura se trasladan a las pilas de cura en el laboratorio de investigación y desarrollo.
- Se mantiene el mismo método de cura que la losa alveolar.
- Se realizan los ensayos establecidos en las edades determinadas.

Para las pruebas de variación del tiempo de vibrado se establecieron los siguientes tiempos: 2 segundos, 5 segundos, 10 segundos, 20 segundos, 40 segundos y 60 segundos. La metodología es la misma que la anterior mostrada, con la diferencia que los cilindros fueron curados en las pilas de laboratorio. También para esta prueba se realizaron cilindros solo para falla a 24 horas y a 28 días y para el cálculo de la densidad seca.

3.6.4 Procedimiento para extracción de núcleos

Se realiza la losa de pruebas y se mantiene en cura durante las primeras 24 horas, posterior se corta y se traslada al laboratorio para poder realizar la extracción de los núcleos. Como se mencionó en la sección 2.6.2, este proceso es realizado por técnicos capacitados. Al

darse la extracción se mantiene la humedad de los núcleos tal y como se establece en la norma ASTM C42 para evitar micro grietas las cuales puedan variar los resultados finales.

Para cumplir con lo establecido en la sección 2.6.2 sobre la relación l/d, se deben cortar los núcleos con la altura establecida la cual es 200mm. Una vez cortados los especímenes son fallados lo antes posible para cumplir con la norma ASTM C39 la cual indica que para falla a 24 horas la tolerancia permisible es de 0.5 horas.

Posterior a la falla a 24 horas, se mantiene la losa en constante cura hasta que se realice el mismo procedimiento para la falla a 7 días en donde también se realiza el proceso de cálculo de densidad seca y por último se realiza la falla a 28 días.

3.6.5 Procedimiento para método práctico de Frasson Jr.

Para la realización de los cilindros de concreto según el método de Frasson Jr., inicialmente, se toma concreto utilizado para la producción de losa alveolar, posterior al muestreo se procede a realizar los cilindros según la metodología explicada en el marco teórico.

Para esta metodología se cuenta con el siguiente equipo para realizar los cilindros por el método de Frasson Jr. Los cuales se realizaron en un taller profesional para emular los equipos especificados en la sección 2.5.3.2 del presente trabajo de investigación.



Ilustración 29 Equipo actual para método práctico de Frasson Jr.

Fuente: Propia, 2017

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Seguidamente se mostrarán los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el trabajo de investigación y en la siguiente sección se mostrará su respectivo análisis.

4.1 Resultados obtenidos

4.1.1 Resultados de resistencia a la compresión mediante metodología interna de PC y comparación de resultados según tipo de cura

A esta prueba se le denomina prueba “D”, los cilindros para la comparación de la resistencia según el método de cura fueron elaborados por personeros de la planta de prefabricado pesado siguiendo la metodología que ellos realizan. Estos cilindros fueron curados las primeras 24 horas de la misma manera que se cura la losa alveolar, es por esto que los valores de resistencia a 24 horas es la misma.

4.1.1.1 Densidad seca para cilindros según metodología interna de PC

Para el cálculo de la densidad seca se utilizó la ecuación (1) la cual se refiere al cálculo de densidad según Arquímedes por el método de inmersión.

Tabla 11 Densidad seca de especímenes para pruebas "D"

<i>Densidad seca de especímenes de concreto endurecido</i>				
Cilindro	W sumergido (g)	W superficie saturada seca (g)	W seco (g)	Densidad seca Kg/m³
D12	2368.00	3986.50	3841.70	2374
D17	2365.00	4000.50	3905.30	2388
D18	2438.50	4128.00	4019.70	2379
<i>Promedio</i>				<i>2380</i>
<i>Máximo</i>				<i>2388</i>
<i>Mínimo</i>				<i>2374</i>
<i>Desv Est</i>				<i>7</i>
<i>Coef Var</i>				<i>0.3%</i>
<i>Delta</i>				<i>14</i>

Fuente: Propia, 2017

Tabla 12 Resultado ensayo a la compresión a 24 horas prueba D

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
D1	303.8	36.8
D2	320.5	38.8
D3	377.1	45.7
D4	338.0	41.0
D5	323.0	39.2
Promedio	332.5	40.3

Fuente: Propia, 2017

4.1.1.2 Método de cura en laboratorio

El método de cura en laboratorio se realizó según lo establece la normativa nacional INTE C19, la cual es equivalente a la normativa ASTM C31, en donde se menciona que las cámaras de cura deben contener agua e hidróxido de calcio y los cilindros no deben estar expuestos a la luz solar. En la siguiente imagen se logra apreciar las pilas de curado que se utilizaron para este proyecto.



Ilustración 30 Pilas de cura

Fuente: Propia, 2017

Los resultados obtenidos según la edad de falla para este método de cura se muestran a continuación.

Tabla 13 Resultado ensayo a la compresión a 7 días para cura en laboratorio

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
D6	543.2	65.8
D7	538.1	65.2
D8	532.9	64.6
D9	511.8	62.0
D10	536.2	65.0
Promedio	532.4	64.5

Fuente: Propia, 2017

Tabla 14 Resultado ensayo a 28 días, cura en laboratorio

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
D11	591.0	71.6
D13	622.7	75.5
D14	587.2	81.2
D15	654.4	79.3
D16	591.1	71.6
Promedio	609.3	75.8

Fuente: Propia, 2017

A continuación, se muestra el gráfico de la resistencia en función de la edad de falla para el método de cura en laboratorio.

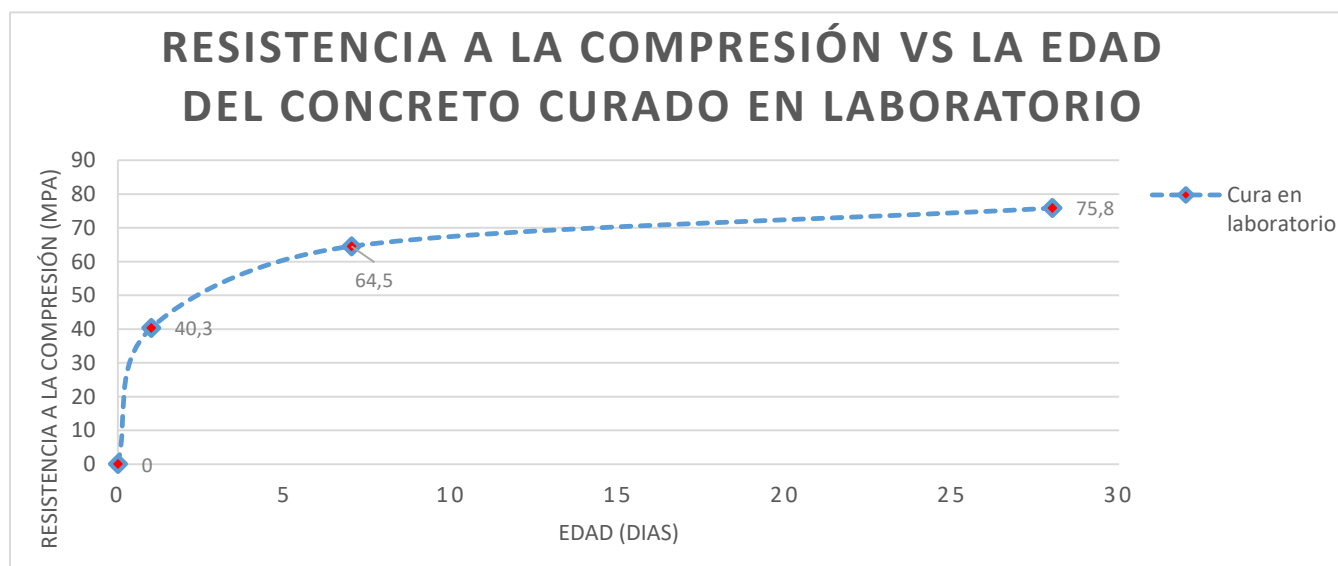


Ilustración 31 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con cura en laboratorio

Fuente: Propia, 2017

4.1.1.3 Método de cura en patio

La cura en patio se realizó de la misma manera que se realiza a la losa en la planta, en donde los primeros 7 días recibió agua por aspersión constante, posterior a ello se pasaron a la parte de la planta en donde se encuentran las losas para despacho, en donde reciben agua ocasional, según se logró apreciar solamente recibían por un periodo de aproximadamente 3 horas durante las tardes. El lugar en donde se colocaron los cilindros se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 32 Cilindros con cura en patio

Fuente: Propia. 2017

4.1.1.4 Resultados de los ensayos a compresión

Los resultados obtenidos para este método de cura son los mostrados en las siguientes tablas, siguiendo el orden de edades de 7 días y 28 días.

Tabla 15 Resultado ensayo a 7 días para cura en patio

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
D17	538.6	65.3
D19	531.4	64.4
D20	533.5	64.5
D21	475.5	57.6
D22	519.9	63.0
Promedio	519.8	63.0

Fuente: Propia, 2017

Tabla 16 Resultado ensayos a 28 días para cura en patio

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
D18	581.1	70.4
D23	605.4	73.4
D24	611.5	74.1
D25	661.8	80.2
D26	640.8	77.7
Promedio	620.1	75.2

Fuente: Propia, 2017

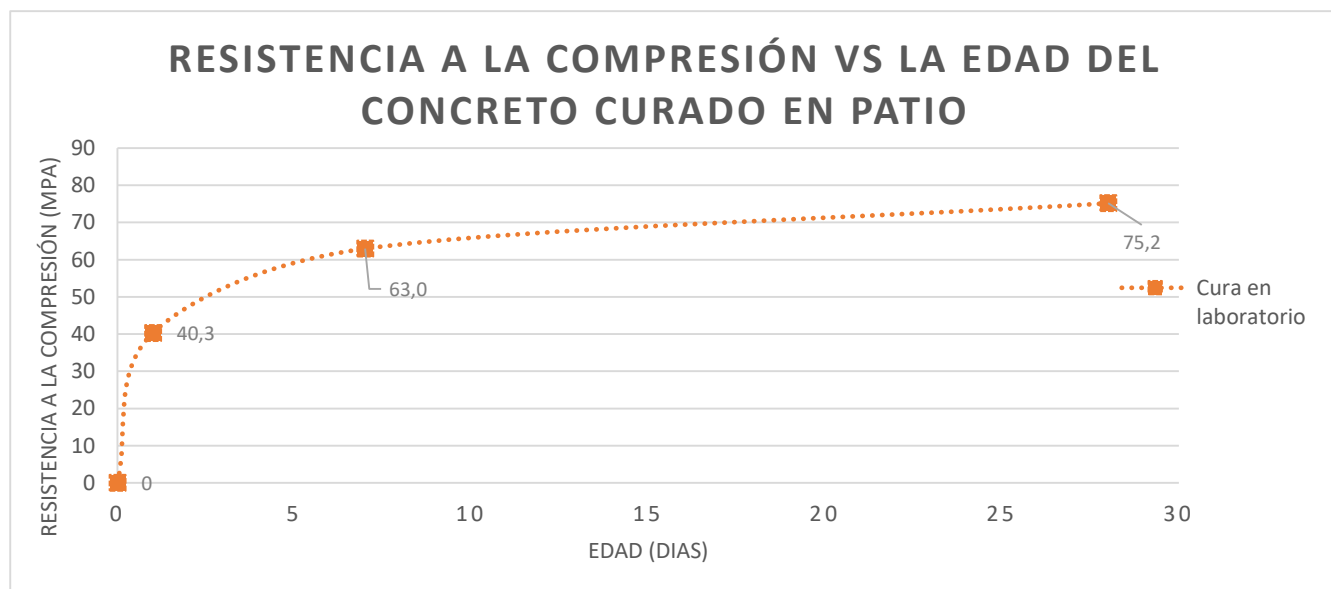


Ilustración 33 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con cura en patio

Fuente: Propia, 2017

4.1.2 Resultados obtenidos de la extracción de núcleos de concreto

Para obtener la resistencia de la losa alveolar mediante la extracción de núcleos de concreto, se siguió la metodología planteada por el ACI 214.4R 2003.

Primeramente, se debe mencionar que para la falla a 24 horas no se siguió el procedimiento como se menciona en el ASTM C42, ya que se tuvo que extraer el mismo día de la falla, aunque en la norma no establecen una edad a la cual se pueda realizar la extracción, sino que recomiendan que sea a una edad en la que se asegure que la resistencia sea la suficiente para que no se den deformaciones por el proceso de extracción.

4.1.2.1 *Densidad Seca de la losa de prueba*

Tal y como se mencionó anteriormente, las zonas por donde se quitaron los tornillos sin fin no quedan completamente compactados, debido a que siempre queda una pequeña zona sin poder compactar tal y como se observa en la siguiente imagen:



Ilustración 34 Corte transversal de la losa de prueba

Fuente: Propia, 2017

Se puede observar en la imagen que las tres extrusiones de izquierda a derecha están completas, sin embargo, las tres de la derecha no se llegó a completar por completo el material, debido a esto se seleccionó extraer los núcleos de las siguientes zonas mostradas en negro en la siguiente figura. Estas zonas eran las únicas con las dimensiones requeridas de espesor para poder realizar las extracciones.

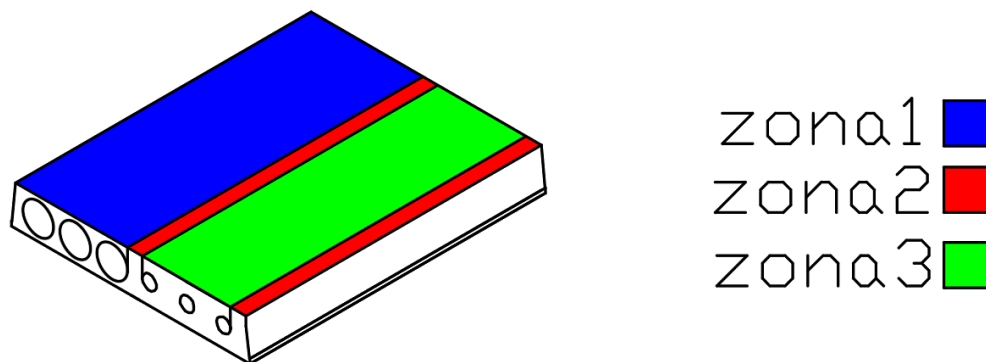


Ilustración 35 Zonas utilizadas para análisis de densidad seca

Fuente: Propia, 2017

Al no conocer si en esas zonas en donde la compactación no fue completa la densidad varía o no, se realizó el siguiente cuadro comparativo de densidad seca promedio de tres zonas; la enumerada como Zona 1 es la parte en donde no se realizó extracción de tornillo sin fin. Para el cálculo de la densidad seca en esta zona se realizó mediante trozos de la losa de prueba ya que por el poco espesor era imposible realizar extracción de núcleos. Zona 2 (franjas negras) son las partes intermedias en donde un tornillo sí se encontraba funcionando y el otro no, se debe mencionar que de estas zonas se realizaron las extracciones de núcleos para obtener la resistencia a la compresión. Por último, está la Zona 3 la cual es la intermedia por donde no se encontraba ningún tornillo sin fin realizando la compactación.

A continuación, se muestran los trozos de losa utilizados para el cálculo de la densidad seca en la Zona 1.



Ilustración 36 Piezas 1 y 2 de losa para cálculo de densidad seca

Fuente: Propia, 2017

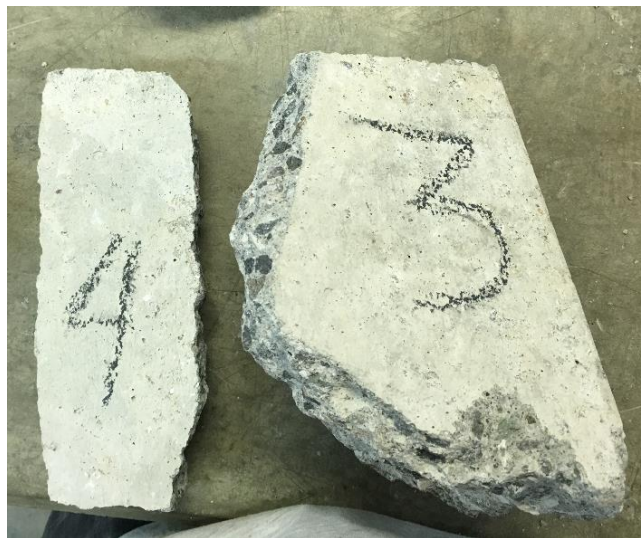


Ilustración 37 Piezas 3 y 4 de losa para cálculo de densidad seca

Fuente: propia, 2017



Ilustración 38 Pieza 5 de losa para cálculo de densidad seca

Fuente: Propia, 2017

Donde:

Pieza 1 y pieza 2 son de la esquina inferior.

