



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“EFECTO DEL ADITIVO ACELERANTE EN EL
CONCRETO CON AGREGADO CALIZO EN
CLIMA CÁLIDO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

I.C. DIEGO RAFAEL HAY ALAMILLA

**EN OPCIÓN AL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
OPCIÓN CONSTRUCCIÓN**

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

2018

Aunque este trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiere sido aprobado por el Sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a importantes instituciones, por la ayuda indispensable brindada en la elaboración de este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), por permitirme cursar en sus instalaciones la Maestría en Ingeniería en la opción Construcción, obteniendo gracias a sus excelentes profesores habilidades y conocimientos necesarios para el ámbito profesional,

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado una beca completa para cursar la maestría.

RESUMEN

Esta investigación se centra en el estudio del aditivo acelerante aplicado en el concreto fabricado en el Estado de Yucatán, en la búsqueda de mejorar las propiedades de este concreto tanto en su estado fresco como en el endurecido. Por ello se plantea como objetivo general, evaluar los efectos en el fraguado y la resistencia de dos tipos de aditivo acelerante en el concreto fabricado con agregado calizo y con condiciones de clima cálido subhúmedo.

Los aditivos son materiales que se adicionan en el concreto y que modifican una o varias propiedades de este. En la actualidad los dos aditivos acelerantes más usados es el aditivo acelerante libre de cloruros (SCL) y el aditivo acelerante con cloruros (CL). El marco teórico de esta investigación se enfoca en mostrar la información que se tienen actualmente de estos dos tipos de aditivos acelerantes, sus ventajas, desventajas y las investigaciones más recientes que se han hecho a estos aditivos.

Para lograr el objetivo, la metodología aplicada fue de tipo experimental y consistió en la medición directa en el laboratorio de las propiedades físicas del concreto fresco (revenimiento, contenido de aire, peso volumétrico y tiempo de fraguado inicial y final) y endurecido (resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días) tanto en muestras de concreto sin aditivo, como con aditivo acelerante SCL y CL, para dos relaciones agua/cemento (0.5 y 0.7).

Lo anterior permitió evaluar la efectividad de ambos aditivos acelerantes en las propiedades del concreto antes mencionadas. Así como también se demostró cuáles son las dosificaciones efectivas para ambos aditivos.

ABSTRACT

This research focuses on the study of the accelerating additive applied in the concrete manufactured in the State of Yucatan, in the search to improve the properties of this concrete in its fresh and hardened state. Therefore, it is proposed as a general objective to evaluate the effects on the setting and the resistance of two types of accelerating additive in concrete manufactured with limestone aggregate and with subhumid warm climate conditions.

Additives are materials that are added to concrete and that modify one or several properties of it. At present, the two most used accelerating additives are the chlorine-free accelerating additive (SCL) and the chlorine-accelerating additive (CL). The theoretical framework of this research focuses on showing the information that we currently have of these two types of accelerating additives, their advantages, disadvantages and the most recent investigations that have been made to these additives.

To achieve the objective, the methodology applied was experimental and consisted in the direct measurement in the laboratory of the physical properties of fresh concrete (slump, air content, volumetric weight and time of initial and final setting) and hardened (resistance to compression at 3, 7 and 28 days) both in concrete samples without additive, and with SCL and CL accelerator additive, for two water / cement ratios (0.5 and 0.7).

This allowed to evaluate the effectiveness of both accelerating additives in the aforementioned concrete properties. As well as what are the effective dosages for both additives.

ÍNDICE GENERAL

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	6
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 EL CONCRETO	8
2.1.1 CLASES DE CONCRETO	10
2.1.2 HISTORIA DE LOS ADITIVOS EN EL CONCRETO	10
2.1.3 IMPORTANCIA DE LOS ADITIVOS EN EL CONCRETO	12
2.2 ADITIVOS ACELERANTES	14
2.3 CONDICIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN	18
2.3.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.....	18
2.3.2 AGREGADOS PÉTREOS.....	19
2.4. INVESTIGACIONES EN LA REGIÓN	20
2.5 INVESTIGACIONES DE ACELERANTES EN LA ACTUALIDAD	21
3. METODOLOGÍA	24
3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA	24
3.1.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.1.2 SELECCIÓN DE LA MUESTRA	28
3.2 MÉTODOS UTILIZADOS	29

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	29
3.2.2 DISEÑO DE LAS MEZCLAS.....	31
3.2.3 FABRICACIÓN DEL CONCRETO	32
3.2.4 MOLDEO DE LAS PROBETAS	33
3.2.5 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO	35
3.2.6 PROCEDIMIENTOS DE CURADO	36
3.2.7 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	37
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
4. RESULTADOS	40
4.1 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	40
4.2 CONCRETO FRESCO	42
4.2.1 CONDICIONES CLIMATICAS DE LOS COLADOS	42
4.2.2 REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y PESO VOLUMETRICO	43
4.2.3 TIEMPOS DE FRAGUADO	44
4.2.3 a) TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	44
4.2.3 b) TIEMPO DE FRAGUADO FINAL.....	46
4.2.3 c) COMPARACION ENTRE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL.....	47
4.2.3 d) ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	48
4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	51
4.3.1 RELACION A/C DE 0.5.....	51
4.3.2 RELACION A/C DE 0.7.....	53
4.3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	54
4.3.4 EFECTO DEL CURADO.....	57
4.3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	60

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	63
5.1 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	63
5.2 CONCRETO FRESCO	65
5.2.1 CONDICIONES CLIMATICAS	65
5.2.2 REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y PESO VOLUMÉTRICO.....	67
5.2.3 TIEMPOS DE FRAGUADO.....	70
5.2.3 a)TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	70
5.2.3 b)TIEMPO DE FRAGUADO FINAL.....	72
5.3 RESITENCIA A LA COMPRESIÓN.....	74
5.3.1 RELACIÓN A/C DE 0.5.....	74
5.3.2 RELACIÓN A/C DE 0.7.....	76
5.3.3 MODELO DE RESISTENCIA A EDADES TEMPRANAS	77
5.3.4 EFECTO DEL CURADO	79
5.4 REVISIÓN DE LA CANTIDAD DE CLORUROS.....	81
5.5 COMPARATIVA ECONOMICA	83
CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	100
APÉNDICE.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de fabricación, curado y prueba a la resistencia de las probetas.	28
Tabla 2. Resumen de las características que definen la muestra para pruebas a compresión.....	29
Tabla 3. Características de los lotes de concretos fabricados.....	33
Tabla 4. Variables y factores utilizados en ANOVA.....	39
Tabla 5. Propiedades físicas de los agregados seleccionados	40
Tabla 6. Granulometría de la grava.....	41
Tabla 7. Granulometría de la arena.....	41
Tabla 8. Temperatura y humedad relativa durante el colado del concreto de A/C 0.5.	42
Tabla 9. Temperatura y humedad relativa durante el colado del concreto de A/C 0.7.	43
Tabla 10. Revenimientos, contenido de aire y pesos volumétricos de los concretos de A/C 0.5.	43
Tabla 11. Revenimientos, contenido de aire y pesos volumétricos de los concretos de A/C 0.7.	44
Tabla 12. Tiempos de fraguado inicial para el concreto con A/C de 0.5.	44
Tabla 13. Tiempos de fraguado inicial para el concreto con A/C de 0.7.	45
Tabla 14. Tiempos de fraguado final para el concreto con A/C de 0.5.....	46
Tabla 15. Tiempos de fraguado final para el concreto con A/C de 0.7.....	46
Tabla 16. Medias y desviaciones estándar de tiempo de fraguado inicial y final agrupado por tipo de aditivo.....	48