Pieza 3 y 4 son de la zona inferior de la losa.

Pieza 5 es de la parte posterior de la losa.

Los resultados obtenidos para esta zona de la losa se muestran a continuación.

Tabla 17 Densidad seca obtenida para zona 1

<i>Densidad de especímenes de concreto endurecido</i>				
Pieza	W sumergido	W superficie saturada seca	W seco	Densidad seca Kg/m³
Pieza 1	1569	2641.8	2495.5	2326
Pieza 2	950.5	1600.2	1501.4	2311
Pieza 3	2335.50	3920.70	3682.80	2323
Pieza 4	667.50	1125.40	1058.70	2312
Pieza 5	2180.00	3659.50	3447.90	2330
<i>Promedio</i>				2321
<i>Máximo</i>				2330
<i>mínimo</i>				2311
<i>Des Esta</i>				9
<i>Coef Var</i>				0.4%
<i>Delta</i>				20

Fuente: Propia, 2017

Por otra parte, los resultados obtenidos para la Zona 2 se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 18 Densidad seca para zona 2

<i>Densidad seca de especímenes de concreto endurecido</i>				
Cilindro	W sumergido	W superficie saturada seca	W seco	Densidad seca Kg/m³
c13	261.50	445.10	426.00	2320
c14	265.50	452.10	433.60	2324
c15	266.00	452.20	434.00	2331
c16	270.00	458.00	438.90	2335
<i>Promedio</i>				<i>2327</i>
<i>Máximo</i>				<i>2335</i>
<i>Mínimo</i>				<i>2320</i>
<i>Des Esta</i>				<i>7</i>
<i>Coef Var</i>				<i>0.3%</i>
<i>Delta</i>				<i>14</i>

Fuente: Propia, 2017

En donde los núcleos C13 y C14 fueron extraídos de la franja negra central tal y como se muestra en la ilustración 35, mientras que los núcleos C15 y C16 fueron tomados de la franja negra que se encuentra en el borde de la losa. Se logra apreciar que en la zona central la densidad seca se reduce levemente, esto debido a la no uniformidad de la compactación por la falta del tornillo sin fin, mientras que en la otra franja la densidad es levemente mayor ya que las paredes de la máquina extrusora generan mejor compactación del material.

Por último, se muestra el valor obtenido para la densidad seca en la Zona 3, se debe mencionar que para esta parte solo se realizó una extracción pues se hizo solo para referencia, sin embargo, es importante mencionarlo en el trabajo de investigación.

Tabla 19 Densidad seca cilindro para zona 3

<i>Densidad seca de especímenes de concreto endurecido para zona 3</i>				
Núcleo	W sumergido	W superficie saturada seca	W seco	Densidad seca Kg/m³
C17	543.00	920.00	864.30	2293

Fuente: Propia, 2017

Comparando los resultados obtenidos se muestra como la zona central de la losa es la que posee mayor densidad, esto puede ser debido, entre otros factores, que en esta zona el peso de la máquina, más la plancha encargada de darle el acabado y compactación superior ejerzan mayor presión en la zona central de la losa.

Seguidamente se mostrarán los resultados obtenidos de resistencia a la compresión para los núcleos extraídos de la losa de prueba. Tal y como se mencionó anteriormente, estos fueron extraídos de la zona 2 tal y como se muestra en la figura 35.

4.1.2.2 Resultados para ensayo a compresión a 24 horas para núcleos extraídos según ACI 214.4R

Los resultados obtenidos para el ensayo a compresión de los núcleos se muestran en las siguientes tablas, para este método se hicieron las mediciones de altura y diámetro para verificar si es necesario la utilización de los factores de corrección establecidos en la tabla 5 la cual se encuentra en la sección 2.6.3 del presente trabajo de investigación. La altura establecida

para cumplir con la relación l/d es de 100 mm ya que la broca utilizada tal y como se menciona en la sección 3.6.2.

A continuación, se muestran los resultados según la metodología ACI 214.4R para los núcleos extraídos y fallados a 24 horas.

Tabla 20 Resultados de ensayo a compresión en núcleos a 24 horas

Núcleo	Altura (mm)	diámetro (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
C5	96.35	50.05	98.7	50.3
C6	94.6	50.12	90.9	46.3
C7	93.32	50.07	96.6	49.2
C8	92.39	50.16	96.3	49.1
Promedio	94.17	50.10	95.6	48.7

Fuente: Propia, 2017

Seguidamente, se revelan los resultados a los factores establecidos en el ACI 214.4R tal y como se describen en la sección 2.6.3.

En seguida, se exponen los resultados obtenidos para los factores mostrados en la tabla 6 del presente trabajo de investigación, se debe mencionar que se utilizó el método de cura As-received tal y como se menciona en la norma ASTM C42.

Tabla 21 Resultados obtenidos para los factores de la tabla 5, falla a 24 horas

Esfuerzo (MPa)	Ratio L/d	α	$F_{l/d}$	coef de var l/d	F_{dia}	coef de var f_{dia}	F_{mc}	coef de var f_{mc}	F_d	coef de var F_d	Equivalent f_c
37.0	1.844	1.16216E-05	0.870	0.061	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	36.17
35.8	1.969	1.20112E-05	0.870	0.002	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	35.00
36.2	2	1.18785E-05	0.870	0.000	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	35.39
34.1	2	1.261E-05	0.870	0.000	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	33.33

Fuente: Propia, 2017

Como se puede ver en la Tabla 6 para el factor por diámetro se seleccionó 1.06 ya que los núcleos extraídos poseían un diámetro de 50 mm. Para el factor por contenido de humedad se seleccionó “as-received” ya que este fue el método seleccionado para el contenido de humedad, y para el factor de daño por el proceso de extracción se utilizó el factor dado por el ACI. El último valor mostrado en la tabla anterior es el que se determina utilizando la ecuación (2) tal y como se muestra en el presente trabajo de investigación.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las ecuaciones (3), (4), (5) y (6)

Tabla 22 Resultados para ecuaciones 3, 4, 5 y 6 para prueba a compresión en núcleos a 24 horas

ecuación (3)	ecuación (4)	ecuación (5)	ecuación (6)
Muestra significativa \bar{F}_c	Desviación estandar de la muestra S_c	Desviación estandar del esfuerzo en sitio S_a	Desviación estandar global S_o
34.97	1.20	1.44	1.87

Fuente: Propia, 2017

Utilizando las tablas 7 y 8 del presente trabajo de investigación, con un valor de **n= 4** ya que es la cantidad de muestras estudiadas y tomando un nivel de confianza de **75%** según lo establecido en el ACI 214.4R para estructuras, se obtienen los siguientes resultados para el factor K y el factor Z

Tabla 23 Resultados para Factor K y Z para prueba a compresión en núcleos a 24 horas

Factor k		Factor Z
n	Nivel de confianza 75%	Nivel de confianza 75%
4	2.13	0.67

Fuente: Propia, 2017

Tal y como se muestra en la sección 2.6.3.2 para el cálculo de la resistencia equivalente se utiliza el método alternativo ya que el enfoque de factor de tolerancia tiende a sobrestimar la verdadera variabilidad del esfuerzo in situ. Para este caso, se muestran los resultados obtenidos utilizando la tabla 8 utilizando igualmente un valor de $n = 4$ y nivel de confianza de 75%.

Tabla 24 Resultado para factor T unilateral en ensayo a compresión en núcleos a 24 horas

Factor T unilateral	
n	Nivel de confianza 75%
4	0.76

Fuente: Propia, 2017

Seguidamente se utiliza la ecuación (9) usando los valores resultantes mostrados en las tablas anteriores para el cálculo del Límite inferior estimado del esfuerzo principal en sitio $(f_c)_{CL}$. Como se mencionó en la sección 2.6.3.2 la variabilidad de las resistencias medias del núcleo, que puede exceder la verdadera variabilidad en la resistencia in situ debido a factores de

prueba que son difíciles de cuantificar, lo cual afecta solamente a la estimación del límite inferior de la resistencia media.

$$(\bar{f}_c)_{CL} = 34.97 - \sqrt{\frac{(0.76 * 1.20)^2}{4} + (0.67 * 1.44)^2} = 33.91$$

El último paso antes de poder calcular la resistencia equivalente es encontrar el factor C el cual se toma de la Tabla 10. Para la utilización de esta tabla se realiza conociendo la composición de la estructura, para este caso por las características de la prueba se seleccionó que la estructura está compuesta por un solo miembro al ser solo una losa de prueba y a su vez es un elemento prefabricado, dando como resultado el factor **C = 0.88**

Por último, el cálculo de la resistencia equivalente se realiza mediante la ecuación (10) tal y como se muestra a continuación.

$$f'_{c,eq} \text{ a 24 horas} = 0.88 * (33.91) = 29.8 \text{ MPa}$$

En pos, se exponen los resultados obtenidos para las dos siguientes edades de prueba.

4.1.2.3 Resultados para ensayo a compresión a 7 días para núcleos extraídos según ACI 214.4R

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la falla a compresión a 7 días para los núcleos extraídos, y el valor de f 'c equivalente utilizando la metodología ACI 214.4R.

Tabla 25 Resultados de prueba a compresión y coeficientes obtenidos para núcleos a 7 días

Esfuerzo (MPa)	Ratio L/d α		F l/d coef de var l/d		F día coef de var f día		F mc coef de var f mc		F d coef de var F d		Equivalent fci
50.3	1.925074925	8.54871E-06	0.870	0.014	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	49.17
46.3	1.887470072	9.28726E-06	0.870	0.032	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	45.26
49.2	1.863790693	8.73984E-06	0.870	0.046	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	48.10
49.1	1.841905901	8.75764E-06	0.870	0.062	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	48.00

Fuente: Propia, 2017

Tabla 26 Resultados de las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 para núcleos a 7 días

ecuación (3)	ecuación (4)	ecuación (5)	ecuación (6)
Muestra significativa $\overline{F_c}$	Desviación estándar de la muestra S_c	Desviación estándar del esfuerzo en sitio S_a	Desviación estándar global S_o
47.63	1.67	1.95	2.57

Fuente: Propia, 2017

Tabla 27 Resultados de las Tablas 7 y 8 para núcleos a 7 días

Factor k		Factor Z
n	Nivel de confianza 75%	Nivel de confianza 75%
4	2.13	0.67

Fuente: Propia, 2017

Tabla 28 Resultados de las tablas 9 y 10, y las ecuaciones 9 y 10 para núcleos a 7 días

Tabla 9		Ecuación (9)	Tabla 10	Ecuación (10)
Factor T unilateral		Límite inferior estimado del esfuerzo principal en sitio (f_c)CL	Factor C	f'_c equivalente de diseño a 7 días
n	Nivel de confianza 75%	46.18	0.88	40.6 MPa
4	0.76			

Fuente: Propia, 2017

4.1.2.1 Resultados para ensayo a compresión a 28 días para núcleos extraídos según ACI 214.4R

Seguidamente se manifestarán los resultados tanto del ensayo a compresión de los núcleos extraídos a 28 días como de los resultados dados por los factores establecidos en el ACI 214.4R para determinar la resistencia equivalente.

Tabla 29 Resultados de prueba a compresión y coeficientes obtenidos para núcleos a 28 días

Esfuerzo (MPa)	Ratio L/d	α	F l/d	coef de var l/d	F dia	coef de var f dia	F mc	coef de var f mc	F d	coef de var F d	Equivalent fci
56.1	1.901518178	7.66488E-06	0.870	0.024	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	54.8
55.2	1.92591853	7.78844E-06	0.870	0.014	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	54.0
57.7	1.975575576	7.45234E-06	0.870	0.001	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	56.4
59.7	1.877702162	7.20268E-06	0.870	0.037	1.06	11.8	1	2.5	1.06	2.5	58.4

Fuente: Propia, 2017

Tabla 30 Resultados de las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 para núcleos a 28 días

ecuación (3)	ecuación (4)	ecuación (5)	ecuación (6)
Muestra significativa $\overline{F_c}$	Desviación estándar de la muestra S_c	Desviación estándar del esfuerzo en sitio S_a	Desviación estándar global S_o
55.89	1.93	2.29	3.00

Fuente: Propia, 2017

Tabla 31 Resultados de las Tablas 7 y 8 para núcleos a 28 días

Tabla 7		Tabla 8
Factor k		Factor Z
n	Nivel de confianza 75%	Nivel de confianza 75%
4	2.13	0.67

Fuente: Propia, 2017

Tabla 32 Resultados de las tablas 9 y 10, y las ecuaciones 9 y 10 para núcleos a 28 días

Tabla 9		Ecuación (9)	Tabla 10	Ecuación (10)
Factor T unilateral		Límite inferior estimado del esfuerzo principal en sitio (fc)CL	Factor C	f'c equivalente de diseño a 28 días
n	Nivel de confianza 75%	54.19	0.88	47.7 MPa
4	0.76			

Fuente: Propia, 2017

A continuación, se muestra el gráfico de resistencia en función de la edad de falla para los núcleos extraídos aplicando el método del ACI 214.4R para determinar el f 'c equivalente de diseño.

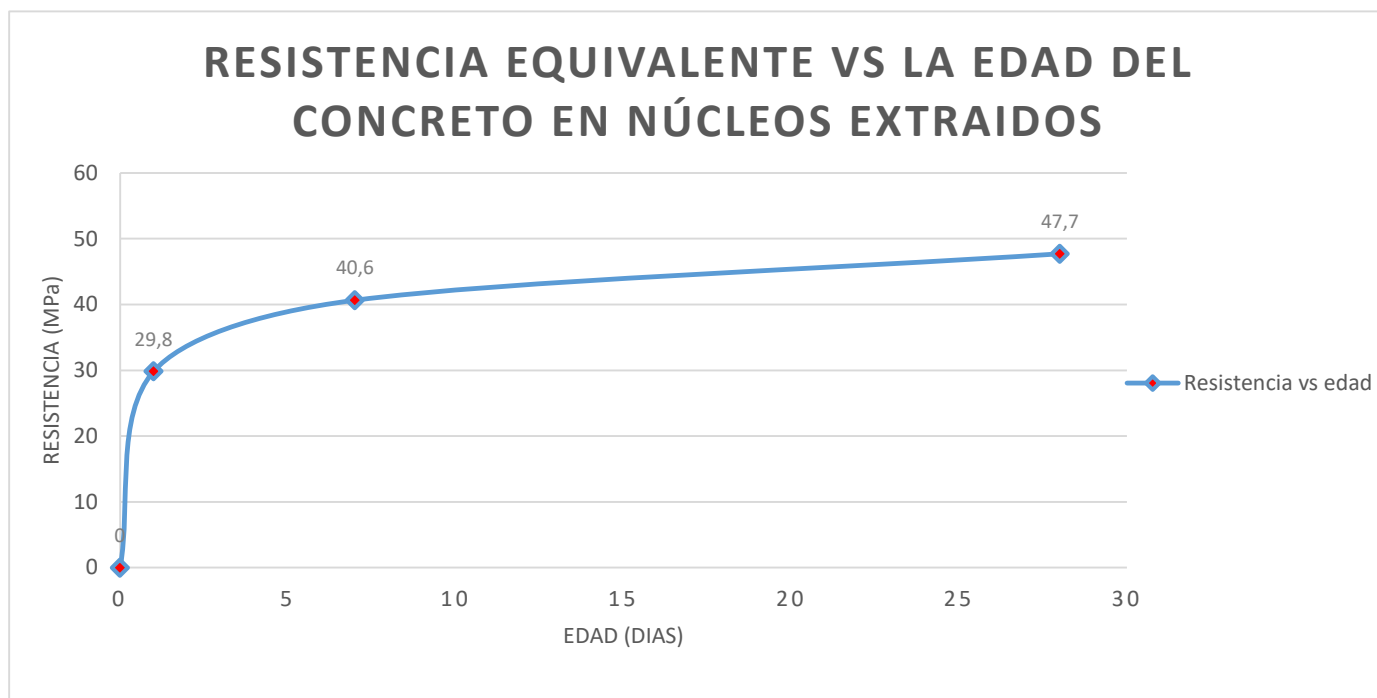


Ilustración 39 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto en núcleos extraídos

Fuente: Propia, 2017

4.1.3 Resultados para método de Frasson Jr.

Seguidamente, se revelan los resultados para los ensayos realizados mediante la metodología de Frasson Jr., el proceso de elaboración se realizó de la forma como se explica en la sección 2.6.4 del presente estudio.

4.1.3.1 Cálculo de cohesión según método de Frasson Jr.

Para el cálculo de la cohesión mediante la metodología planteada por Frasson Jr., la cual se explica detalladamente en la sección 2.6.4.3, se establecieron dos ensayos de pruebas, ya que en sí para este tipo de elemento por su alta resistencia inicial y dado el proceso de elaboración de la losa alveolar, no es un valor indispensable, esto queda comprobado al realizar dos ensayos de verificación los cuales no cedieron ante el peso del agua. Esto se logra apreciar en la siguiente ilustración.



Ilustración 40 Prueba para cohesión según metodología de Frasson Jr.

Fuente: Propia, 2017

Por consiguiente, no se realizaron más ensayos a compresión según lo estipulado en la metodología.

4.1.3.2 Densidad seca para los especímenes por el método de Frasson Jr.

Primeramente, se debe mencionar que para la realización de los cilindros por el método de Frasson Jr. Se seleccionaron las siguientes masas:

- Masa máxima: 505 gramos con un promedio de golpes de 11.
- Masa media: 500 gramos con un promedio de golpes de 9.

- Masa mínima: 495 gramos con un promedio de golpes de 6.

Tabla 33 Densidad seca para especímenes con masa máxima

<i>Densidad seca de especímenes de concreto endurecido con masa máxima</i>				
Cilindro	W sumergido	W superficie saturada seca	W seco	Densidad seca Kg/m³
B3	297.00	492.20	476.40	2441
B8	298.00	494.00	477.70	2437
B11	296.50	491.90	473.80	2425
B16	296.50	491.80	476.40	2439
Promedio				2435
Máximo				2441
mínimo				2425
Des Esta				7
Coef Var				0.3%
Delta				16

Fuente: Propia, 2017

Tabla 34 Densidad seca para especímenes con masa media

<i>Densidad seca de especímenes de concreto endurecido con masa media</i>				
Cilindro	W sumergido	W superficie saturada seca	W seco	Densidad seca Kg/m³
B1	298.00	494.00	477.80	2438
B11	297.00	492.60	476.50	2436
B13	292.00	486.70	471.80	2423

B17	294.50	490.50	474.40	2420
<i>Promedio</i>				2429
<i>Máximo</i>				2438
<i>mínimo</i>				2420
<i>Des Esta</i>				9
<i>Coef Var</i>				0.4%
<i>Delta</i>				17

Fuente: Propia, 2017

Tabla 35 Densidad seca para especímenes con masa mínima

<i>Densidad seca de especímenes de concreto endurecido con masa mínima</i>				
Cilindro	W sumergido	W superficie saturada seca	W seco	Densidad seca Kg/m³
B3	292.50	487.00	471.70	2425
B4	293.50	488.30	471.40	2420
B13	291.50	484.40	468.30	2428
B19	292.00	487.90	471.00	2404
<i>Promedio</i>				2419
<i>Máximo</i>				2428
<i>mínimo</i>				2404
<i>Des Esta</i>				10
<i>Coef Var</i>				0.4%
<i>Delta</i>				23

Fuente: Propia, 2017

4.1.3.3 Resultados para ensayo a compresión a 24 horas en especímenes mediante método de Frasson Jr.

Al Realizar los ensayos a compresión para los especímenes realizados mediante la metodología de Frasson Jr., se obtuvieron los resultados mostrados en las siguientes tablas.

Tabla 36 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, masa máxima

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B1 max	102.7	52.3
B2 max	100.3	51.1
B9 max	100.3	51.1
B17 max	101.2	51.6
Promedio	101.2	51.5

Fuente: Propia, 2017

Tabla 37 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, masa media

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B3 med	97.3	49.5
B6 med	98.2	50.0
B12 med	87.8	44.7
B19 med	95.4	48.6
Promedio	94.7	48.2

Fuente: Propia, 2017

Tabla 38 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, masa mínima

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B2 min	80.7	41.1
B9 min	78.1	39.8
B16 min	86.6	44.1
B17 min	79.6	40.5
Promedio	81.3	41.4

Fuente: Propia, 2017

Utilizando los resultados anteriores se obtiene la siguiente gráfica la cual relaciona la densidad seca con la resistencia obtenida en donde se logra apreciar que el comportamiento para los especímenes fallados a 24 horas es lineal.

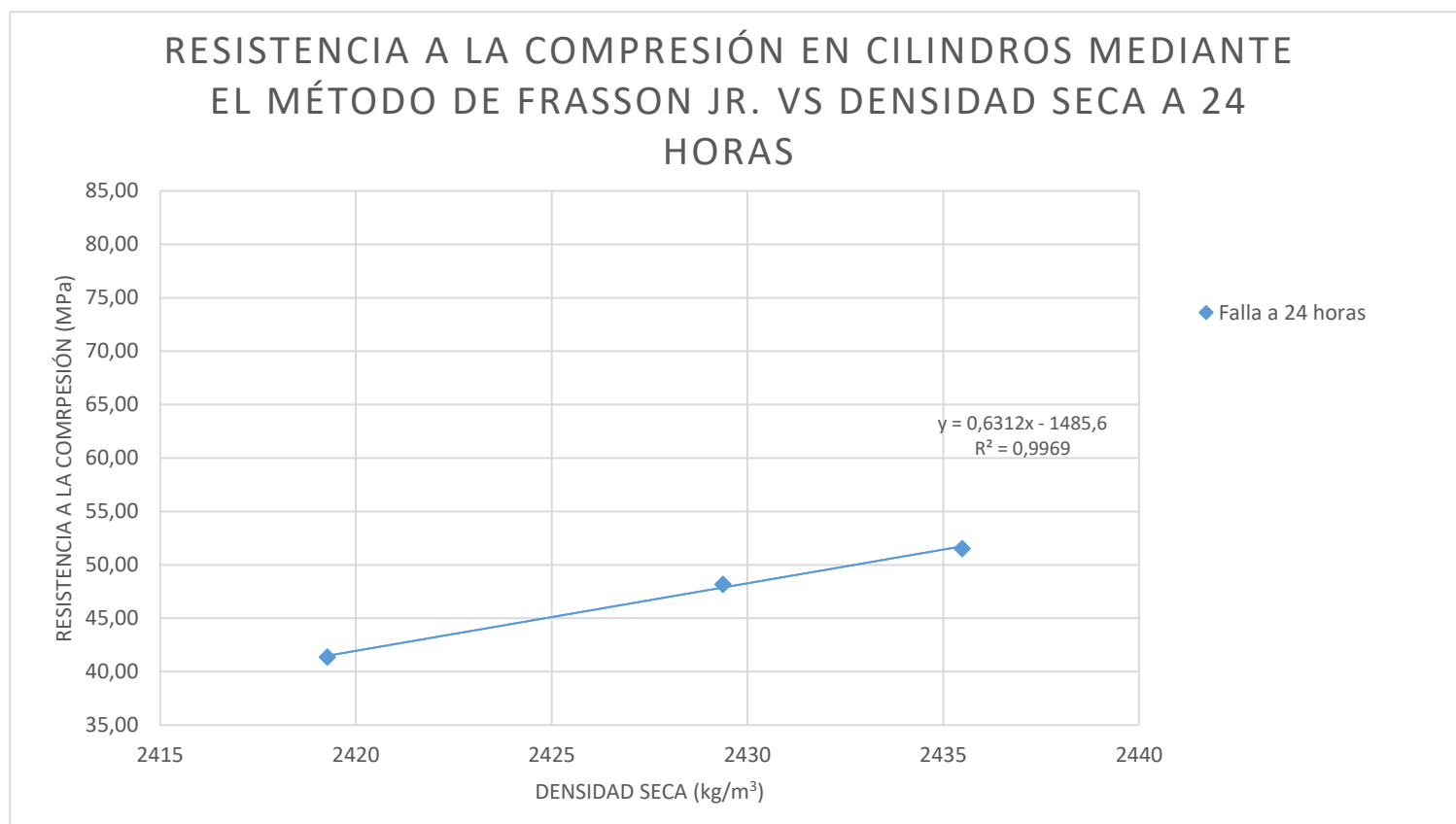


Ilustración 41 Gráfica de resistencia a la compresión en función de la densidad seca a 24 horas

Fuente: Propia, 2017

Delante, se muestran los datos obtenidos para los ensayos a compresión a 7 días para los núcleos extraídos para las tres masas estudiadas.

Tabla 39 Resultado ensayo a compresión a 7 días, masa máxima

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B5 max	122.7	62.5
B6 max	124.0	63.1
B10 max	127.9	65.1
B13 max	122.4	62.4
Promedio	124.3	63.3

Fuente: Propia, 2017

Tabla 40 Resultado ensayo a compresión a 7 días, masa media

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B2 med	98.2	50.0
B7 med	110.7	56.4
B9 med	106.7	54.4
B16 med	101.8	51.8
Promedio	104.4	53.2

Fuente: Propia, 2017

Tabla 41 Resultado ensayo a compresión a 7 días, masa mínima

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B7 min	112.8	57.5
B8 min	110.4	56.5
B10 min	111.5	56.8
B11 min	108.8	55.4
Promedio	110.9	56.6

Fuente: Propia, 2017

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS MEDIANTE EL MÉTODO DE FRASSON JR. VS DENSIDAD SECA A 7 DÍAS

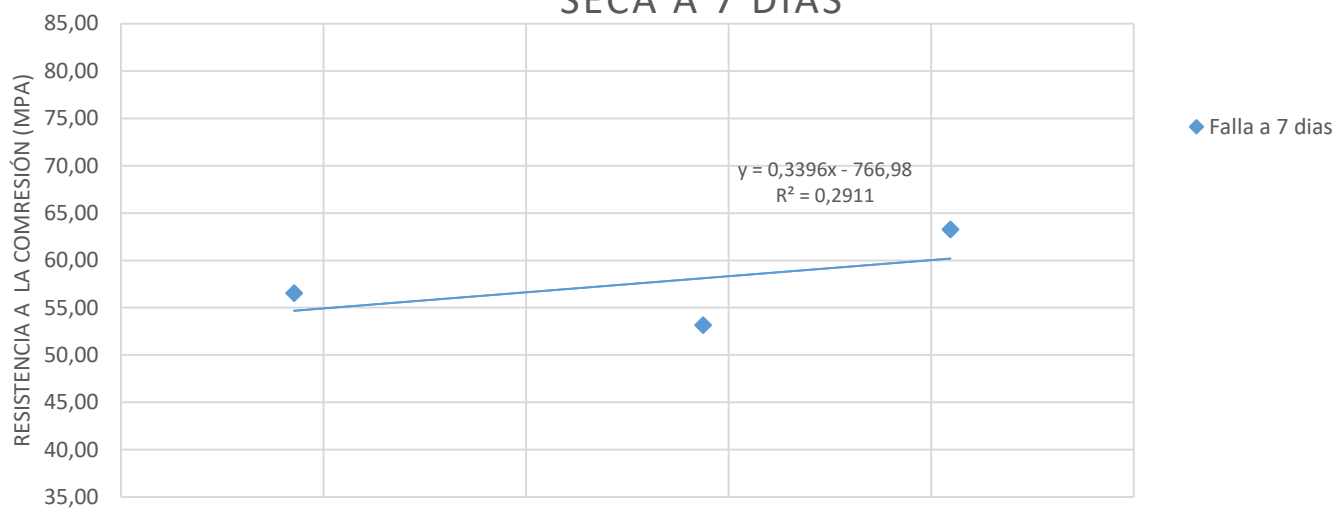


Ilustración 42 Gráfica de resistencia a la compresión en función de la densidad seca a 7 días

Fuente: Propia, 2017

Como se logra apreciar, el R^2 indica que la variación que poseen los resultados es elevada. Esto también es apreciable en los resultados obtenidos para el ensayo a 28 días tal y como se evidencia a continuación.

Tabla 42 Resultado ensayo a compresión a 28 días, masa máxima

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B4 max	135.7	69.1
B7 max	168.8	85.9
B12 max	167.5	85.3
B19 max	171.2	87.2
Promedio	160.8	81.9

Fuente: Propia, 2017

Tabla 43 Resultado ensayo a compresión a 28 días, masa media

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B4 med	117.9	60
B5 med	126.4	64.4
B8 med	115.2	58.7
B10 med	136.3	69.4
Promedio	124.0	63.1

Fuente: Propia, 2017

Tabla 44 Resultado ensayo a compresión a 28 días, masa mínima

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
B1 min	144.0	73.3
B5 min	125	63.7
B6 min	133.9	68.2
B12 min	143.1	72.9
Promedio	136.5	69.5

Fuente: Propia, 2017

En seguida, se muestra el gráfico resultante para los especímenes fallados a 28 días.

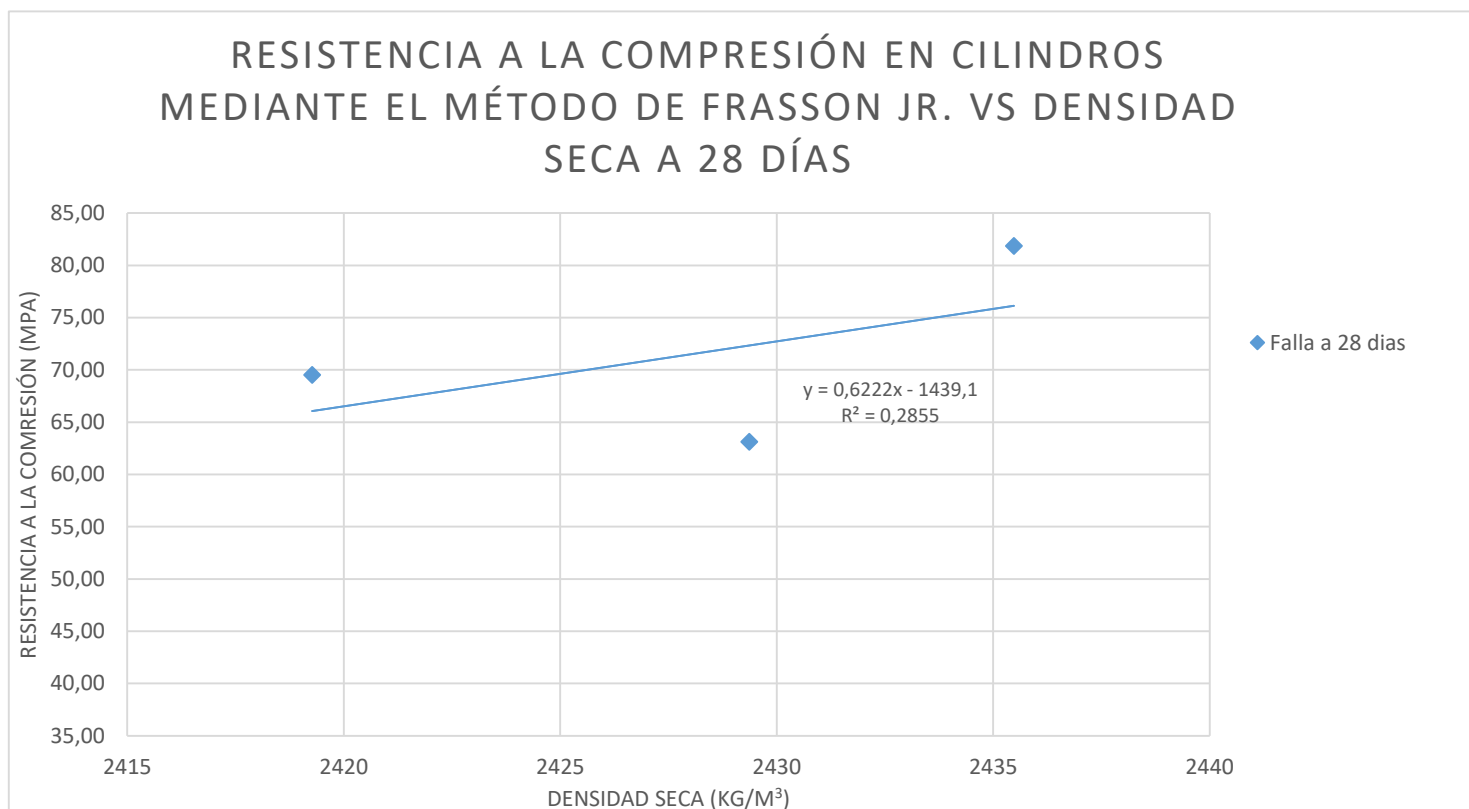


Ilustración 43 Gráfica de resistencia a la compresión en función de la densidad seca a 28 días

Fuente: Propia, 2017

Como se logra apreciar en los gráficos anteriores de ensayos a 7 y 28 días, en donde la masa media da valores menores de resistencia, esto puede ser dado al ser un tipo de cura no constante ni totalmente controlado ya que se da mediante aspersores, pueda que algunos cilindros tuvieron mejor cura que otros. Se debe mencionar que para este tipo de concreto la cura recibida durante los primeros 10 días es indispensable y repercutirá en las resistencias finales.