Tabla 17. ANOVA para diferencia de medias entre los dos tipos de acelerantes estudiados para los tiempos de fraguado.....	49
Tabla 18. Medias y desviaciones estándar del tiempo de fraguado inicial y final agrupado por dosis de aditivo.	50
Tabla 19. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre las proporciones de aditivo estudiadas.....	50
Tabla 20. Resistencia (kg/cm ²) para la A/C de 0.5 en edades tempranas con curado húmedo.	51
Tabla 21. Resistencia (kg/cm ²) para la A/C de 0.5 en la edad de 28 días con curado húmedo.	52
Tabla 22. Resistencia (kg/cm ²) para la A/C de 0.7 en las edades tempranas con curado húmedo.	53
Tabla 23. Resistencia (kg/cm ²) para la A/C de 0.7 en la edad de 28 días con curado húmedo.	53
Tabla 24. Medias y desviaciones estándar de la resistencia en edades de prueba agrupado por tipo de aditivo.....	55
Tabla 25. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre los tipos de aditivo estudiados.....	55
Tabla 26. Medias y desviaciones estándar de la resistencia en edades de prueba agrupado por dosis de aditivo.	56
Tabla 27. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre las dosis de aditivo estudiadas.....	57
Tabla 28. Resistencia (kg/cm ²) para la A/C de 0.5 a los 3 y 7 días (kg/cm ²) con dos tratamientos de curado.....	58

Tabla 29. Resistencia (kg/cm^2) para la A/C de 0.5 a los 28 días (kg/cm^2) con dos tratamientos de curado.....	58
Tabla 30. Resistencia (kg/cm^2) para la A/C de 0.7 a los 3 y 7 días (kg/cm^2) con dos tratamientos de curado.....	59
Tabla 31. Resistencia (kg/cm^2) para la A/C de 0.7 a los 28 días (kg/cm^2) con dos tratamientos de curado.....	59
Tabla 32. Medias y desviaciones estándar de la resistencia a 28 días agrupado por tipo de curado.....	61
Tabla 33. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre los dos tratamientos de curado estudiados.....	61
Tabla 34. Medias y desviaciones estándar de la resistencia a 28 días agrupado por tipo de curado.....	62
Tabla 35. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre los dos tratamientos de curado estudiados.....	62
Tabla 36. Tiempos en los cuales se pueden dar el descimbrado (14 días) y puesta en servicio (28 días) para las diferentes dosificaciones de los aditivos estudiados para A/C de 0.5.....	75
Tabla 37. Tiempos en los cuales se pueden dar el descimbrado (14 días) y puesta en servicio (28 días) para las diferentes dosificaciones de los aditivos estudiados para A/C de 0.7.....	77
Tabla 38. Resistencias a compresión obtenidas con los dos tratamientos de curado para A/C de 0.5.....	80
Tabla 39. Resistencias a compresión obtenidas con los dos tratamientos de curado para A/C de 0.7.....	81
Tabla 40. Cloruros introducidos a las mezclas por el aditivo CL y el agua.....	82

Tabla 41. Análisis de materiales y costo de cimbra para un tablero de losa.	84
Tabla 42. Análisis de materiales y costo de cimbra para una trabe.	85
Tabla 43. Análisis de materiales y costo de cimbra para un cerramiento.....	85
Tabla 44. Calculo de precio unitario de cimbra de losa.....	86
Tabla 45. Calculo de precio unitario de cimbra de trabe.	86
Tabla 46. Calculo de precio unitario de cimbra de cerramiento.....	86
Tabla 47. Análisis de costo del Caso 1.	87
Tabla 48. Análisis de costo del Caso 2.	88
Tabla 49. Análisis de costo del Caso 3.	89
Tabla 50. Comparación de costos de los tres casos.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tiempos de fraguado inicial para los concretos con las diferentes dosis de aditivo en términos absolutos.	45
Figura 2. Tiempos de fraguado final para los concretos con las diferentes dosis de aditivo en términos absolutos.	47
Figura 3. Fraguado inicial y final para las dos A/C con los dos aditivos y las cuatro dosis.	48
Figura 4. Ganancia de resistencia en porcentajes para edades de 3, 7 y 28 días, para diferentes dosis y tipo de aditivo con curado húmedo en concreto de A/C de 0.5. ...	52
Figura 5. Ganancia de resistencia a la compresión para edades de 3, 7 y 28 días, para diferentes dosis y tipo de aditivo con curado húmedo en concreto de A/C de 0.7.	54
Figura 6. Comparación de las resistencias obtenidas por los dos tratamientos de curados para los aditivos y concretos estudiados.	60
Figura 7. Comparación de valores obtenidos para la absorción de la grava.	64
Figura 8. Comparación de los valores del módulo de finura y sus límites.	65
Figura 9. Temperatura inicial y final registrada en todos los colados.	67
Figura 10. Revenimiento vs dosis de aditivo para las dos A/C estudiadas.	68
Figura 11. Comparación de pesos volumétricos registrados en este estudio y estudios previos para la relación A/C de 0.5.	69
Figura 12. Comparación de pesos volumétricos registrados en este estudio y estudios previos para la relación A/C de 0.7.	70
Figura 13. Tiempo de fraguado inicial vs dosis para las dos relaciones A/C estudiadas.	71

Figura 14. Tiempo de fraguado final vs dosis para las dos relaciones A/C estudiadas.	73
Figura 15. Resistencia a la compresión vs edad para la A/C de 0.5 con aditivo SCL.	78
Figura 16. Resistencia a la compresión vs edad para la A/C de 0.7 con aditivo SCL.	79

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades físicas de los agregados.....	101
Anexo 2. Ayudas para el diseño de mezclas.....	102
Anexo 3. Fichas técnicas de los aditivos utilizados.	103
Anexo 4. Módulo de resistencias a edades tempranas, Sánchez (2017).	104
Anexo 5. Análisis de cloruros en el aditivo CL (Sikaset L).	105
Anexo 6. Principales características del agua subterránea de Mérida.	106
Anexo 7. Reporte fotográfico de los daños detectados a edificaciones en las zonas costeras del Estado de Yucatán.....	107

APÉNDICES

Apéndice 1. Resultados de las pruebas preliminares a dos bancos de agregados.	109
Apéndice 2. Diseño de las mezclas.....	110
Apéndice 3. Caracterización de los agregados.	114
Apéndice 4. Cálculo de tiempo de fraguado.....	121
Apéndice 5. Prueba de resistencia a la compresión.....	135
Apéndice 6. Ganancia de resistencia (kg/cm ² por día) de los concretos según el tipo de acelerante y dosis.	142
Apéndice 7. Reporte fotográfico del trabajo de laboratorio.	143
Apéndice 8. Croquis de la estructura considerada en el análisis económico.	148
Apéndice 9. Análisis del precio unitario de la mano de obra por m ² de cimbra de contacto de para la losa de vigueta y bovedilla incluyendo habilitado, cimbrado y descimbrado.....	149
Apéndice 10. Descomposición del análisis del precio unitario de la mano de obra por m ² de cimbra de contacto de la losa de vigueta y bovedilla en 3 partes.	150
Apéndice 11. Análisis del precio unitario de la mano de obra por m ² de cimbra de contacto de la trabe.....	151
Apéndice 12. Descomposición del análisis del precio unitario de la mano de obra por m ² de cimbra de contacto de la trabe en 3 partes.	152
Apéndice 13. Análisis del precio unitario de la mano de obra por m ² de cimbra de contacto del cerramiento.	153
Apéndice 14. Descomposición del análisis del precio unitario de la mano de obra por m ² de cimbra de contacto del cerramiento en 3 partes.	154

Apéndice 15. Calculo de cantidad de concreto en m³ y litros de acelerante para el análisis económico..... 155

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por razones tanto económicas como técnicas el concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo. Se puede fabricar tanto en plantas altamente automatizadas, en entornos industrializados, como en los propios sitios de las construcciones de manera artesanal¹.

Por muchos años los componentes del concreto han sido los básicos: cemento agua, grava y arena; en el último tercio del siglo XX se buscó mejorar las diversas propiedades que hacen del concreto un material único, sin que perdiera en resistencia y facilidad de manejo². El desarrollo de las tecnologías del concreto se ha basado principalmente en la necesidad de mejorar el desempeño del material y de optimizar los procesos de producción, manejo, colocación y curado³.

En la actualidad la tendencia de la construcción es el desarrollo de la industria de manera sustentable, abarcando aspectos económicos, técnicos y ambientales. Como parte de este ideal, se han buscado substitutos para remplazar la mayor cantidad posible del cemento Portland en el concreto, ya que en su producción se consume gran cantidad de recursos y energéticos; y también, se ha buscado utilizar compuestos químicos que mejoren las propiedades de este material⁴.

¹ R. Solís & E. Moreno (2011), "Concreto con agregados calizos en clima cálido", México, Editorial académica española, pp. 86.

² R. Solís , E. Moreno & N. Chuc (2011), "Evaluación del concreto con reductor de agua en clima cálido", Jour, Journal of tropical engineering 16, No. 2, pp. 126-129.

³ N. Spiratos & C. Jolicoeur (2000), "Trends in concrete chemical admixtures in concrete", Sixth CANMET/ACI International conference on superplastizers and other chemical admixtures in concrete, 2.

⁴ W. Plenge (2001), "Introducing vision 2030: Our industry's 30-year map to the future", Jour, Concrete international 23, No. 3, pp. 25-34.

Hoy en día el sector de la construcción enfrenta grandes retos, ya que su orientación a la satisfacción del cliente ha impactado directamente a esta industria, y sólo las empresas que puedan ofrecer productos y servicios de calidad y que cumplan con los parámetros de tiempo y costo pueden sobrevivir en los mercados competitivos de la actualidad. Esto es particularmente importante en las obras de edificación, especialmente las de concreto, debido al gran número de empresas que compiten por este mercado.

Las investigaciones en México enfocadas a establecer los niveles de satisfacción de los clientes revelan que un factor determinante es el tiempo de entrega del proyecto, más que el costo del mismo. También revelan que la única manera de poder lograr el objetivo de entregar la obra en el plazo pactado son mediante disminución de las duraciones de algunas de las actividades del programa de obra⁵.

Los constructores permanentemente se ven enfrentados al reto de mejorar sus procesos con el fin de lograr un balance entre las variables tiempo y costo. Las actividades que pueden resultar más fácil de intervenir para poder lograr este balance son las que constituyen únicamente tiempos de espera. En este sentido, el tiempo de espera para el fraguado y la obtención de la resistencia temprana del concreto tiene un papel fundamental, ya que dependiendo de su resistencia de diseño se tendrá que disponer de un lapso variable para que este material obtenga las propiedades mecánicas necesarias⁶.

⁵ D. Delgado, L. Romero (2013), "Satisfacción de las necesidades del cliente en el sector vivienda", Ingeniería, Investigación y Tecnología, Volumen 14, pp. 499-509.

⁶ A. Gómez (2010), "Simulación de procesos constructivos", Jour, Revista ingeniería de construcción, pp. 74-79.

Con el fin de hacer un uso continuo de la cimbra⁷, por décadas se buscó la forma con la cual el concreto pudiera obtener suficiente resistencia a edades tempranas, así como tiempos de fraguada más cortos. Hoy en día el aditivo acelerante se ha vuelto una solución recurrente cuando se requiere disminuir esos tiempos de espera; su uso permite agilizar los trabajos posteriores de descimbrado y poner en servicio los elementos estructurales en tan solo en pocos días o incluso horas, posterior a su fabricación.⁸

En general, un aditivo se puede definir como un compuesto que se agrega al concreto con el propósito de modificar una o varias de sus propiedades, como son: su trabajabilidad, su resistencia mecánica, su fluidez, su contenido de aire, etc.⁹ En forma particular, los aditivos acelerantes tienen un agente activador en la hidratación del cemento, que potencia el desarrollo de su resistencia, permitiendo agilizar el descimbrado de la estructura y continuar con los trabajos subsecuentes¹⁰.

Los efectos del aditivo acelerante en las mezclas de concreto varían según diversos factores, especialmente climáticos. El autor de este trabajo, no encontró que se hayan documentado estudios de los efectos de los aditivos acelerantes utilizando los agregados absorbentes y las condiciones climatológicas que prevalecen en la Península de Yucatán; por lo que el uso de estos compuestos en la región carece del suficiente respaldo técnico.

⁷ T.Tischer & J. Kuprenas (2003), "Bridge falsework productivity—measurement and influences", Jour, Journal of construction engineering and management 129, No. 3, pp. 243-50.

⁸ A. Bach & J. Bach (2015), "Etudio del nivel de efectividad de los aditivos acelerantes de fraguado marca sika 3 y chema 5 en concretos aplicables a zonas de alto andinas de región Lambayeque", Revista universidad señor de Sipán, pp. 34-45.

⁹ R. Solís, E. Moreno & N. Chuc (2011), Op. Cit, pp. 126-129.

¹⁰ P. Hae-Geun et al. (2017), "Influence of a C12A7 mineral-based accelerator on the strength and durability of shotcrete", Cement and concrete research 38, No. 3, pp. 379-385.

La cimbra es un conjunto de obra falsa y moldes temporales que sirven para soportar y moldear los elementos de concreto. El molde es la parte de la cimbra que sirve para confinar y dar forma el concreto fresco de acuerdo a las alineamientos y niveles especificados en el proyecto. Las estructuras deben permanecer cimbradas el tiempo necesario hasta que el concreto alcance la resistencia suficiente para soportar su peso propio y las cargas de construcción. Este proceso genera un costo y es por eso que siempre se ha buscado la manera de acortar los tiempos de espera del fraguado del concreto¹¹.

Se ha reportado que la cimbra puede representar entre un 35 % y 60 % del costo de la estructura de concreto¹². Por ello, es importante que los trabajos de cimbrado sean cuidadosamente considerados en el plan de ejecución de la obra, cuidando rigurosamente cuanta madera se debe utilizar y por qué periodo de tiempo, para no tenerla en exceso y tampoco en el tiempo en el que ya que no se necesita. Una eficiente utilización de estos materiales en las etapas de cimbrado y descimbrado de los elementos de concreto, frecuentemente generan mejoras en los programas de obra, así como reducciones sustanciales en el costo de esta etapa y por consiguiente en el costo total de la obra¹³.

En la Península de Yucatán, el material más utilizado para las cimbras es la madera de pino, la cual proviene de bosques de clima templado que se encuentran fuera de esta región, esto ocasiona costos elevados de la madera debido a su almacenamiento, manejo y transporte. Otro factor que hace costosa a

¹¹ J. Gabaldón (2016), "Estudio comparativo entre cimbras autolanzables con estructura portante por debajo del tablero o estructura portante por encima del tablero", Jour, pp. 87-93.

¹² M. Hurd (1985), "Formwork safety goes beyond and standards," Concrte international 7, No. 4, pp. 24-27.

¹³ M. Cifuentes & R. Zahit (2011), "El uso de la cimbra en la construcción," Doctoral dissertation, pp. 64-63.

la cimbra es su vulnerabilidad al intemperismo y a las maniobras, a veces descuidadas, a las que se ve sujeta en la obra¹⁴.

A consecuencia de estos costos elevados de la cimbra en la región, generalmente se plantea la adquisición de un número reducido de lotes de maderas y programar su reuso; es aquí donde el uso de los acelerantes compra relevancia. En general la vida útil de la madera de cimbra es de aproximadamente de 10 usos, y en particular a la cimbra de contacto se le estima un máximo 5 usos. Para poder hacer el reuso correctamente es necesario que el concreto ya haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar las cargas iniciales. Una mala decisión en el tiempo de descimbrado, es decir retirar los puntales antes de tiempo, podría ocasionar consecuencias graves. Por esto es necesario disminuir el nivel de incertidumbre sobre la efectividad de los aditivos¹⁵.

Actualmente los constructores de la región que usan aditivos acelerantes en sus concretos siguen las recomendaciones que dan los fabricantes de las diversas marcas. Pero estas recomendaciones están basadas en resultados de pruebas que pudieran haber sido realizadas en un contexto diferente al de la Península de Yucatán, principalmente en cuanto al tipo de cemento, el clima y las propiedades de los agregados.

Las recomendaciones dadas por los fabricantes de acelerantes reconocen que las condiciones de uso pueden variar en cada aplicación del aditivo acelerante; y es por eso que siempre sugieren al usuario hacer pruebas del producto para conocer la dosis necesaria para obtener los efectos deseados.

¹⁴ N. Zaragoza Grifé, R. Solís & J. Pech (2003), "Desarrollo de un programa visual para el diseño y la presupuestación de cimbras de madera", Red Ingeniería revista académica, No.7, pp. 36-39.