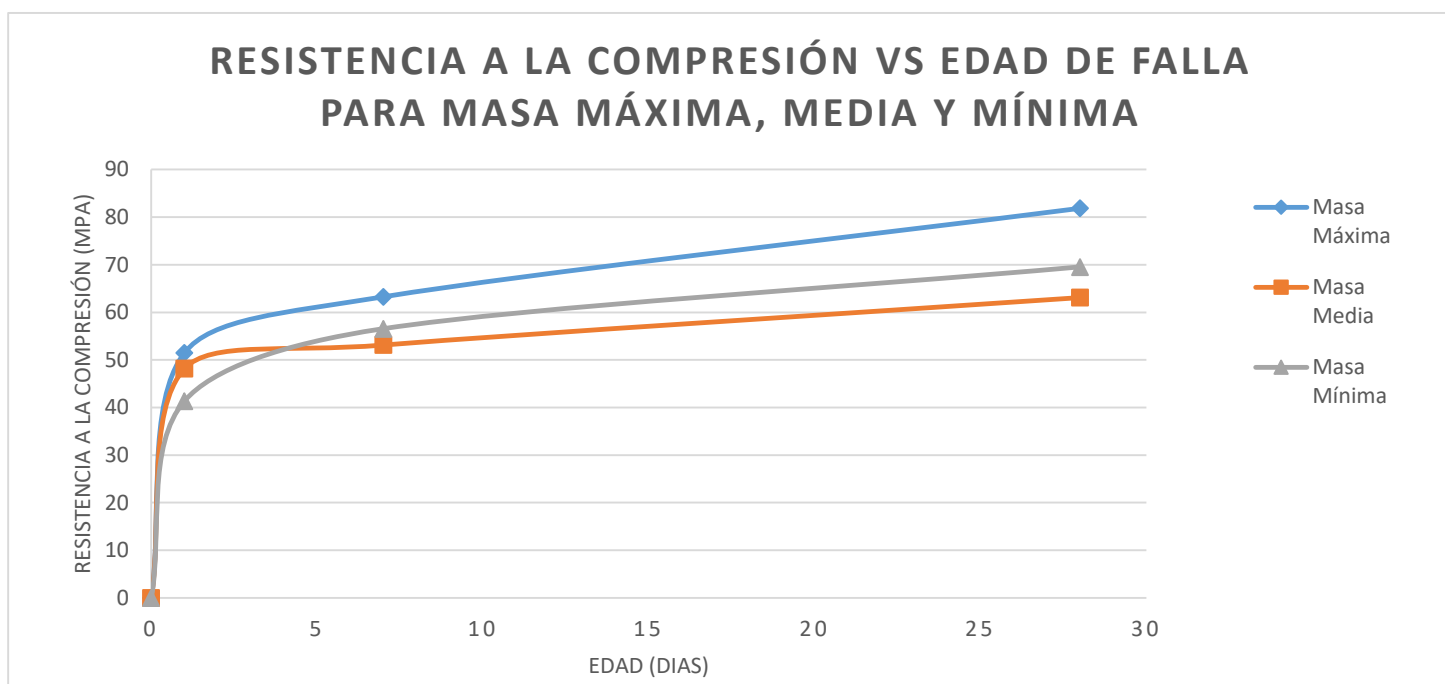


Ilustración 44 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto para masa máxima, media y mínima

Fuente: Propia, 2017

4.1.4 Resultados obtenidos de la modificación de tiempo de vibrado en cilindros de 100 mm x 200 mm según metodología interna

Al realizar esta prueba, se encontró previamente que gran cantidad de moldes utilizados en la planta se encuentran en mal estado, deformes y con tuercas sueltas tal y como se muestra en las siguientes ilustraciones. Para evitar que estas disconformidades en los moldes interfieran en los resultados se utilizaron moldes provenientes del laboratorio de investigación y desarrollo.



Ilustración 45 Moldes con tuercas sueltas

Fuente: Propia, 2017



Ilustración 46 Deformidad en especímenes debido a problemas por moldes

Fuente: Propia, 2017

Por otra parte, al realizar los cilindros se observó que la masa pequeña utilizada para la compactación no es del mismo diámetro que el molde, por lo que al realizar la vibración el material del concreto principalmente los finos, se salen por los bordes tal y como se puede observar en la siguiente ilustración.

4.1.4.1 *Cálculo de densidad seca según tiempo de vibrado*

Seguidamente, se muestran los resultados para las densidades secas según el tiempo de vibrado para cilindros realizados con la metodología interna de Productos de Concreto.

Cabe mencionar que, para tiempos elevados de vibración, se observó que la pasta del concreto se sale por los bordes del cilindro tal y como se logra apreciar en la siguiente ilustración, lo cual indica que se está vibrando en exceso. Esto se nota en los dos últimos tiempos de vibrado en donde la densidad declinó. Además, el tiempo establecido por la norma INTE el cual es el tomado como referencia en la norma interna de la empresa es de entre 8 a 10 segundos de vibrado por capa, esto solo es así teniendo el concreto en las mismas condiciones de humedad presente en la mezcla pues si esta se encuentra más seca el tiempo de vibrado es mayor. Para evitar esto se realizaron los cilindros con mezcla recién preparada y muestreada en el equipo extrusor.



Ilustración 47 Pasta de la mezcla emergiendo por excesivo vibrado

Fuente: Propia, 2017

A continuación, se descubren los resultados obtenidos para el cálculo de la densidad seca según el tiempo de vibrado, se menciona que por falta de moldes cilíndricos solo se logró realizar 2 cilindros para cada edad de falla y 2 para la obtención de la densidad seca.

Tabla 45 Resultados de densidad seca para cilindros de concreto según tiempo de vibrado

<i>Densidad seca de especímenes de concreto endurecido</i>					
Cilindro	W sumergido	W superficie saturada seca	W seco	Densidad seca Kg/m³	Desv estandar
E 2 sec	2373.00	4009.30	3766.00	2302	6.70
E 2 sec	2418.00	4082.90	3847.60	2311	
E 5 sec	2448.50	4130.20	3907.60	2324	12.63
E 5 sec	2326.50	3922.60	3737.20	2341	
E 10 sec	2369.50	3986.20	3830.30	2369	8.71
E 10 sec	2406.50	4052.00	3918.80	2382	
E 20 sec	2381.50	4007.80	3909.30	2404	10.09
E 20 sec	2395.50	4028.50	3948.70	2418	
E 40 sec	2359.50	3984.60	3811.00	2345	10.60
E 40 sec	2369.00	3995.60	3838.90	2360	
E 60 sec	2468.50	4140.20	4016.80	2403	1.26
E 60 sec	2429.00	4083.70	3973.00	2401	

Fuente: Propia, 2017

Seguidamente se muestran los promedios para cada tiempo de vibrado.

Tabla 46 Densidad seca promedio según tiempo de vibrado

Tiempo de vibración (s)	Densidad promedio (kg/m³)
2	2306
5	2333
10	2375
20**	2411
40**	2353
60**	2402

Fuente: Propia, 2017

**A partir de estos tiempos de vibrado, la realización de especímenes presentaba pérdida de material fino, lo cual influye en distorsión de resultados.

4.1.4.2 Resultado de los ensayos a compresión en cilindros variando el tiempo de vibrado

Seguidamente se exponen los resultados obtenidos para los ensayos a compresión a 24 horas y a 28 días de los cilindros realizados con la metodología interna de la empresa variando el tiempo de vibrado.

Tabla 47 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 2 segundos de vibrado

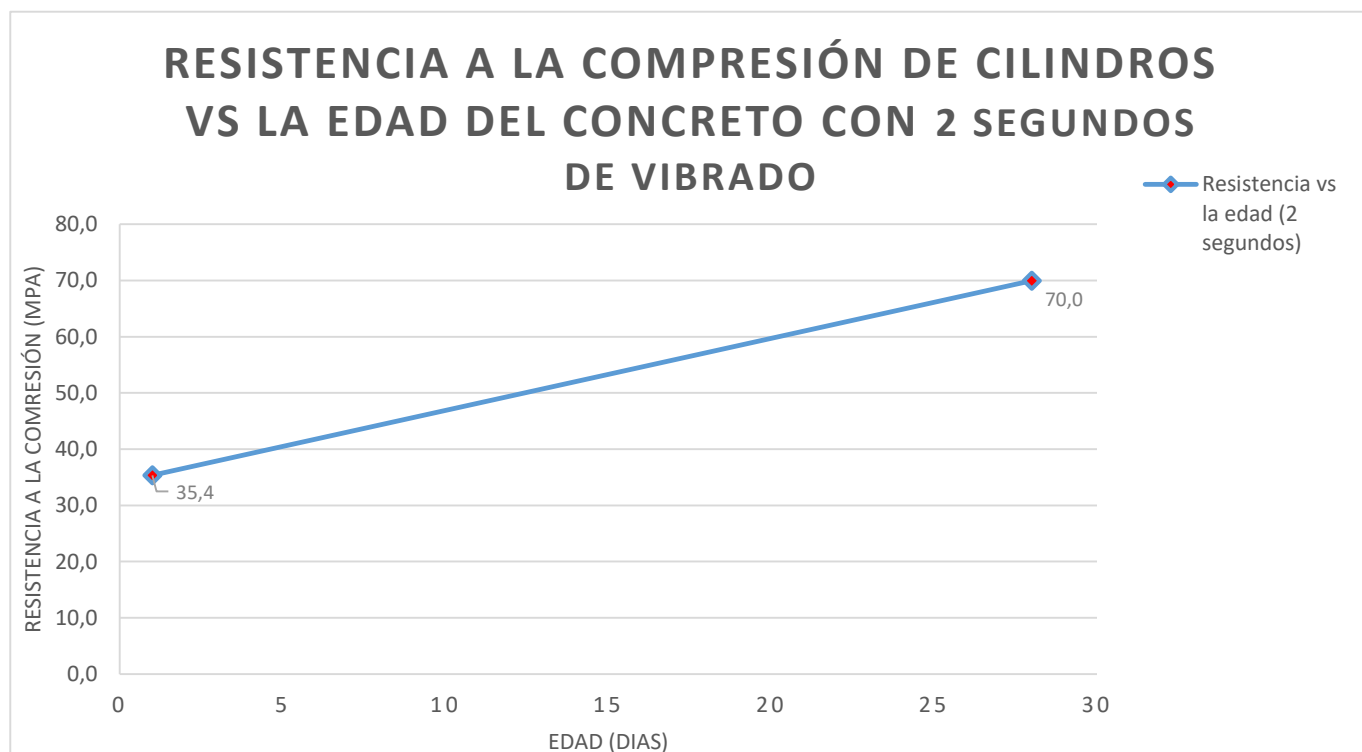
Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E1 2 seg	283.4	34.3
E2 2 seg	300.5	36.4
Promedio	292.0	35.4

Fuente: Propia, 2017

Tabla 48 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 2 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E3 2 seg	576.2	69.8
E4 2 seg	579	70.2
Promedio	577.6	70.0

Fuente: Propia, 2017



Fuente: Propia, 2017

Tabla 49 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 5 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E1 5 seg	295.5	35.8
E2 5 seg	304.6	36.9
Promedio	300.1	36.4

Fuente: propia, 2017

Tabla 50 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 5 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E3 5 seg	563.1	68.3
E4 5 seg	569.7	69.1
Promedio	566.4	68.7

Fuente: Propia, 2017

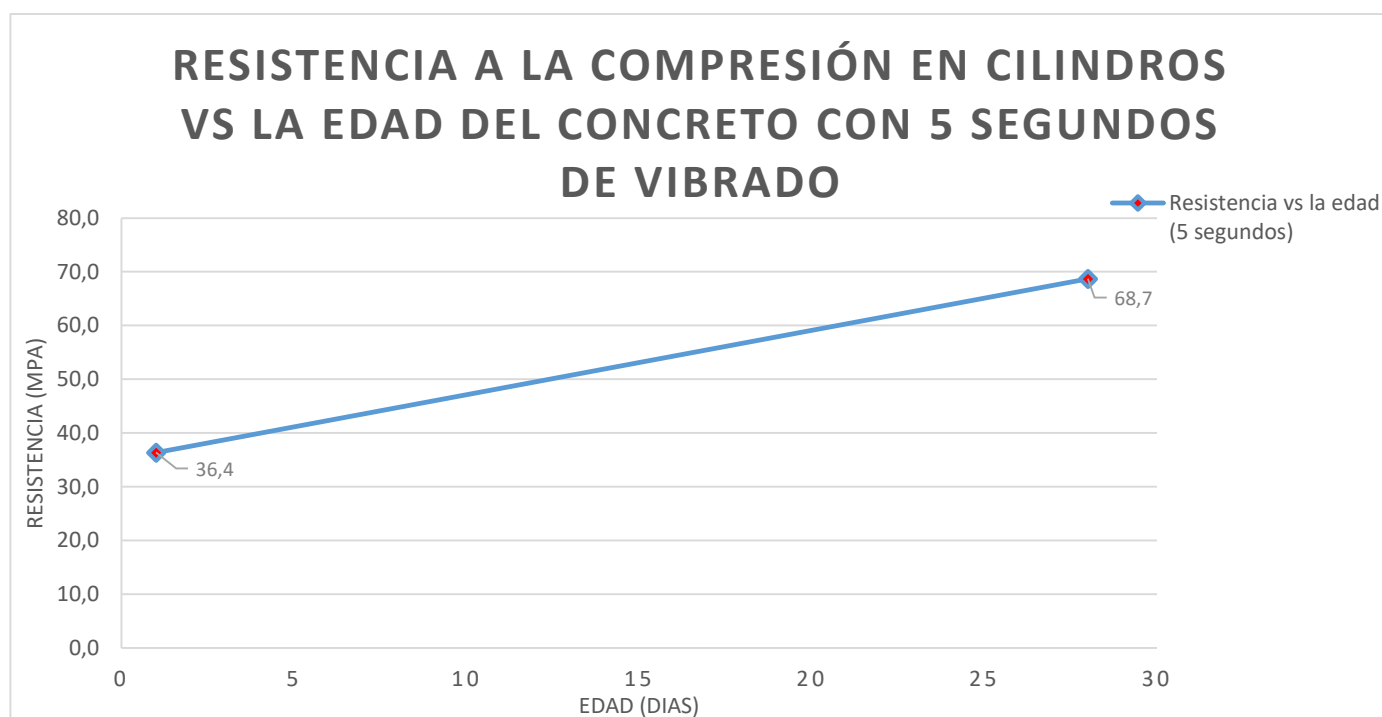


Ilustración 49 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 5 segundos de vibrado