¹⁵ M. Fuentes, J. García & J. Hernández (2006), "Factores que afectan el mercado de madera aserrada de pino en México", Jour, Madera y bosques 12, No. 2, pp. 17-28.

Algunos estudios han encontrado que la dosificación de los acelerantes depende de la relación entre el agua y el cemento (A/C) y entre los agregados que componen la mezcla de concreto¹⁶. Se ha demostrado que el uso excesivo de los aditivos puede poner en riesgo la resistencia final esperada del concreto; mientras que un porcentaje insuficiente podría traer como consecuencia una baja efectividad. Lo anterior pone en relevancia la importancia de estudiar las dosificaciones de los aditivos por medio de pruebas en laboratorio antes de su uso en obra a nivel masivo¹⁷.

Con todo anterior se ha destacado la importancia de hacer un estudio de aditivos acelerantes en el contexto de la Península de Yucatán, buscando encontrar los porcentajes adecuados que permitan emitir recomendaciones para su uso.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos en el fraguado y la resistencia a la compresión de dos tipos de acelerantes, en el concreto fabricado con agregado calizo en condiciones de clima cálido subhúmedo.

1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el efecto de un acelerante sin cloruro y un acelerante con cloruro con diferentes dosis, en las propiedades del concreto fresco.

¹⁶ C. Maltese et al. (2008), "Effects of setting regulators on the efficiency of an inorganic acid based alkali-free accelerator reacting with a Portland cement," *Cement and concrete research* 37, No. 4 pp. 528-536.

¹⁷ A. Lascorz, L. Agulló & T.García, (2011), "Estudio relativo a la incorporación de aditivos químicos de última generación en el hormigón proyectado por vía húmeda", *Proyecto de tesina de especialidad*, pp. 28-33.

- Evaluar el efecto de un acelerante sin cloruro y un acelerante con cloruro con diferentes dosis, en la resistencia del concreto a edades tempranas, con dos tipos de curado.

2. MARCO TEÓRICO

La presente revisión de la literatura tiene como fin principal revisar el estado actual del conocimiento sobre el uso de aditivos acelerantes en el concreto, así como reconocer de qué manera pueden influir las diferentes variables del contexto sobre las propiedades del concreto.

Se inicia abordando temas sobre la tecnología del concreto y su importancia en la construcción; posteriormente se definen los aditivos acelerantes y se explica su comportamiento en el concreto, sus usos y beneficios. Finalmente se describen las propiedades de los agregados utilizados en el estudio, así como el clima predominante en la región.

2.1 EL CONCRETO

El concreto es un insumo muy importante para el desarrollo y crecimiento de los países, ya que el sector de la construcción es uno de los que más aporta al producto interno bruto. Es un material de construcción económico y se caracteriza por su durabilidad. Alrededor de este material se mueve un gran capital en el ámbito mundial, por lo que su consumo es uno de los principales indicadores del desarrollo de un país¹⁸.

La característica más relevante en la evaluación de la calidad del concreto es su resistencia a la compresión. Por lo tanto es trascendental conocer como varía ésta con relación a sus componentes, en especial con respecto al tipo de cemento utilizado¹⁹.

¹⁸ Y. Montoya, A. Cadavid & M. Gómez (2009), "Comportamiento mecánico y de fraguado de morteros de cemento pórtland gris tipo III con aditivos", Revista EIA 11, pp. 39-49.

¹⁹ C. Maltese et al. (2008), Op. Cit, pp. 528-536.

El desarrollo de tecnologías del concreto se ha debido principalmente a la necesidad de mejorar su desempeño y de optimizar su producción, manejo, colocación y operaciones de curado²⁰. A menudo, en lugar de utilizar uno o varios cementos especiales, es posible cambiar algunas de las propiedades del concreto, utilizando un aditivo adecuado o una mezcla de éstos²¹.

La producción moderna de concreto reforzado está estrechamente relacionada con el uso de diferentes tipos de aditivos químicos, que en pequeñas dosis permiten obtener las propiedades requeridas para el concreto de acuerdo a sus condiciones de exposición. El efecto químico de un aditivo en la formación de la microestructura de la pasta de cemento está estrechamente conectado con la teoría de la hidratación²²; sin embargo algunas variables que no se controlan durante el uso de aditivos en el concreto, como puede ser el clima, afectan las reacciones y presentan discordancias en los efectos que se han publicado en la literatura especializada.

La teoría de la hidratación establece que los componentes iniciales del cemento al combinarse con agua tienen una reacción química que trae como consecuencia nuevos compuestos que son los que se encargan de darle las características al concreto fresco y después al endurecido. La hidratación está compuesta por cuatro fases, y debido a la velocidad de hidratación de los componentes del cemento se produce un aumento de la temperatura. La hidratación del cemento así como la obtención de resistencia se ve afectada por la composición y finura

²⁰ C. Serrano (2007), "Influencia del tiempo de curado por inmersión en el desempeño del concreto en clima cálido sub-humedo," Revista académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 123-128.

²¹ A. Neville (2010), Concrete technology, Second edition, Pearson, pp.64-69.

²² A. Megahed, M. Rashwan & A. Mostafa (2012), "Performance of a local economical additive in the cement mortar properties affected by aggressive environmental condition", Journal of engineering sciences, Assiut University, pp. 56-63.

de la arena, la cantidad de agua, la temperatura del ambiente y los aditivos empleados²³.

2.1.1 CLASES DE CONCRETO

Según el Reglamento de Construcción del Distrito Federal²⁴ los concretos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Clase 1.- Concreto de alta calidad que cumple con las especificaciones más estrictas de los reglamentos de construcción como en obras tipo A o B1 (Escuelas, teatros, edificios públicos, bibliotecas, cines, centros comerciales, etc.). Ofrece: resistencias mayores o iguales que 250 y menores que 400 kg/cm²; agregados de origen calizo o basáltico; excelente trabajabilidad y cohesión y mayor durabilidad que la de un concreto convencional.
- Clase 2.- Concreto de uso general para todo tipo de construcciones que no requieran características especiales y son utilizados en: pisos, losas, muros, cimentaciones, banquetas, guarniciones, etc. Ofrece: resistencias menores de 250 kg/cm²; excelente trabajabilidad y cohesión; fácilmente moldeable; compatible con impermeabilizantes y fibras, y libre de contaminantes.

En el presente trabajo de investigación se estudia el efecto de los aditivos acelerantes en estos dos tipos de concreto.

2.1.2 HISTORIA DE LOS ADITIVOS EN EL CONCRETO

En el año de 1824 Joseph Aspadin patentó en Inglaterra, el producto que hoy todos conocen como cemento Portland²⁵. Casi medio siglo después, Joseph

²³ A. Moragues (2001), Procesos de hidratación del cemento Portland microestructura del hormigón, España, Madrid, Universidad politécnica de Madrid, pp. 97-102.

²⁴ L. Arnal & M. Betancourt (2010), "Reglamento de construcciones para el distrito federal", México, DF, Editorial Trillas, pp. 87-98.

Monier utilizó un concreto con refuerzo de mallas metálicas, similar a lo que posteriormente se conocería como ferrocemento. En 1870, Hennebique desarrolló de una nueva técnica de construcción empleando hierro forjado como material de refuerzo en el concreto, la cual se aplicó por primera vez en 1879 en la construcción de un edificio residencial en Bruselas; esta técnica daría lugar a la patente del concreto reforzado que se utiliza hasta la fecha²⁶.

El primer uso de cloruro de calcio como aditivo acelerante para concreto está registrado en 1873, obteniéndose la patente del producto en 1885. Casi al mismo tiempo se empezaron utilizar los aditivos hidrófugos para la disminución de la permeabilidad en los concretos. A principios de siglo XX se probó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad del material. En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el concreto. Los fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora del fraguado ocasionada por el azúcar también había sido ya observada en esa época²⁷.

En la década de los '60 del siglo XX se inició el uso de los aditivos plastificantes, productos que hoy en día son los más utilizados en todo el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de mezclado y por lo tanto para obtener concretos más resistentes, económicos y durables²⁸. Los primeros aditivos superplastificantes revolucionaron la tecnología del concreto, ya que permitieron realizar concretos fluidos y de alta resistencia para elementos prefabricados y para

²⁵ D. Sánchez (2011), "Tecnología del concreto y del mortero, 5ta. Edición, Bhandar Editores, pp. 222-236.