Fuente: Propia, 2017

Tabla 51 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 10 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E1 10 seg	296.3	35.9
E2 10 seg	298.8	36.2
Promedio	297.6	36.1

Fuente: propia, 2017

Tabla 52 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 10 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E3 10 seg	543.0	65.8
E4 10 seg	539.0	65.3
Promedio	541.0	65.6

Fuente: propia, 2017

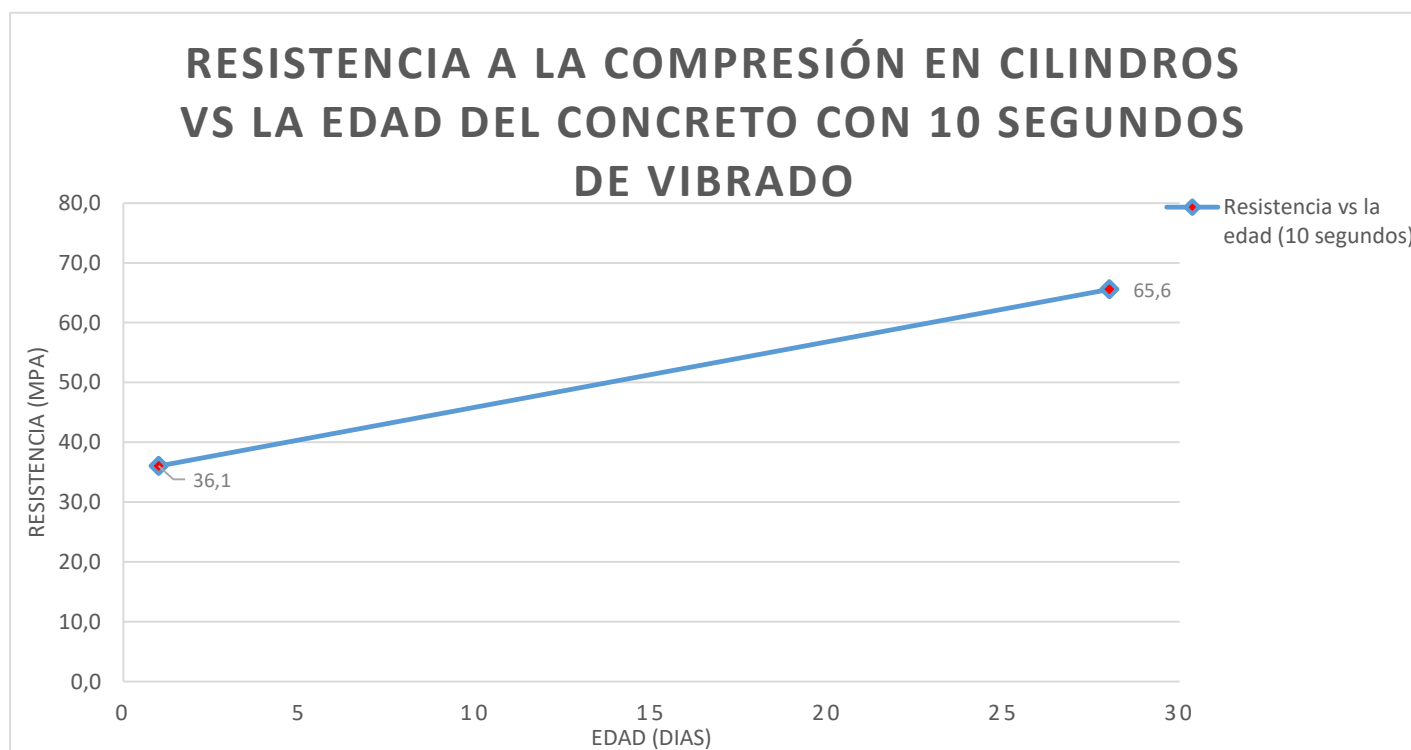


Ilustración 50 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 10 segundos de vibrado

Fuente: Propia, 2017

Tabla 53 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 20 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E1 20 seg	295.4	35.8
E2 20 seg	287.9	34.9
Promedio	291.6	35.4

Fuente: Propia, 2017

Tabla 54 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 20 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E3 20 seg	411.3	49.8
E4 20 seg	458.6	55.6
Promedio	435.0	52.7

Fuente: Propia, 2017

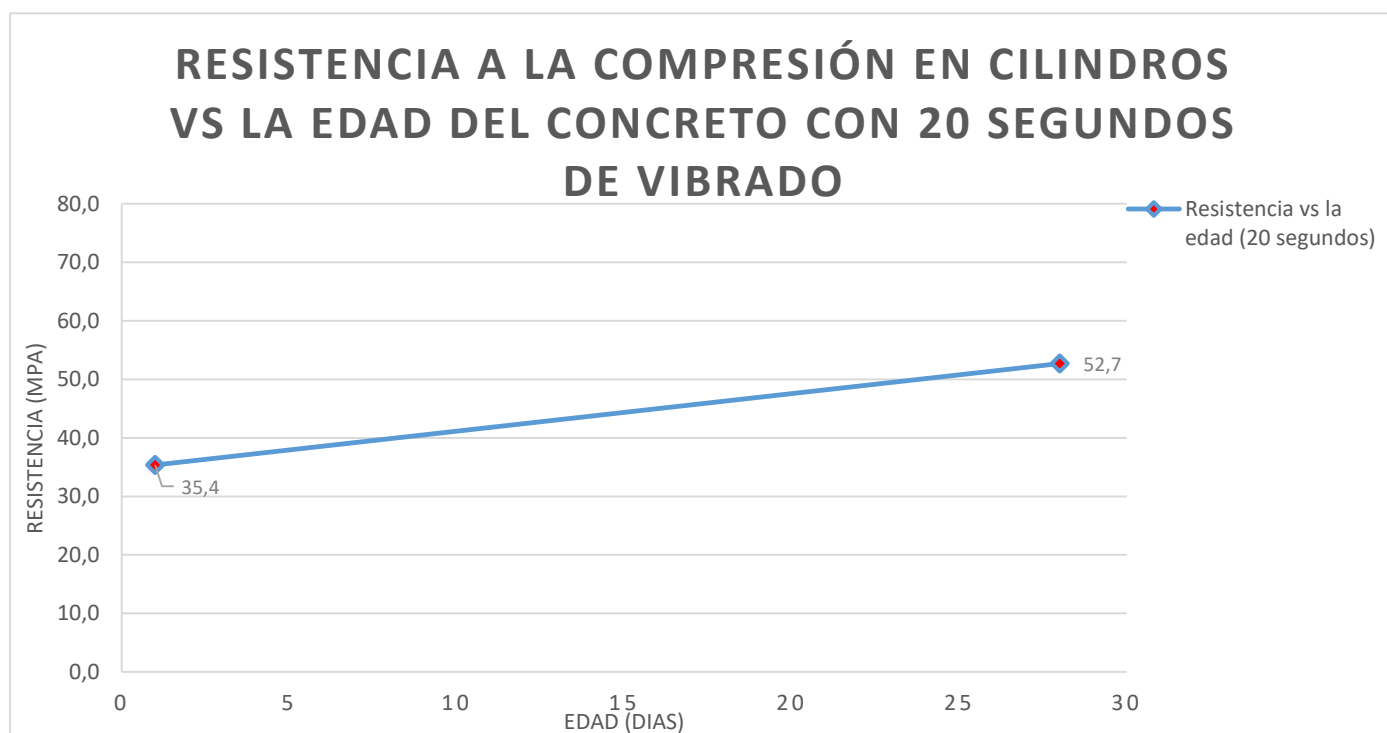


Ilustración 51 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 20 segundos de vibrado

Fuente: Propia, 2017

Tabla 55 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 40 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E1 40 seg	338.0	41.0
E2 40 seg	313.6	38.0
Promedio	325.8	39.5

Fuente: Propia, 2017

Tabla 56 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 40 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E3 40 seg	584.2	70.8
E4 40 seg	538.9	65.3
Promedio	561.6	68.1

Fuente: Propia, 2017

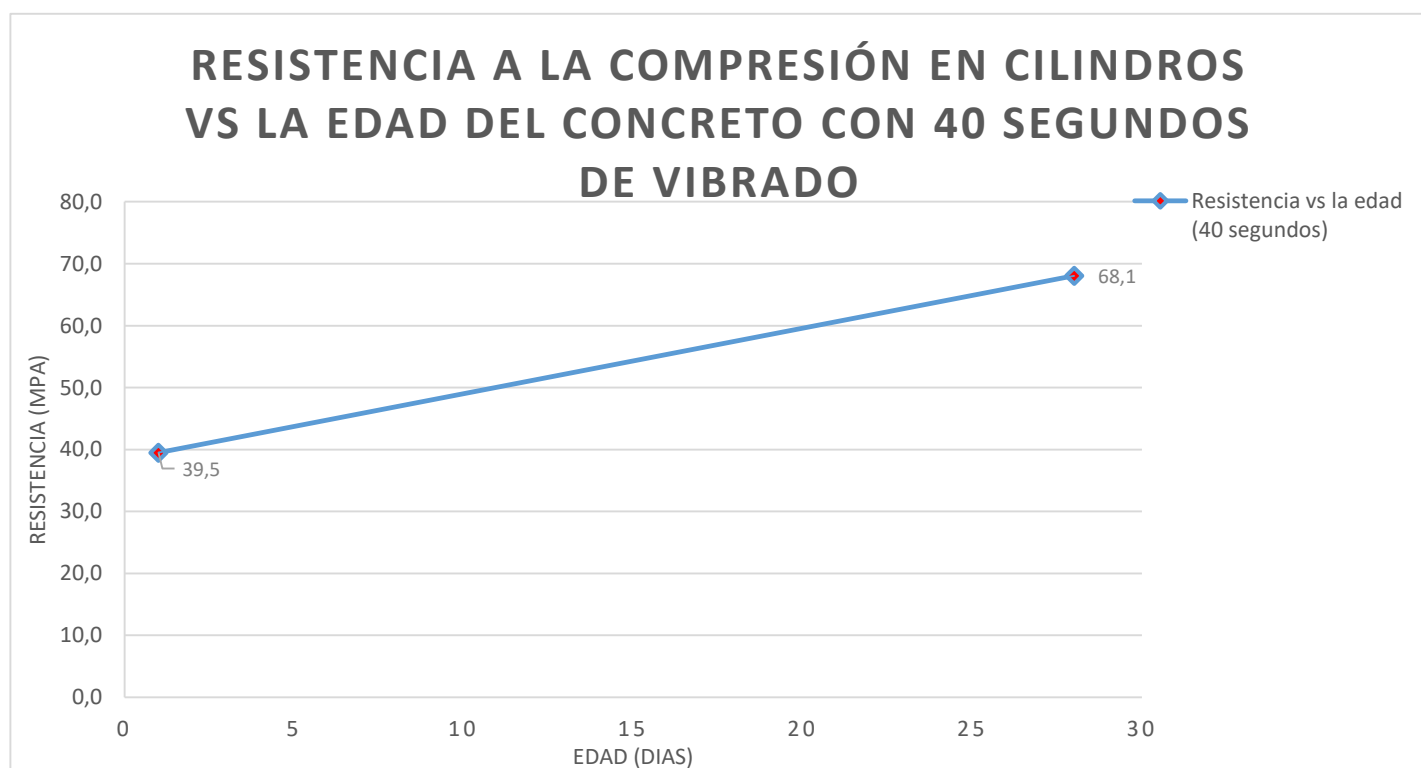


Ilustración 52 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 40 segundos de vibrado

Fuente: Propia, 2017

Tabla 57 Resultado ensayo a compresión a 24 horas, 60 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E1 60 seg	337.8	41.0
E2 60 seg	308.8	37.5
Promedio	323.3	39.3

Fuente: Propia, 2017

Tabla 58 Resultado ensayo a compresión a 28 días, 60 segundos de vibrado

Cilindro	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)
E3 60 seg	545.9	66.2
E4 60 seg	598.7	72.6
Promedio	572.3	69.4

Fuente: Propia, 2017

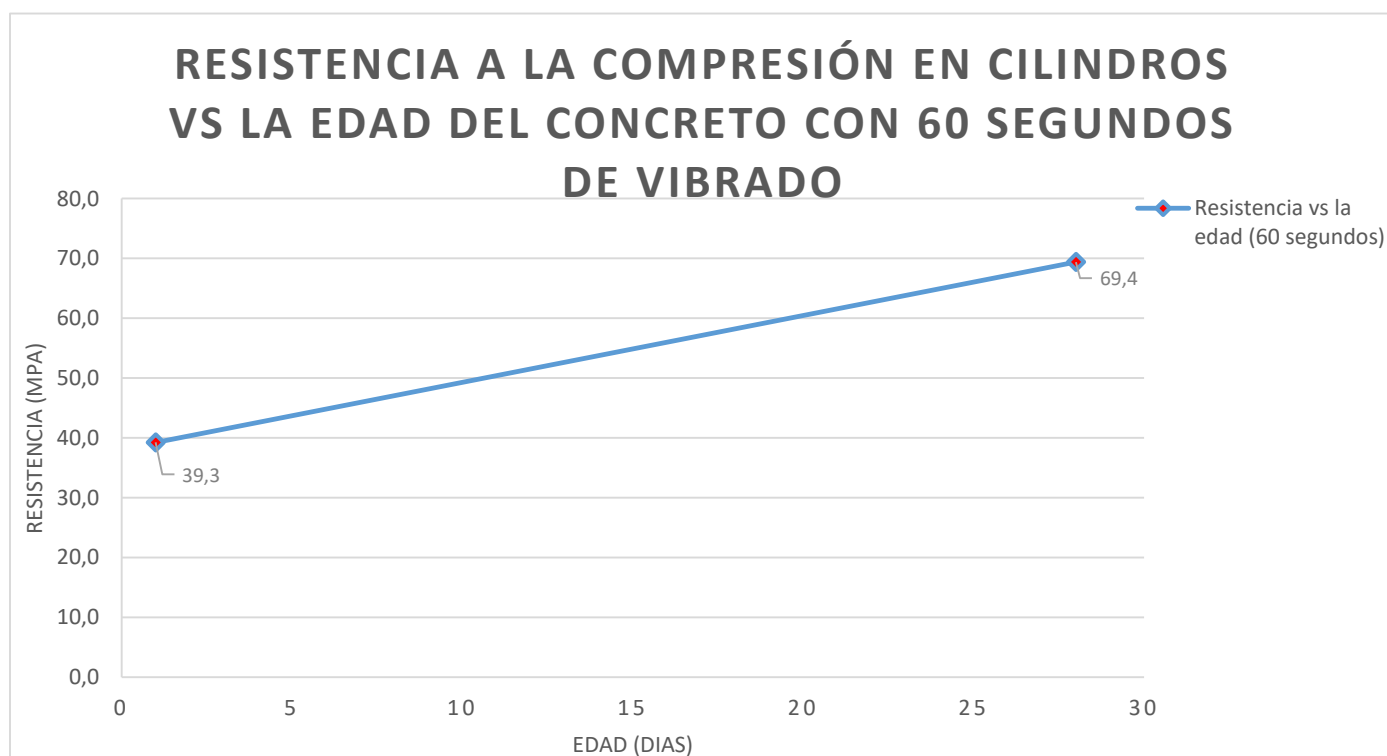


Ilustración 53 Gráfico de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con 60 segundos de vibrado

Fuente: Propia, 2017

Por otra parte, se muestran los gráficos de tiempo de vibrado en la mesa vs resistencia a la compresión del concreto alcanzada a las edades estudiadas.

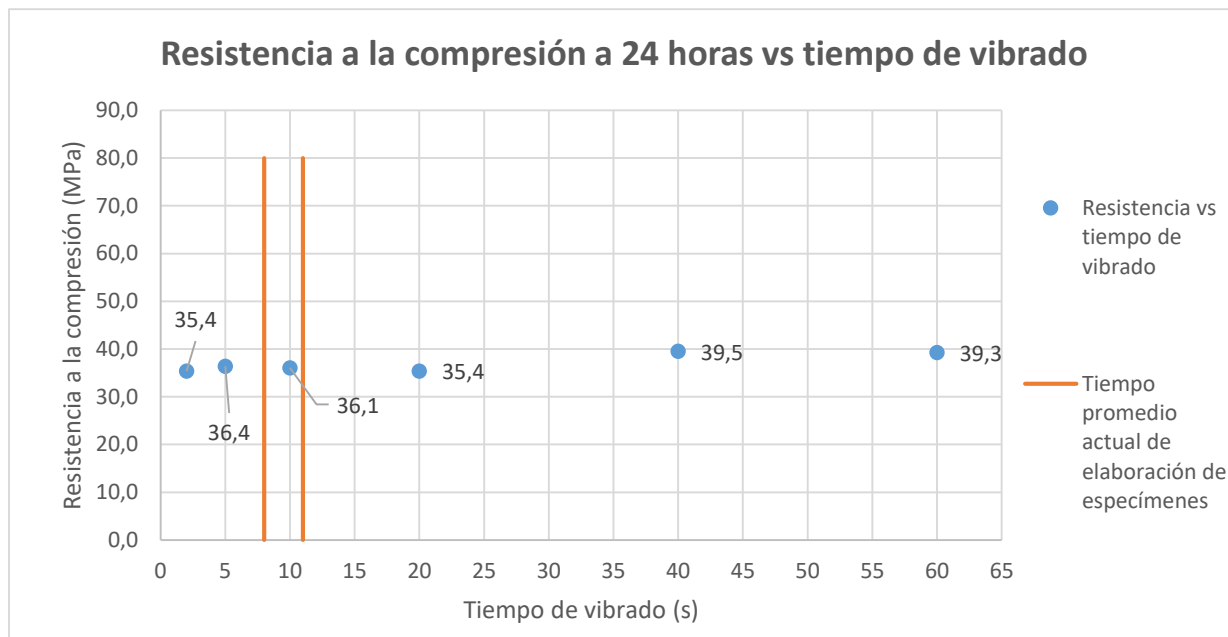


Ilustración 54 Gráfico de resistencia a la compresión del concreto a 24 horas según el tiempo de vibrado

Fuente: Propia, 2017

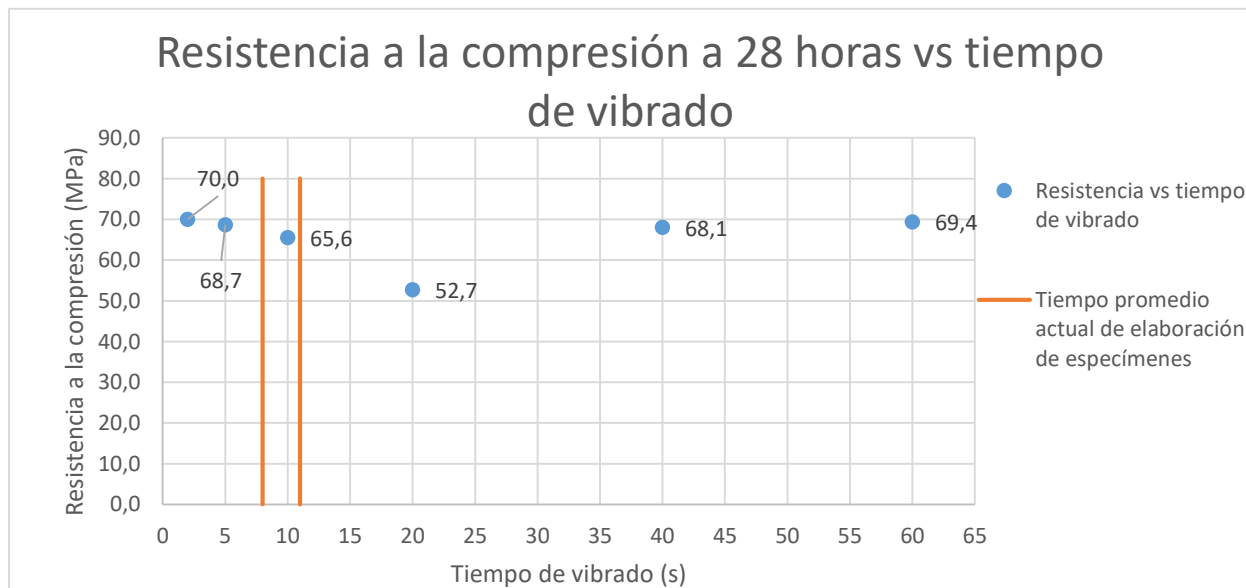


Ilustración 55 Gráfico de resistencia a la compresión del concreto a 28 días según el tiempo de vibrado

Fuente: Propia, 2017

4.2 Análisis de resultados

4.2.1 Análisis de resultados de resistencia a la compresión mediante metodología interna de PC y comparación de resultados según tipo de cura

En el gráfico presentado en la Ilustración 31, Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con cura en laboratorio, se logra apreciar cómo la mayor ganancia de resistencia para este tipo de concreto es a edades tempranas, donde a tan solo 24 horas llega a más del **53%** de la resistencia total, asumiendo que la resistencia a 28 días es la máxima alcanzada, la resistencia alcanzada a los 7 días es poco más del **85%** de la resistencia total, dejando como resultado que la diferencia en la ganancia de la resistencia a la compresión entre 7 días y 28 días es de **15%** lo cual demuestra el desempeño de este tipo de concreto con alta resistencia inicial.

Por otra parte, en el gráfico que se muestra en la Ilustración 33, Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto con cura en patio, se logra apreciar que la ganancia de resistencia a los primeros 7 días es de **83%** y la diferencia entre la resistencia a los 7 días y a 28 días es de **17%**

A continuación, se muestra un cuadro de comparación entre las resistencias obtenidas entre los dos métodos de cura.

Tabla 59 Resumen de resistencia a la compresión según método de curado

Edad	Cura en laboratorio	Cura en patio	Diferencia
24 horas	40.3	40.3	0%**
7 días	64.5	63.0	2%
28 días	75.8	75.2	1%

** la diferencia es 0% ya que son los mismos valores para ambos métodos

Fuente: Propia, 2017

Como se logra apreciar en la tabla anterior, la diferencia de resistencias para ambos métodos es prácticamente insignificante, esto es debido a la época del año en la que se realizó la investigación pues las constantes lluvias presentes durante los días generan una excelente cura para los elementos de concreto que se encuentran en el patio. En el siguiente gráfico se logra valuar que dicha diferencia es imperceptible. Esto muestra que para la época en la que se realizó la investigación los elementos de concreto que se encuentran en el patio obtienen una excelente cura lo cual repercute en la resistencia adquirida. Cabe mencionar que para este tipo de concreto de alta resistencia inicial es indispensable la resistencia obtenida durante los primeros 7 días, ya que, si la cura recibida durante estos primeros días no es suficiente, la resistencia a los 28 días la cual es la de diseño no llega a los valores establecidos para el diseño del concreto.

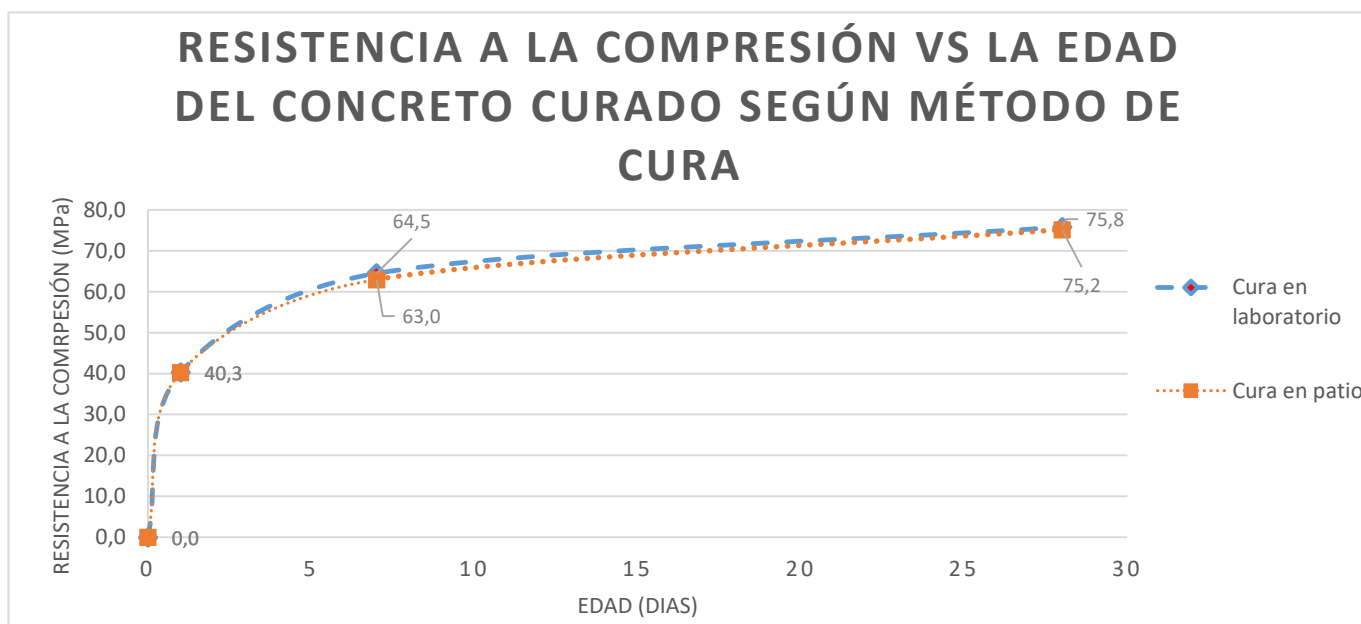


Ilustración 56 Gráfico de curva de ganancia de resistencia a la compresión del concreto según el método de cura

Fuente: Propia, 2017

4.2.2 Análisis de los resultados obtenidos de la extracción de núcleos de concreto

4.2.2.1 Comparación de densidad seca de la losa de prueba según zona

Al verificar la densidad seca de las distintas zonas en la losa de pruebas se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 60 Densidad seca para cada zona estudiada

Zona	Densidad promedio kg/m ³	Valor máximo	Valor Mínimo
Zona 1	2321	2330	2311
Zona 2	2327	2335	2320
Zona 3	2293	---	---

Fuente: Propia, 2017

Como se logra apreciar, para la Zona 1 la densidad seca es levemente menor que en la Zona 2, lo cual indica que en la parte central del elemento la densidad es mayor que en la zona de los bordes, por otra parte, se observa que la zona ubicada entre los dos tornillos extraídos la densidad decae ya que no se puede compactar correctamente la zona.

4.2.2.2 Análisis de la resistencia equivalente obtenida para cada edad del concreto en núcleos extraídos

En el gráfico mostrado en la ilustración 39 se evidencia cómo la mayor ganancia de resistencia se da a edades tempranas, corroborando los valores obtenidos para las pruebas realizadas con el procedimiento interno de Productos de Concreto donde, a tan solo 24 horas, llega a más del **62%** de la resistencia total, asumiendo que la resistencia a 28 días es la máxima alcanzada, a los 7 días ha adquirido un **85%** de la resistencia a la compresión total.

Del mismo modo, comparando los valores de resistencia obtenida con los núcleos extruidos con la resistencia mediante los cilindros realizados con la metodología interna de la empresa, se obtienen las siguientes diferencias respecto a la resistencia para cada edad del concreto:

Tabla 61 Diferencia de resistencia a la compresión entre cilindros mediante metodología interna y núcleos extraídos aplicando corrección ACI 214.4R

Edad (Días)	Resistencia para cilindros de 100 mm x 200 mm (MPa)	Resistencia equivalente para núcleos extraídos (MPa)	Diferencia
1	41.2	29.8	28%
7	62.0	40.6	34%
28	68.9	47.7	31%

Fuente: Propia, 2017

Teniendo esta comparación, se puede establecer que la diferencia entre resistencias es elevada lo cual puede ser preocupante, sin embargo, según la metodología del ACI 214.4R, la resistencia obtenida por los núcleos de concreto extraídos se define como adecuado si la resistencia media de tres núcleos, corregida para l/d de acuerdo con ASTM C 42, excede $0,85 f'_c$, utilizando esta definición se obtiene el siguiente cuadro comparativo de la resistencia a la compresión obtenida solo corrigiendo mediante la relación l/d según la tabla 5 del presente trabajo de investigación.

Tabla 62 Diferencia de resistencia a la compresión entre cilindros mediante metodología interna y núcleos extraídos corrigiendo según ASTM C42

Edad (Días)	Resistencia para cilindros de 100 mm x 200 mm (MPa)	Resistencia para núcleos extraídos (MPa)	Diferencia
1	41.2	35.6	14%
7	62.0	48.3	22%
28	68.9	56.8	18%

Fuente: Propia, 2017

Tomando como resistencia real lo dado por los cilindros realizados mediante la metodología interna se obtienen los siguientes resultados utilizando lo establecido en el ACI 214.4R sobre la aceptación de los resultados de los núcleos extraídos si este pasa el $0,85 f'c$.

Tabla 63 Comparación entre $0.85f'c$ de la resistencia de los cilindros mediante metodología interna y la resistencia de los núcleos extraídos

Edad (Días)	$0.85 f'c$ de cilindros mediante metodología interna de PC	Resistencia para núcleos extraídos (MPa)	Diferencia
1	35.0	35.6	+2%
7	52.7	48.3	-8%
28	58.6	56.8	-3%

Fuente: Propia, 2017

Como se puede observar, utilizando esta metodología práctica que establece el ACI 214.4R, la resistencia de los núcleos es prácticamente la misma que el 0.85 de la resistencia obtenida mediante la metodología interna de Productos de Concreto, por lo tanto, se puede determinar que mediante esta metodología más práctica que se determina en el ACI 214.4R, dicha resistencia es prácticamente la misma que la que obtienen mediante la metodología interna para elaborar especímenes de 100 mm x 200 mm mediante la mesa vibratoria, dando como resultado que no se requieran factores de correlación entre ambas metodologías de obtención de la resistencia.

4.2.3 Análisis de los resultados obtenidos por el método de Frasson Jr.

Al realizar el análisis para los datos obtenidos mediante los ensayos a cilindros realizados con la metodología de Frasson Jr., se puede observar que, los especímenes fallados a 24 horas tuvieron un comportamiento lineal respecto a la resistencia a la compresión en relación a la densidad seca, esto es debido a que todos los especímenes tuvieron el mismo método de cura el cual consiste en permanecer debajo de un plástico negro y sobre este una lona de plástico para evitar pérdida de calor que se genera por la reacción entre el agua y el cemento, por otra parte al realizar el método de cura en patio para los ensayos a 7 días y 28 días los resultados para masa mínima y media tuvieron un comportamiento no lineal tal y como se logra apreciar en las Ilustraciones 42 y 43, ya que la resistencia de los especímenes con masa mínima fue mayor que los obtenidos por los especímenes con masa media, este comportamiento es debido a que la cura no fue igual para todos los cilindros.

Dado que al momento de realizar estos ensayos no se contaba con los resultados para la comparación del método de cura, para evitar incorporar más variables a la investigación se decidió curar los especímenes en patio lo cual generó los resultados antes mostrados para las edades de 7 días y 28 días.

4.2.3.1 Análisis de la resistencia a la compresión obtenida en cilindros mediante método de Frasson Jr.

Utilizando los gráficos mostrados en las ilustraciones 41, 42 y 43 se puede calibrar la metodología de Frasson Jr. Con la metodología interna de Productos de Concreto, tal y como se muestra a continuación con las siguientes ilustraciones. Posteriormente se muestran los factores requeridos, si estos son necesarios, para la calibración de los métodos de Frasson Jr. Y la metodología interna de la empresa.