²⁶ D. McBeth (1998), "Francois Hennebique (1842-1921) - Reinforced Concrete Pioneer", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, pp. 114-119.

²⁷ A. Rubio (2007), "Los aditivos del mundo del hormigón", Universidad politécnica de Cataluña, pp. 87.

²⁸ J. Waddell & A. Dobrowiski (1997), "Manual de la construcción con concreto", México, Mc Graw Hill, pp. 97.

la construcción de elementos esbeltos y de fina apariencia²⁹. En la década de los '80 del mismo siglo se inició el uso de micro sílice, material puzolánico que usado en conjunto con los aditivos superplastificantes han permitido obtener resistencias muy altas y excelente durabilidad del concreto³⁰.

2.1.3 IMPORTANCIA DE LOS ADITIVOS EN EL CONCRETO

Los aditivos no son componentes esenciales de la mezcla de concreto (a diferencia del cemento, los agregados y el agua) pero son importantes; su uso se extiende cada vez más por el aporte que hacen a la economía de la mezcla, y la necesidad de modificar las características del concreto de tal forma que éstas se adapten a las condiciones del proyecto y a los requerimientos del constructor³¹.

Hay casos en los que el uso de un aditivo puede ser el único medio para obtener el resultado requerido, como son aditivos contra congelación y deshielo, aditivos para acelerar o retardar el tiempo de fraguado, aficiones pulzolánicas para obtener altas resistencias, etc.³²

El *American Concrete Institute* (ACI) reconoce la importancia de los aditivos y los define como:

*“un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, usado como ingrediente del concreto o mortero y que se añade a la revolvedora inmediatamente antes o durante el mezclado”*³³.

²⁹ A. Rubio (2007), “Los aditivos del mundo del hormigón”, Universidad Politécnica de Cataluña, Tesis de maestría, pp. 66-73.

³⁰ H. Justnes & E. Nygaard (1996), “Technical calcium nitrate as set accelerator for cement pastes at low temperatures”, *Advances in cement research* 8, No. 31, pp. 101-9.

³¹ A. Cogollo & J. García (2004), “Estudio comparativo de las propiedades físicas de concretos elaborados con los diferentes cementos Portland tipo I y agregados normalizados fabricados en Colombia”, Universidad de Cartagena, Facultad de ingeniería, pp. 36-48.

³² A. Dmirbas & A. Aslan (1998) “Effects of ground hazelnut shell, wood, and tea waste on the mechanical properties of cement”, *Cement and concrete research* 28, pp. 110-114.

³³ ACI (2012), *Manual of concrete practice*, Detroit, pp. 55-62.

Los aditivos se clasifican por su función en el concreto, pero con frecuencia provocan algún otro efecto adicional. La clasificación de las normas ASTM C-494/C 494M-99a³⁴ es la siguiente:

- Tipo A reductores de agua.
- Tipo B retardantes.
- Tipo C acelerantes.
- Tipo D reductores de agua y retardantes.
- Tipo E reductores de agua y acelerantes.
- Tipo F reductores de agua de alto rango o superfluidificantes.
- Tipo G reductores de agua de alto rango y retardantes, o superfluidificantes y retardantes.

Actualmente en muchos países una mezcla que no contiene aditivos es una excepción. La importancia que han adquirido los aditivos en la actualidad se debe a que son primordiales tanto para mejorar las propiedades del concreto como los procesos constructivos³⁵. En especial, el tiempo de fraguado es un factor importante en el transporte y la obtención de la resistencia del concreto. Es necesario conocer las condiciones en las cuales se fabricará el concreto y los requerimientos del programa de obra para saber si es necesario reducir o aumentar la velocidad del fraguado³⁶.

³⁴ ASTM International (2002), "Concrete an aggregates," In annual sook of ASTM standards, Philadelphia, pp. 818.

³⁵ A. Winters (1986), "El uso exitoso de aditivos," Construcción y tecnología, No2. México, pp. 35-37.

³⁶ S. Guzmán (2001), "Tecnología del concreto y del mortero", Pontificia Universidad Javeriana, pp. 189-199.

2.2 ADITIVOS ACELERANTES

Los aditivos acelerantes se utilizan en la construcción para reducir el tiempo de fraguado y para aumentar la resistencia del concreto a edades tempranas, tanto en clima cálido como en condiciones de clima frío³⁷. Sin embargo, la mayor parte de éstos producen un aumento de la contracción que sufre el concreto al secarse. Las dosis usadas de estos aditivos oscilan entre 0.5 % y 5.0 % de la masa de cemento utilizada en la mezcla³⁸.

En teoría los principales efectos de los acelerantes en las propiedades del concreto son los siguientes:

1. Tiempo de fraguado.- El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos, procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento³⁹. El efecto del acelerante se produce en el estado plástico y reduce el tiempo de fraguado, tanto el inicial como el final. El grado de reducción varía según sea la cantidad de acelerante empleada, la temperatura del concreto y la temperatura del ambiente⁴⁰.
2. Resistencia.- Es el proceso que ocurre una vez terminado el fraguado, en el cual el concreto empieza a formar enlaces más fuertes los cuales empiezan a presentar fuerza ante diferentes esfuerzos. El efecto del acelerante se

³⁷ A. Dmirbas & A. Aslan (2012), Op. Cit, pp. 110-114.

³⁸ ACI (2012), Op. Cit, pp. 55-62.

³⁹ ASTM International (2002), Op. Cit, pp. 818.

⁴⁰ W. Duda (1997), "Manual tecnológico del cemento", Edición 1, España, Editores técnicos asociados S.A., pp. 97-103.

produce en el estado endurecido, principalmente a edades tempranas. Y puede reducirse ligeramente en edades tardías⁴¹.

Como se mencionó anteriormente el cloruro de calcio (CaCl_2) ha sido históricamente el acelerante más usado, pero por su composición clorada presenta inconvenientes cuando se utiliza en elementos de concreto que contienen acero de refuerzo, ya que puede propiciar la corrosión debido a que se podría rebasar el umbral de nivel de cloruros iniciadores de la corrosión.

El intervalo del nivel de cloruros iniciadores de la corrosión se pueden considerar entre 0.2 y 2.0 kg/m^3 de concreto, de acuerdo a investigaciones realizadas en diversos lugares del mundo en los últimos 30 años⁴². Por otra parte, cuando grandes cantidades de cloruro están presentes, el concreto tiende a retener más humedad, lo que también incrementa el riesgo de corrosión. Es importante tener en cuenta que los cloruros pueden ingresar al concreto por adición durante su fabricación o bien, por exposición a ambientes costeros⁴³.

Los códigos de construcción a menudo restringen el uso de este compuesto por motivos de durabilidad⁴⁴. A partir de estas restricciones ha surgido el creciente interés en usar acelerantes libres de cloruro; por ejemplo, el nitrito de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ puede acelerar las reacciones de evolución del concreto, pero a diferencia del CaCl_2 que acelera tanto el fraguado y endurecimiento, el $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ principalmente actúa como acelerador de fraguado⁴⁵.

⁴¹ R. Bogue (1952), "La química del cemento Portland", Edición 2, España, Dossat S.A., pp. 75.

⁴² P. Casto, L. Véleva, & M. Balancán (1997), "Corrosion of reinforced concrete in a tropical marine environment and in accelerated test," *Construction and building materials* 11, pp. 75-81.

⁴³ P. Borge, E. Moreno, & R. Solís (2005), "Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera," *Artículo de divulgación, n.d., Ingeniería* 9-11, pp. 13-18.

⁴⁴ K. Ann & H. Song (2007), "Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete", *Corrosion science* 49, No. 11, pp. 33-41.

⁴⁵ H. Justnes & E. Nygaard (1995), "Technical calcium nitrate as set accelerator for cement at low temperatures," *Cement and concrete research* 25, No. 8, pp. 66-74.