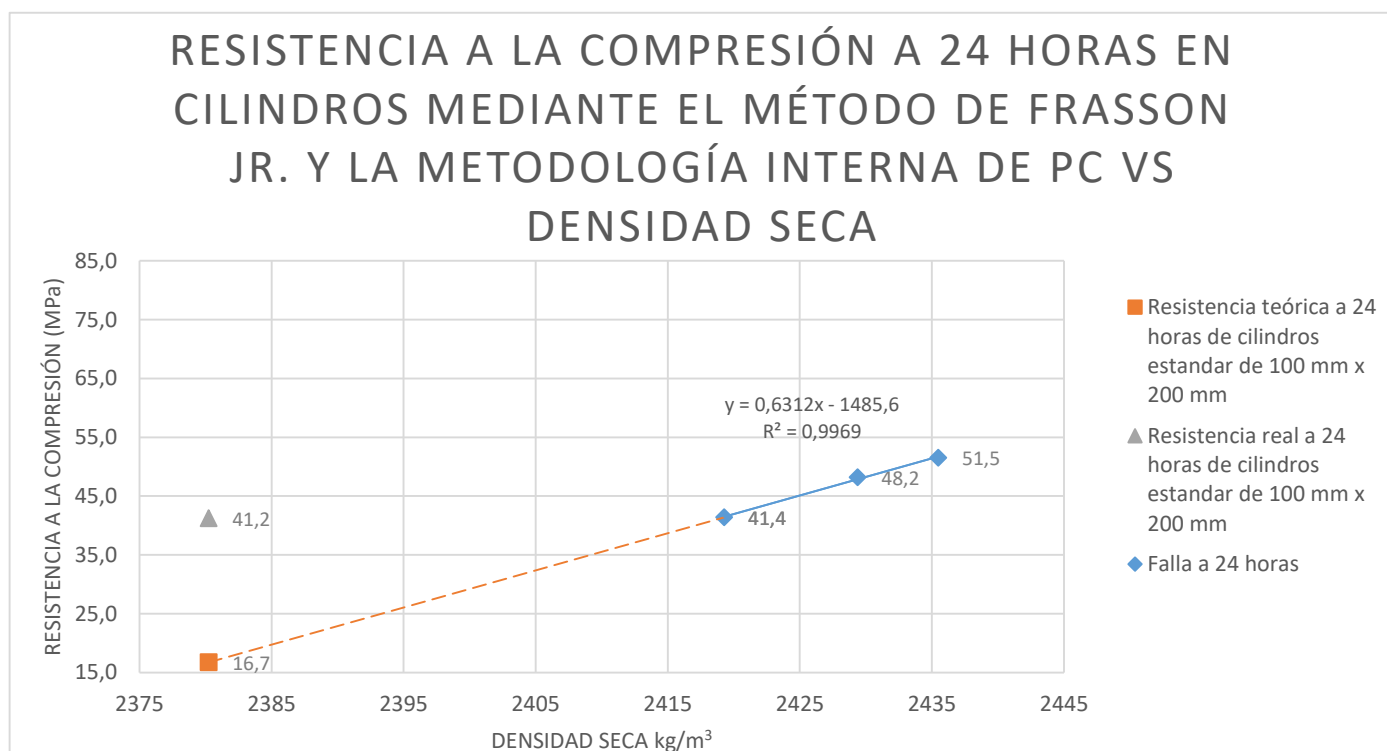


Ilustración 57 Gráfica de resistencia a la compresión a 24 horas vs densidad seca para las metodologías de Frasson Jr. y la interna de PC

Fuente: Propia, 2017

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 7 DÍAS EN CILINDROS MEDIANTE EL MÉTODO DE FRASSON JR. Y LA METODOLOGÍA INTERNA DE PC VS DENSIDAD SECA

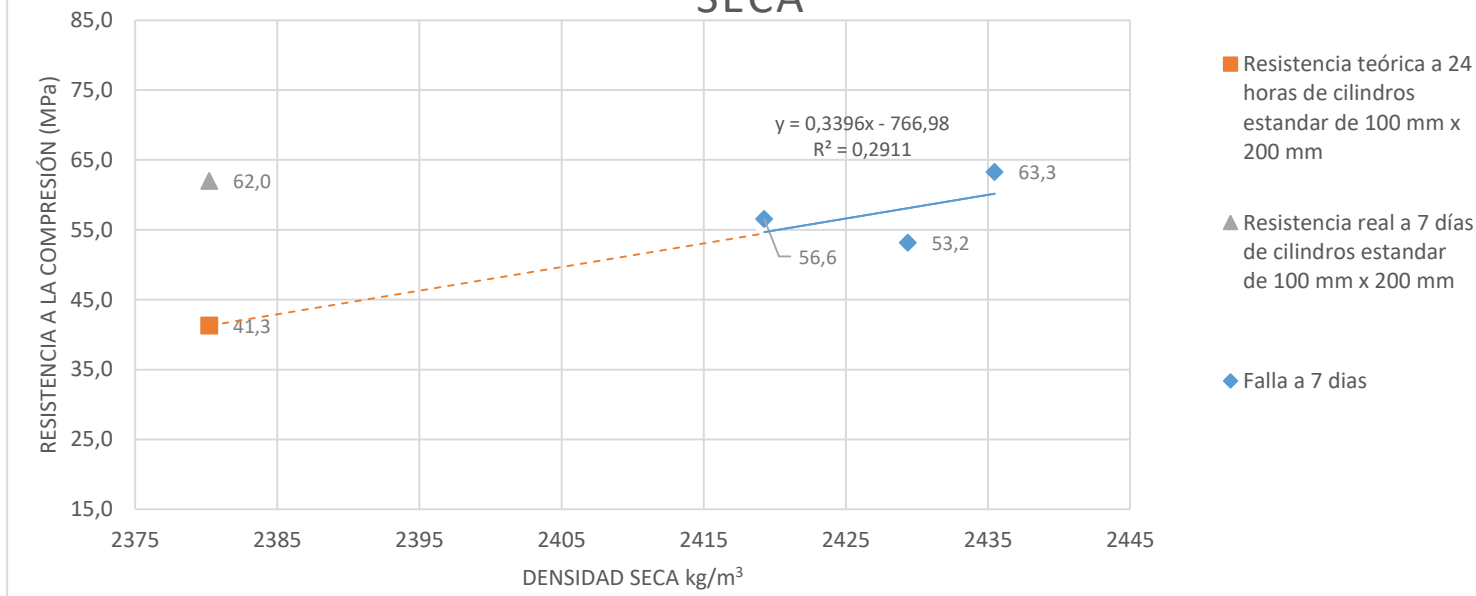


Ilustración 58 Gráfica de resistencia a la compresión a 7 días vs densidad seca para las metodologías de Frasson Jr. y la interna de PC

Fuente: Propia, 2017

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS EN CILINDROS MEDIANTE EL MÉTODO DE FRASSON JR. Y LA METODOLOGÍA INTERNA DE PC VS DENSIDAD SECA

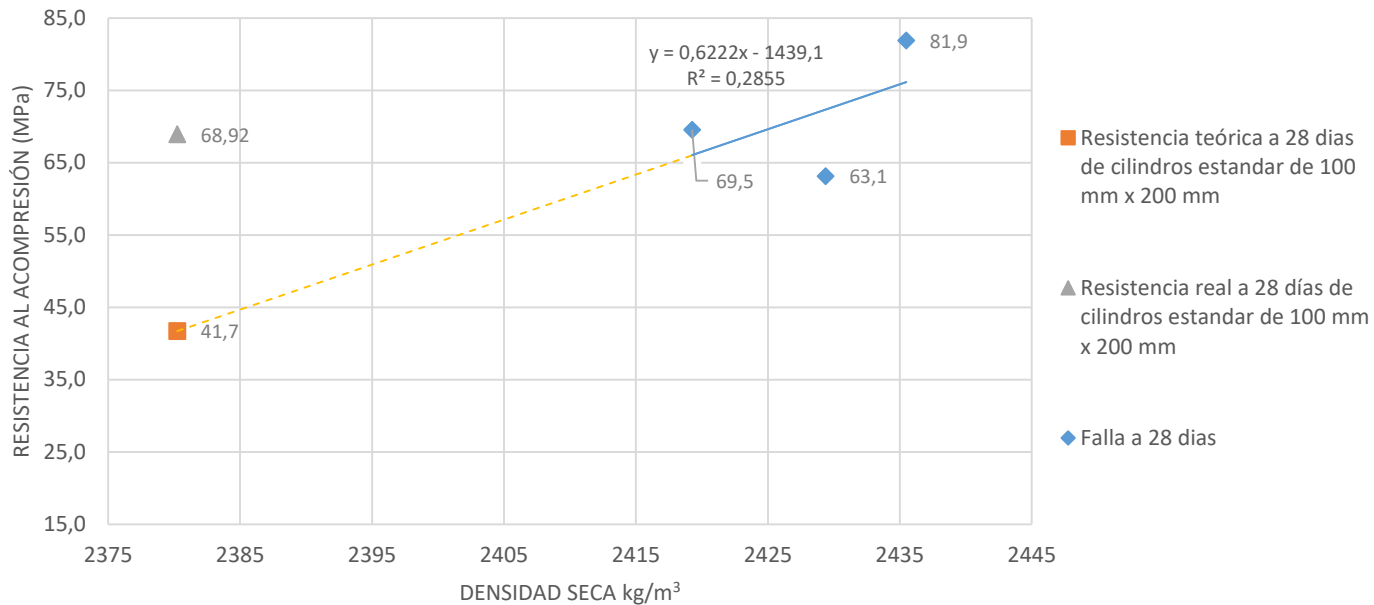


Ilustración 59 Gráfica de resistencia a la compresión a 28 días vs densidad seca para las metodologías de Frasson Jr. y la interna de PC

Fuente: Propia, 2017

Tal y como se mencionó anteriormente, para las fallas a la compresión a 7 días y 28 días, el coeficiente de determinación es muy bajo, lo cual indica que estadísticamente hablando los resultados de las proyecciones realizadas mediante esas gráficas no son confiables, es por esta razón que solo se obtuvo el factor de correlación para la falla a 24 horas el cual se muestra a continuación.

Tabla 64 Factores de correlación para calibrar el método de Frasson Jr. y la metodología interna de PC

Edad del concreto (horas)	Factor
24	2.47

Fuente: Propia, 2017

Obteniendo este factor de correlación, es posible realizar ensayos a nivel de laboratorio en este tipo de concreto seco de alto desempeño y conocer la resistencia que tendrá la losa alveolar al realizar los cambios. Esto se realiza utilizando el siguiente gráfico en el cual ya se ha aplicado los factores de correlación necesarios para cada edad del concreto.

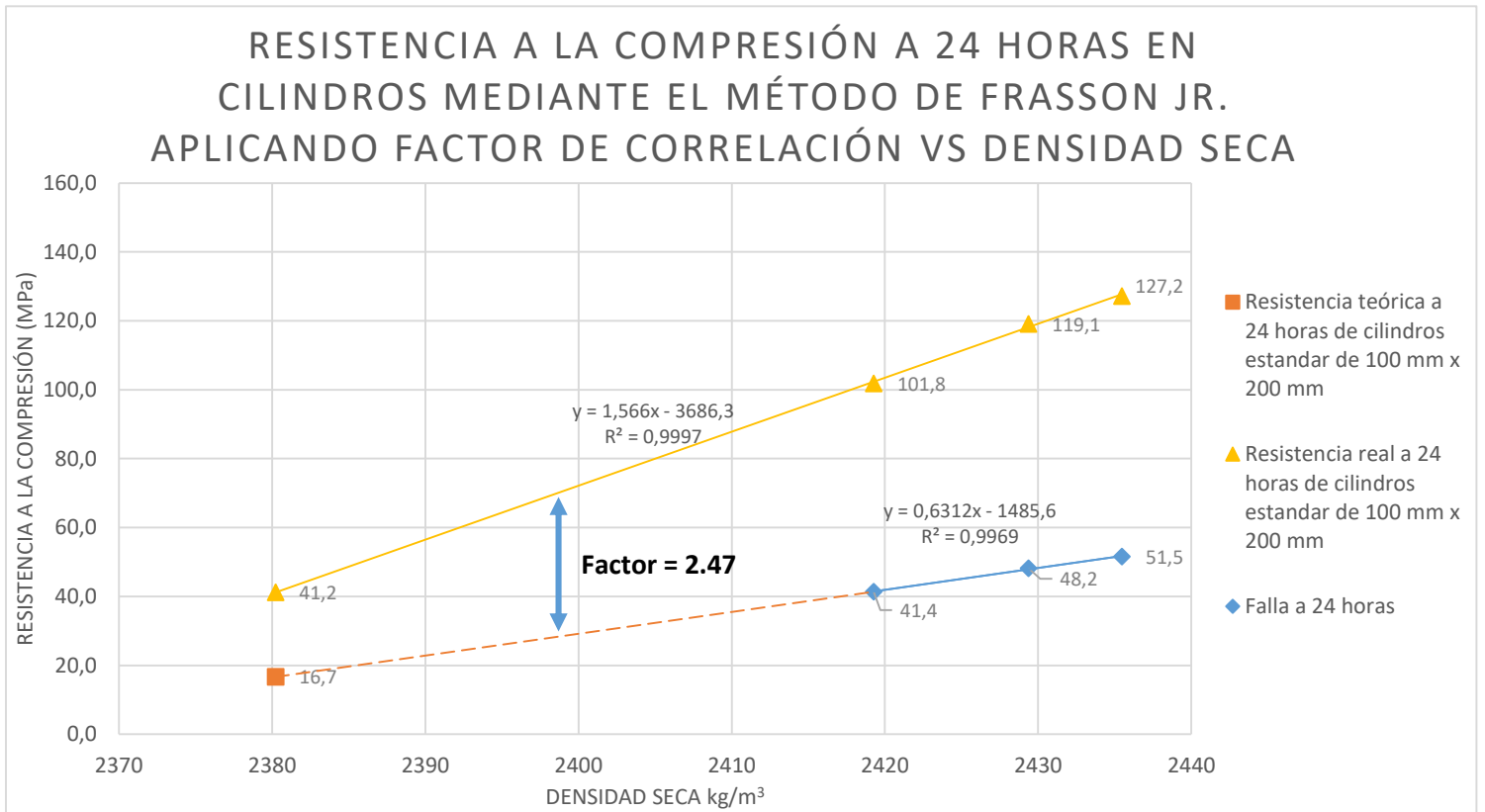


Ilustración 60 Gráfica de resistencia a la compresión a 24 horas vs densidad seca aplicando factor de correlación para la metodología de Frasson Jr.

Fuente: Propia, 2017

4.2.4 Análisis de los resultados obtenidos por la modificación de tiempo de vibrado en cilindros de 100 mm x 200 mm según metodología interna

Al realizar este ensayo, se logra observar mediante los resultados cómo el tiempo de vibrado al momento de realizar los especímenes es indispensable, pues esto genera mayores o menores resultados. Tal y como se explica en el procedimiento establecido se debe verificar el momento preciso para detener la vibración, para que el material fino de concreto no se pierda en gran cantidad.

Al realizar una breve auditoria al proceso de realización de los especímenes se logró observar que los encargados no siguen en algunas ocasiones el procedimiento interno establecido. Obteniendo los resultados mostrados en las Ilustraciones 54 y 55, se puede observar que el tiempo de vibrado interfiere en las resistencias de los especímenes, por lo que es indispensable que al momento de realizar los especímenes en la planta de producción se siga el procedimiento tal y como se establece para que los resultados se puedan reproducir y sean certeros.

Se debe recalcar que estos especímenes fueron curados en pilas de laboratorio ya que se tenían los resultados del ensayo de comparación de resistencia a la compresión según el tipo de cura para la época del año en que fue realizado el proyecto.

En la siguiente ilustración se puede observar las distintas resistencias a la compresión obtenidas para cada tiempo de vibración.