La reacción del acelerante producida por cualquier tipo de acelerante depende de la dosificación que se añada a la mezcla de concreto y también de las propiedades del cemento y de los agregados⁴⁶. De aquí surge la importancia de estudiar los efectos que pueda tener los acelerantes usando el tipo de agregado calizo de la región.

En estudios recientes se ha comprobado que las mezclas que contienen piedra caliza fina experimentan menos velocidad de fraguado en comparación con otros sistemas estudiados anteriormente. Esto probablemente se debe a que la reacción de aceleración inducida por el carbonato cálcico, disminuye el impacto de las adiciones químicas del acelerante⁴⁷.

Las mezclas de concreto con acelerantes libre de cloruros se ha observado que son muy eficaces con respecto al tiempo de fraguado, pero experimentan en algunos casos una tendencia a la reducción de las resistencias entre los días 1 a 18. Sin embargo esto se atribuye a la relación del tipo de cemento y al tipo de agregado que se utilice⁴⁸. Se recalca que la principal ventaja de los acelerantes sin cloruros es que no inducen la corrosión de lacero de refuerzo⁴⁹.

Conocer el proceso químico de la hidratación del cemento nos permite estudiar cuales son efectos que aportan los acelerantes al fraguado del concreto. La hidratación del cemento implica una compleja serie de reacciones y procesos químicos que se producen a escalas diferentes en el tiempo. Existen desde

⁴⁶ H. Justnes & E. Nygaard (1996), "Technical calcium nitrate as set sccelerator for cement pastes at low temperatures", Jour, Advances in cement research 8, No. 31, pp. 101.

⁴⁷ A. Kumar, T. Oey, S. Kim, D. Thomas, S. Badran & J. Li (2013), "Simple methods to estimate the influence of limestone fillers on reaction and property evolution in cementitious materials," Cement and concrete composites 42, pp. 20-29.

⁴⁸ P. Casto, L. Véleva, & M. Balancán (1997), "Corrosion of reinforced concrete in a tropical marine environment and in accelerated Test", Construction and building materials, pp. 75-81.

⁴⁹ J.Tobón, O. Restrepo & J. Payá (2010), "Comparative analysis of performance of Portland cement blended with nanosilica and silica fume", Jour, Dyna, pp. 154.

procesos hidráulicos prácticamente instantáneos hasta procesos que se manifiestan a lo largo de meses.

El compuesto más representativo para este contexto es la referente a la base del aluminato tricálcico (C_3A) del cemento. La actividad del aluminato tricálcico se localiza en las primeras horas de la hidratación del cemento y es la responsable de los fenómenos observables durante el fraguado del concreto. En las fases 2 y 3 de la hidratación es cuando el efecto de los acelerantes producirá alteraciones en el proceso de fraguado del concreto⁵⁰.

A continuación, se describe brevemente las cuatro fases de la hidratación del concreto:

Fase uno.- Primera hidratación superficial de los granos de cemento inmediatamente después de la adición del agua de amasado. Formación superficial de etringita sobre las fases de C_3A . Esta primera fase tiene una duración de breves minutos.

Fase dos.- El agua sulfatada migra lentamente a través de la etringita que recubre la fase de C_3A . En esta fase es cuando el cemento permanece trabajable y puede durar entre 0.5 y 1.5 horas según a naturaleza de los componentes del cemento.

Fase tres.- La etringita reacciona con el C_3A volviéndose más permeable y facilitando la hidratación de éste. Esta fase corresponde al fraguado de la masa aglomerante del cemento y puede durar, en condiciones normales, entre 4.0 y 6.0 horas.

Fase cuatro.- Hidratación de las fases de silicatos y adquisición de resistencia mecánica. Esta fase empieza al término de hidratación del C_3A ya que éste colabora en la hidratación de los silicatos. Esta fase puede durar meses.

⁵⁰ T. Oey et al. (2014), "Comparison of $Ca(NO_3)_2$ and $CaCl_2$ admixtures on reaction, setting, and strength evolutions in plain and blended cementing formulations", Journal of Materials in civil engineering, Vol. 27(10), pp. 267.

La adición de un acelerante, sea de la naturaleza química que sea, modificara principalmente la fase tres de la hidratación del cemento, que corresponde a la evolución del fraguado, reduciéndola teóricamente hasta en un 50 % de su duración total.

2.3 CONDICIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Entre los factores esenciales para determinar la dosis de aditivo para un desempeño óptimo, se encuentran los materiales y las condiciones reales que se presentaran en la obra; es por esto que se hace un especial énfasis en la necesidad de la evaluación del aditivo acelerante bajo las condiciones de esta región.

2.3.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

La Península de Yucatán está ubicada al sur del Trópico de Cáncer, su clima se clasifica como cálido subhúmedo, con pocas variaciones de temperatura entre las estaciones y, lluvias en verano⁵¹. Este tipo de clima es común en la mayoría de los países de Centroamérica y del Caribe, así como en varios países de Sudamérica, Asia, África y Oceanía⁵².

El 85.8 % de la superficie del Estado de Yucatán presenta clima cálido subhúmedo y el restante 14.5 % que se localiza en norte del estado presenta clima seco y semiseco, que se localiza en la franja costera del estado. La temperatura máxima promedio en el estado es de 36°C y se presenta en el mes de mayo y la

⁵¹ M. Mustafa & K. Yusof (1991), "Mechanical properties of hardener concrete in hot-humid climate," Cement and concrete research, Pennsylvania, Vol. 4, pp. 61-63.

⁵² R. Solís & E. Moreno (2011), Op. Cit, pp. 88.

temperatura mínima promedio es de 16°C y se presenta en el mes de enero; y la temperatura media anual es de 26°C⁵³.

En el clima cálido subhúmedo se presenta condiciones que propician la rápida evaporación del agua, y que a su vez provoca el agrietamiento por contracción plástica en el concreto. Esto es de gran importancia al momento de usar aditivos en el concreto debido a que pueden provocar modificaciones importantes en las proceso de endurecimiento⁵⁴.

2.3.2 AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados para concreto son rocas de material inorgánico, por lo general químicamente inertes respecto al cemento. La importancia de los agregados en el concreto es fundamental, ya que aporta la mayor cantidad de masa en el material compuesto. Además componen la fase que por lo general presenta la mayor resistencia mecánica y el mayor módulo de elasticidad⁵⁵.

En la Península de Yucatán el agregado de roca caliza es el que generalmente se utiliza para fabricar el concreto. Debido a su consolidación este tipo de roca presenta variabilidad en sus propiedades, entre las que se encuentra su baja resistencia mecánica⁵⁶.

Los agregados de roca caliza tienen gran influencia en la naturaleza del micro estructura de la zona de inter fase entre los agregados y la pasta del cemento. La interacción química entre estas rocas y la pasta de cemento puede conducir a un

⁵³ INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2016), Carta de climas, Escala 1:1 000 000. Yucatán, 2ª impresión. México, D.F.

⁵⁴ M. Mustafa & K. Yusof (1991), "Mechanical propertie of hardener concrete in hot-humid climate", Cement and concrete research, Pennsylvania, No. 4, pp. 601-613.

⁵⁵ P. Alaejos & L. Espinosa (2003), "Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán," Ingeniería revista académica de la facultad de ingeniería 7(1), pp. 27-37.

⁵⁶ L. Espinosa, M. Ceron & Y. Sulub, (1996), "Limestone rocks of the Yucatan Peninsula: Description of the lithology and physical properties based on the results of exploration, Investigation and laboratory tests", Int J Rock mech min sci geomech abstr., 35(7): pp. 410.

incremento en la adherencia entre las dos fases. La caliza reacciona con la pasta de cemento y produce una gran cantidad de poros en la zona de inter fase, lo que a edades tempranas provoca una disminución en la fuerza de adherencia⁵⁷.

Otra característica de la roca caliza de la región es su alta absorción; estudios realizados a las propiedades de diversos agregados reportan que el porcentaje de absorción de la roca caliza oscila entre un 7.1 % y un 10.40 %, mientras que en otras rocas como el mármol, presentan absorciones de menos de 1 %⁵⁸.

2.4. INVESTIGACIONES EN LA REGIÓN

En la Península de Yucatán con las condiciones antes descritas se ha estudiado el desempeño de aditivo reductor de agua. Los resultados han mostrado que este aditivo ha sido eficiente para mantener la fluidez de la mezcla. También en el contexto del clima cálido subhúmedo, el aditivo tuvo un efecto retardante en el fraguado, que hizo que cambiara su comportamiento de aditivo tipo “A” (según hoja técnica del fabricante) a aditivo tipo “D”. También se reportó bajos contenidos de aire en el concreto cuando lo esperado de un aditivo reductor de agua es un incremento en el contenido de aire. Por último se obtuvieron ganancias de hasta un 10 % de incremento de resistencia a 90 días⁵⁹.

En cuanto al tema de acelerantes, se han hecho estudios acerca de la efectividad del cloruro de calcio como aditivo acelerante en el cemento Portland en el Estado de Yucatán. Se comprobó que efectivamente el cloruro de calcio es un buen acelerante y que sus efectos son completamente los esperados. Los resultados

⁵⁷ W. Tasong (1999), “Aggregate-cement paste interface,” *Cement and concrete research* 29(7), pp. 19–25.

⁵⁸ R. Solís, L. Terán & E. Moreno, (2015), “Use of normal-density high-absorption limestone aggregate as internal curing agent in concrete”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(11), pp. 827-833.

⁵⁹ R. Solís, E. Moreno & N. Echeverría (2011), *op. Cit.*, pp. 126-129.

obtenidos durante el desarrollo de la investigación, así como su análisis estadístico, indicaron que las mejores concentraciones de aditivo fueron las de 2 % y 3 %, sin embargo, los rendimientos obtenidos de estas dos concentraciones difieren muy poco entre sí. Por lo anterior mencionado se consideró el factor económico para determinar la mejor concentración, decidiéndose finalmente por la de 2 %⁶⁰.

2.5 INVESTIGACIONES DE ACELERANTES EN LA ACTUALIDAD

Para el uso de aditivos los acelerantes libre de cloruros, añadidos de forma líquida, su dosificación dependerá de la relación A/C. Una A/C elevada requerirá una mayor cantidad de aditivo para poder reducir la consistencia y tener los mismos resultados que un aditivo con cloruro⁶¹.

Los concretos con uso de aditivo acelerante acostumbran a presentar pérdida de revenimiento desde que el concreto sale de la mezcladora hasta que termina de ser colocado. Esta evolución de aumento de rigidez ocurre de manera gradual desde que el aditivo tiene contacto con el concreto y puede variar por diversos factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura del ambiente. La presencia del sol y viento y la manera de transportar el concreto⁶².

Se ha demostrado de igual forma que al aumentar la resistencia inicial de la mezcla, trae la contrapartida de que la resistencia a los 28 días disminuya en relación a una mezcla que no disponga de acelerantes de fraguado en un 10 a 15 % de su resistencia original. Por otra parte, cuando se ha usado una cantidad

⁶⁰ R. Solís (1997), "Utilización del cloruro de calcio como aditivo acelerante en el cemento Portland tipo V", Mérida, Tesis de examen profesional, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 97.

⁶¹ T. Maltese et al. (2008), Op. Cit, pp. 528-536.

⁶² S. Mejía & J. Paz, (2013), "Comportamiento de un concreto de resistencia de 210kg/cm² utilizando el aditivo Sika Rapid 1 como acelerador de fraguado", Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela, pp. 160.

mínima de aditivo menos del 0.3 % sobre el peso del cemento se ha obtenido que las ganancias de resistencia a temprana edad son mínimas; en cuanto a los tiempos de fraguado un 40 % más sobre los que usan 0.5 % a 1 % de aditivo sobre el peso del cemento. A partir de este estudio de Lascorz *et al.* se ha recomendado no abusar de los aditivo acelerantes y ponerlos en un porcentaje optimo con el cual se obtenga tanto el mejor aprovechamiento de ellos pero sin poner en riesgo la resistencia del concreto, para ello coinciden en que la mejor forma de conocer estos porcentajes es con pruebas en laboratorio con cada tipo de concreto que se quiera emplear⁶³.

En pruebas experimentales en morteros probados con aditivos acelerantes con cloruros y sin cloruros se ha encontrado que el aumento de las fuerzas de resistencia entre los días 1 a 3 está altamente determinado por el tipo de acelerante y puede obtener resistencias de hasta 5 MPa (50.9 kg/cm²) de más respecto a las que no tuvieron acelerantes. Se demostró también que el aditivo acelerante con cloruro tuvo un mejor desempeño y fue más eficiente al obtener las resistencias a los 3 días. El tipo de acelerante ya no es importante para el desarrollo de la resistencia del cemento después de los 28 días. El tipo de acelerante no tiene efecto significativo en la fluidez del cemento fresco. El estudio al que se hace referencia determinó que es aditivo acelerante sin cloruro es prometedor para aplicaciones industriales, en las que el aditivo de cemento que contiene cloruros está estrictamente prohibido⁶⁴.

Otros estudios relacionados a la evaluación del aditivo acelerante con cloruro y sin cloruro (SCL), aparte de demostrar que el aditivo sin cloruro tiene inferior desempeño como agente de aceleración de la reacción, el SCL es efectivo en el tiempo de fraguado, pero menos en el proceso del endurecimiento. Se hace

⁶³ M. Gabalec & M. Barreda (2008), "Tiempo de fraguado del hormigón", Argentina, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad regional la plata, pp. 87-96.

⁶⁴ P. Alaejos & L. Espinosa (2003), Op. Cit, pp. 27-37.

mención que en estudios de calorimetría el SCL tiene mayores resultados con temperaturas más altas por las reacciones químicas del mismo aditivo⁶⁵.

En estudios con aditivo acelerante con cloruros en concreto se obtuvo un desplazamiento de la curva de tiempo de fraguado a la izquierda, lo que representa un aceleramiento en el tiempo de fraguado final, bajando de dos horas a una hora y media con dosificaciones de 1 % de porcentaje sobre peso del cemento hasta 50 minutos con un porcentaje de 5 % de porcentaje sobre el cemento. Se demostró de igual forma que con este acelerante con cloruro en una proporción de 4 % sobre el peso del cemento logró que el concreto obtuviera su resistencia máxima a los 7 días. Con lo cual concluyen que para un concreto y con este tipo de acelerante un porcentaje de 4 % es el de mayor eficacia⁶⁶.

En cuanto a estudios con aditivos acelerantes sin cloruros en concreto se ha podido lograr un mejor efecto de fraguado cuando el contenido del acelerante es de aproximadamente 6 %. Y se ha observado que el tiempo de fraguado del concreto disminuye con el aumento de la temperatura ambiente y del material⁶⁷.

⁶⁵ Y. Montoya, A. Cadavid, & M. Gómez (2009), Op. Cit, pp. 39-49.

⁶⁶ J. Baca & J. Boy (2016), "Influencia del porcentaje y tipo de acelerante sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de un concreto de rapido fraguado" Jour, pp.76-83.

⁶⁷ S. Popovics (1992), Concrete materials, properties, specifications and testing, 2nd Edition, New Jersey, USA, Noyes Publications, pp.99.

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan los elementos del diseño del experimento tales como: el objeto de estudio, la muestra, la selección y características de los materiales y las pruebas realizadas al concreto fresco y endurecido. También el contexto climático en el cual se desarrolló la investigación.

3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA

3.1.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación fue de tipo experimental. Consistió en la medición en laboratorio de algunas propiedades físicas del concreto tanto en estado fresco como endurecido, en edades tempranas. Las mediciones se hicieron en muestras de concreto fabricado con varias dosis de aditivo acelerante; y también en muestras testigo, fabricadas sin aditivo. En la fabricación del concreto se utilizaron dos relaciones entre el agua y el cemento (A/C) contenidas en el rango de resistencia típicamente usada en estructuras de concreto en el Estado de Yucatán.

Las variables dependientes que se midieron en el experimento fueron las siguientes:

- La resistencia mecánica a la compresión axial.
- El tiempo de fraguado inicial.
- El tiempo de fraguado final.
- El revenimiento.
- El peso volumétrico del concreto fresco.
- El contenido de aire del concreto fresco.