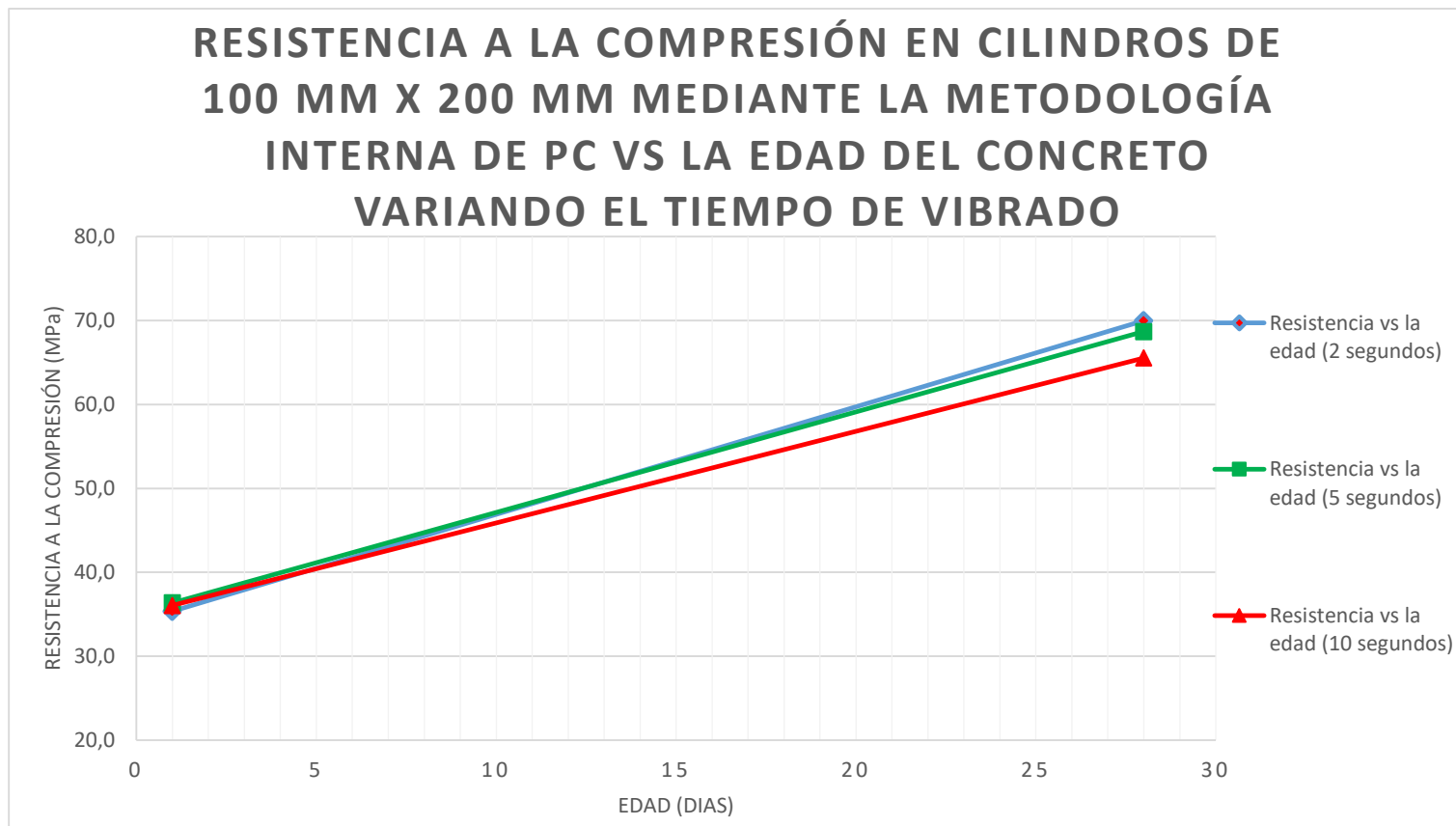


Ilustración 61 Gráfica de ganancia de resistencia a la compresión vs la edad del concreto para distintos tiempos de vibrado

Fuente: Propia, 2017

Como se logra apreciar en la gráfica anterior, para los tiempos de vibrado estudiados, la resistencia a la compresión a las 24 horas y a 28 días es similar en todos los ensayos, no tomando en cuenta los resultados distorsionados debido a la pérdida de material fino.

Se puede determinar que un tiempo óptimo de vibrado debe estar entre los 5 segundos y 10 segundos. Si este tiempo es menor se dificulta la compactación del concreto en la última capa y al momento de enrasar el borde del cilindro se dificulta por lo seco del concreto, mientras que un tiempo elevado de vibrado genera distorsión en los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la época lluviosa, la resistencia a la compresión en los especímenes de concreto según el tipo de cura en patio o en laboratorio no varía, esto pues reciben la suficiente cura para alcanzar la resistencia máxima.

En la zona de los bordes del elemento la densidad seca es levemente menor que en la zona central de la losa, lo cual genera mayor resistencia en dichas zonas, mientras que al momento de extraer los tornillos sin fin que generan la extrusión en la losa, la densidad seca decae levemente debido a que no se puede compactar correctamente estas zonas.

Es posible utilizar la metodología de Frasson Jr. Para este tipo de concreto seco de alto desempeño, sin embargo, se debe utilizar un método de cura adecuado para que los datos obtenidos no se modifiquen por factores externos como lo puede ser mayor cura en unos especímenes que otros, por otra parte, se debe realizar una calibración previa del método de cura según la época del año, así se obtienen valores más exactos y significativos según la época en la que se realice la investigación.

Para los núcleos extraídos de concreto mediante la metodología ASTM C42 no se requiere utilizar factores de correlación para calibrar esta metodología para determinar la resistencia a la compresión de nuevas construcciones mencionada en el ACI 214.4R con la metodología interna de Productos de Concreto para la realización de especímenes de concreto de 100 mm x 200 mm mediante mesa vibratoria.

Es necesario la utilización de factores de correlación para poder ser calibrado con la metodología interna de Productos de Concreto. Sin embargo, solo se logró determinar el factor para el ensayo 24 horas debido al bajo coeficiente de determinación para los ensayos a 7 y 28 días, el coeficiente para 24 horas es de 2.42

Para este tipo de concreto de alto desempeño no es necesario realizar el ensayo para determinar la cohesión ya que este tipo de elemento posee una gran cohesión y no necesita

ser movilizado hasta que el concreto tenga la resistencia requerida lo cual se da posterior a las primeras 24 horas.

El tiempo de vibrado no interfiere en los resultados de resistencia a la compresión y de densidad seca a tiempos cortos, por eso no se debe sobrepasar el tiempo de vibrado a más de 10 segundos ya que los resultados obtenidos son distorsionados por pérdida de material en la mezcla por exceso de vibrado, mientras que un tiempo corto genera dificultades para su elaboración, es por esto que se concluye que un tiempo óptimo de vibrado debe estar entre los 8 y 10 segundos dependiendo de qué tan seco se encuentre la mezcla al momento de ser realizado los especímenes.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar futuros trabajos realizando la investigación sobre la diferencia de resistencia a la compresión según el tipo de cura en época seca, calibrando primeramente la metodología de cura para que los valores obtenidos por el método de Frasson Jr. Puedan obtener un menor coeficiente de determinación en los resultados, logrando que las predicciones de los resultados sean estadísticamente más representativas.

Se invita a la empresa Productos de Concreto continuar la investigación, utilizando los factores de correlación para modificar el diseño de mezcla y observando su comportamiento realizando los cambios a una producción de prueba.

Se exhorta a la empresa realizar los cambios necesarios para la elaboración de especímenes según la normativa INTE actual, además de realizar auditorías a este proceso, pues se encontró discordancias al momento de realizar los especímenes por distintos personeros de la planta de producción.

Se recomienda a la Universidad Latina de Costa Rica continuar la promoción de proyectos de investigación, ya que es una forma de apoyo para el sector, donde se generan trabajos de investigación relevantes para área ingenieril actual.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

ACI committee 214. (2003). *ACI Standards and Technical Documents on ACI 214*.

ANIPPAC. (S.F). *Losa Extruida*. Recuperado el 21 de febrero de 2017, desde:
<http://www.anippac.org.mx/demos/LOSA%20EXTRUIDA.pdf>

Artemio, A. (2000). Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural (Tesis de maestría). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

ASTM. (2017). *ASTM INTERNATIONAL Building and Construction Standards*. Recuperado el 22 de octubre de 2017, de ASTM INTERNATIONAL: <https://www.astm.org/>

Elematic.com (S.F). Extruder E9-1200e. Recuperado el 16 de julio de 2017, desde:
<http://www.elematic.com/en/solutions-and-machinery/renewing-existing-production/extruders/extruder-e9-1200e/>

Frasson Jr., A., Casali, J. M., Oliveira, A. L. & Prudêncio Jr., L. R. *A Mix Design Methodology For Concrete Block Units*. 15th International Brick and Block Masonry Conference. Universidade Federal de São Carlos2.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación, (quinta edición). México, D.F.: McGraw-Hill.

Hincapié, A. Valencia, J. Resistencia al hormigón: núcleos vs. Cilindros. *Revista Universidad EAFIT*. Vol. 39, (No. 131, pp. 87-95, 2003)

Incera. A (2017). *Comparación de los sistemas de curado de bloques de concreto y adaptación del método de diseño de Frasson Jr. para mezclas secas (Tesis de grado)*. Universidad Latina de Costa Rica, Heredia, Costa Rica

INTECO. (2015). *INTECO Catálogo de normas*. Recuperado el 22 de febrero de 2017, desde INTECO: <http://www.inteco.or.cr/>

Productos de Concreto. (2017). Manual técnico PC – Entrepisos. Recuperado el 25 de febrero de 2017, desde: www.productosdeconcretocr.com

ANEXOS

Anexo 1 Manual técnico de losa alveolar pretensada PC

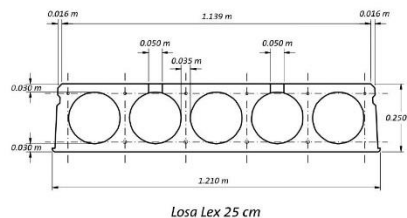
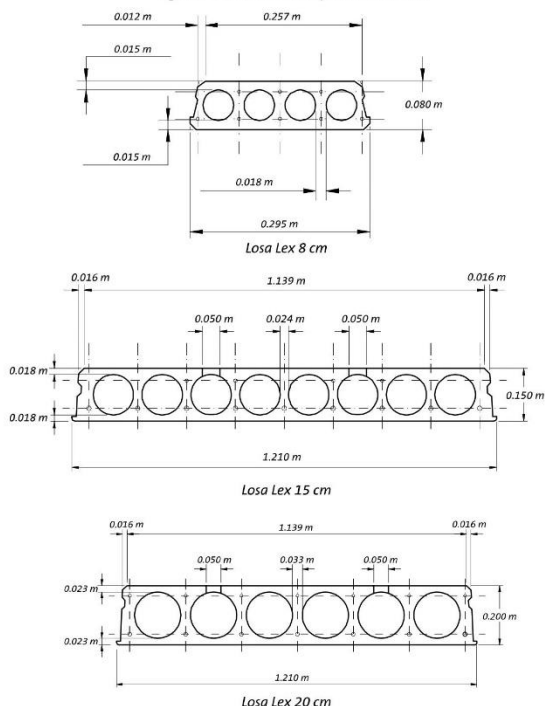
Ventajas adicionales de utilizar entrapiso de viguetas PC

- Mayor separación entre viguetas (70 cm) en comparación a otros sistemas.
- Reducción del volumen de concreto (m^3/m^2) en obra.
- Menor peso total por metro cuadrado.
- Bloques más livianos, lo que disminuye la utilización de mano de obra.
- No requiere de equipo pesado para la instalación.
- Buen aislamiento acústico y térmico.
- Los bloques se pueden repellar.
- Resistente al fuego, aísla vapores gracias a los vacíos de los bloques de concreto.
- No es consumido por los insectos y no sufre de corrosión.
- Flexibilidad en el diseño modular y mecánico.
- No requiere mantenimiento.

Sistema Losa Lex

Este sistema de entrapiso consiste en paneles con secciones huecas, en módulos de 1.22 m de ancho. Los paneles tienen espesores de 8, 15, 20 y 25 cm, los cuales se pueden utilizar para claros entre vigas de hasta 13.80 m. Losa Lex es versátil y económica y le permite el desarrollo de numerosos tipos de proyectos. La Losa Lex es una solución segura y avanzada en proyectos con elevados requisitos arquitectónicos e ingenieriles.

Fig. 8.4 Detalle de los tipos de Losa Lex

**Ventajas adicionales de utilizar entrapiso Losa Lex PC**

- Funcionalidad arquitectónica.
- Los entrapisos construidos a partir de elementos de Losa Lex, permiten acabados planos por debajo y optimización del espacio.
- Mayor facilidad en la instalación eléctrica y mecánica, ya que los orificios de la losa Lex forman una ruta conveniente para colocar la tubería eléctrica y mecánica. Esta es una manera económica de eliminar instalaciones en la superficie.
- En numerosos edificios es posible utilizar los orificios de la Losa Lex como ventilación y ductos para el aire acondicionado. Esto ofrece un ambiente agradable, atractiva apariencia y bajos costos de construcción.
- Fácil instalación en construcción donde se utilicen grúas.
- Construcción en el menor tiempo posible y al mejor costo.
- Versátil y flexible puede usarse con cualquier sistema constructivo.
- Rapidez de construcción en cualquier condición climática.
- Facilidades para la instalación de acabados en cielos y pisos.
- Confort para los usuarios por su aislamiento acústico y térmico.
- Rápida entrega en obra.
- No requiere mantenimiento.
- Seguridad por su alta calidad, resistencia estructural y resistencia al fuego.

Sistema doble te y canaleta

Este sistema de entrapiso consiste en losas nervadas en una dirección, específicamente en el sentido paralelo a la colocación del entrapiso. El peralte de las losas varía desde 15 cm hasta 50.5 cm y el ancho puede variar, según la modulación del entrapiso desde 1.06 m hasta 1.83 m.

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 14 de septiembre, de 2017

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título **CALIBRACIÓN DE TRES MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO SECO DE ALTO DESEMPEÑO** por parte del estudiante: Sergio Emmanuel Jiménez Jiménez, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Andrés Reyes Bonilla M. Sc



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 14 de septiembre, de 2017

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título **CALIBRACIÓN DE TRES MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO SECO DE ALTO DESEMPEÑO** por parte del estudiante: Sergio Emmanuel Jiménez Jiménez, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Minor Murillo Chacón

CARTA DE APROBACIÓN FILOLÓGICA

Palmares, 21 de setiembre del 2017

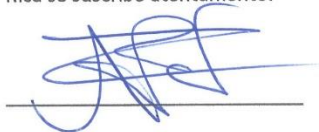
Sr.
Ing. Domingo Delgado Martínez
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Latina de Costa Rica

Respetado señor:

Yo, Adriana Rojas Villalobos, casada, residente Palmares de Alajuela, portador de la cédula de identidad (2-601-617), incorporado al Colegio de Licenciados y Profesores, con el número de carné 52739, hago constar:

- Que he revisado el trabajo final de graduación para optar por el grado académico de Licenciatura titulado: "CALIBRACIÓN DE TRES MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO SECO DE ALTO DESEMPEÑO".
- Que el trabajo final de graduación es sustentado por el estudiante Sergio Jiménez Jiménez.
- Que se les ha hecho las correcciones pertinentes en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical y otras áreas del campo filológico.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Latina de Costa Rica se suscribe atentamente:



Carné No. 52739



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*

“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Jiménez Jiménez, Sergio Emmanuel

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) *(Indique tipo de trabajo):* Tesis de grado

titulado:

**CALIBRACIÓN DE TRES MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN
MEZCLAS DE CONCRETO SECO DE ALTO DESEMPEÑO**

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día *(Día, fecha)* **jueves, 14** del mes **09** del año **2017** a las **6:00 pm**. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjurio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores *Según orden de mención al inicio de ésta carta:*