Las variables de interés del estudio fueron la resistencia mecánica a la compresión axial, el revenimiento, el tiempo de fraguado inicial y el tiempo de fraguado final

que son aquellas en las que principalmente se debe observar el efecto del aditivo acelerante.

Las variables independientes que se controlaron en el experimento fueron las siguientes:

- La relación A/C.- Se utilizaron dos relaciones entre el agua y el cemento en masa: 0.5, con la que se pretendió alcanzar una $f'c$ de aproximadamente 300 kg/cm²; y 0.7, con la que se pretendió alcanzar una $f'c$ de aproximadamente 200 kg/cm², de acuerdo al modelo desarrollado por Solís y Moreno⁶⁸ para concreto con agregado calizo. El primer tipo de concreto corresponde a la Clase 1 y el segundo a la Clase 2, de acuerdo a la clasificación contenida en el Reglamento de Construcción del Distrito Federal⁶⁹.
- El tipo de aditivo acelerante.- Se utilizaron dos tipos de acelerantes de acuerdo a la ASTM, el primero fue un aditivo con cloruros (CL) y el segundo fue un aditivo libre de cloruros (SCL), el cual es recomendado para evitar problemas de falta de durabilidad en el concreto reforzado.
- La dosis del aditivo acelerante.- Se utilizaron tres dosis de los aditivos: 0.5 %, 1.0 % y 1.5 %, calculadas en términos relativos como un porcentaje del peso del cemento. Estas tres dosis se encuentran en el rango que usualmente recomiendan los fabricantes para su uso en clima cálido. A partir de este momento los porcentajes arriba mencionados serán nombrados como las dosis.
- El tratamiento de curado.- Se utilizaron dos tratamientos de curado: saturación por medio de inmersión en pileta (curado húmedo), que favorece la hidratación del cemento; y curado natural en laboratorio, tratando de

⁶⁸ G. Solís (2010), Op. Cit, pp. 79.

⁶⁹ J. Pacheco & L. Alonzo (2003), Op. Cit, pp. 7-19.

imitar las condiciones que se presentan en el contexto real de una construcción, donde por lo general se omite el proceso de curado húmedo.

- Edades de prueba de resistencia.- La resistencia a compresión axial fue medida en tres edades con la finalidad de hacer el seguimiento del desarrollo de la resistencia de los concretos; estas edades fueron: 3, 7 y 28 días. Lo anterior permitió observar los cambios en la resistencia durante el lapso en el que se llevan a cabo la mayoría de las reacciones de hidratación del cemento.

Otras variables que se midieron para conocer el contexto en el que se desarrollaron las pruebas del concreto en estado fresco fueron:

- La temperatura.- Se hicieron lecturas antes y después de cada proceso de colado; es decir la primera medida se tomó en el momento del inicio de la carga de la revolvedora y la segunda a la descarga del concreto.
- La humedad.- Se hizo una lectura en el momento de la descarga del concreto de la revolvedora.

Los materiales que se utilizaron fueron:

- Cemento.- Se utilizó cemento tipo CPC 30R (cemento Portland compuesto de resistencia de 30N/mm^2) producido por una cementera nacional, equivalente al Portland tipo I de acuerdo a la norma ASTM C150⁷⁰ y que satisface las especificaciones de la Norma Mexicana NMX-C-411-ONCE. Este cemento está producido bajo un estricto control de calidad, por lo cual se excluyeron las pruebas de laboratorio necesarias para verificar el cumplimiento de la norma de fabricación.

⁷⁰ ASTM C150 / C150M-17 (2017), "Standard specification for Portland cement", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

- Agregados pétreos.- Se utilizó una muestra de agregado calizo triturado de manufactura local, la cual fue seleccionada entre dos bancos diferentes de la región, buscando que tuviera buenas propiedades físicas. En el Apéndice 2 se muestran los resultados de las pruebas de las dos muestras estudiadas para la selección del banco utilizado.
- Agua.- Se utilizó el agua del sistema de alimentación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, la cual proviene de un pozo profundo; esta agua se utiliza en la facultad para todo tipo de actividades excepto consumo humano. En el Anexo 6 se presenta las principales características del agua subterránea de Mérida.
- Aditivos.- Se utilizaron dos tipos de aditivos acelerantes buscando que fueran los más comúnmente usados en la región y factibles de adquirir. El aditivo SCL fue el Festermix elaborado por la marca Fester®; es de tipo C de color transparente/grisáceo y cumple con las normas ASTM-C 494⁷¹ y NMX C-255-ONNCE según su ficha técnica. El aditivo CL fue el Sikaset L elaborado por la marca Sika®; es de tipo C de color café claro, con densidad de 1.32 kg/l aproximadamente y que cumple con la norma ASTM-C494 según su ficha técnica. En el Anexos 3 se puede consultar las mencionadas fichas técnicas.

Por medio de la prueba de estequiometría se determinó la cantidad de cloruros en el laboratorio de ingeniería ambiental de esta facultad, dando por resultado que el Sikaset L contuvo 263.748 g/l. El cálculo está contenido en el Anexo 5.

⁷¹ ASTM C494 / C494M-17 (2017), "Standard specification for chemical admixtures for concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

3.1.2 SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La unidad de análisis de esta investigación es el concreto fabricado en el Estado de Yucatán con agregados calizos de alta absorción, sujeto a un clima cálido subhúmedo.

La muestra de concreto utilizada en la investigación se ha esquematizado en la Tabla 1. En ella se muestran las A/C, los aditivos, las dosis, el tipo de curado, la edad de prueba a compresión y el número de probetas.

Tabla 1. Esquema de fabricación, curado y prueba a la resistencia de las probetas.

A/C	0.7 / 0.5											
Aditivo	Sin Aditivo						Aditivo CL / Aditivo SCL					
Dosis	0.0						0.5 / 1.0 / 1.5					
Curado	Húmedo			Natural			Húmedo			Natural		
Edad	3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28
Probetas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Para cada relación A/C se realizaron siete procesos de fabricación de concreto: seis con aditivo acelerante y uno sin aditivo. Para cada combinación de A/C, aditivo y dosis se fabricaron 18 probetas para las pruebas de resistencia, las cuales se dividieron en dos grupos para asignar de manera aleatoria los tratamientos de curado. Posteriormente dentro de cada grupo las probetas se dividieron en tres subgrupos para asignar de manera aleatoria las edades de prueba de resistencia. Es decir, se utilizaron tres probetas para obtener la resistencia de cada tipo de concreto a cada edad.

En total se fabricaron 252 probetas de concreto (126 por cada A/C), de las cuales se probaron a la compresión 84 probetas por cada edad. En la Tabla 2 se presenta un resumen del plan de fabricación y prueba de concreto antes explicado.

Tabla 2. Resumen de las características que definen la muestra para pruebas a compresión.

Características	Número
A/C (0.5 y 0.7)	2
Aditivos (CL y SCL)	2
Dosis de aditivo (0.0, 0.5, 1.0 y 1.5)	4
Procesos de fabricación	14
Tratamiento de curado	2
Edades de prueba a la resistencia	3
Probetas probadas por cada muestra	3
Probetas cilíndricas	252

3.2 MÉTODOS UTILIZADOS

En esta sección se describen las pruebas que se realizaron para la obtención de los datos. Los métodos utilizados fueron los siguientes: la caracterización de los agregados, el diseño de las mezclas, la fabricación del concreto, el moldeo de probetas, las pruebas al concreto fresco, el procedimiento de curado y las pruebas de resistencia a la compresión. Cada uno de los procesos se ejemplifica con fotografías en el Apéndice 7.

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Una vez seleccionado el banco a utilizar en la investigación se procedió a la caracterización de los agregados grueso y fino. Las pruebas realizadas fueron las siguientes: granulometría, módulo de finura del agregado fino, peso volumétrico, densidad y absorción.

Los agregados fino y grueso fueron caracterizados de acuerdo a la norma ASTM C33⁷². Se inició con la obtención de la muestra representativa del lote de material

⁷² ASTM C33 / C33M-16e1 (2016), "Standard specification for concrete aggregates", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

suministrado, mediante el método de cuarteos sucesivos utilizando un separador mecánico establecido en la norma ASTM C702⁷³.

Las propiedades que conformaron la caracterización de los agregados fueron obtenidas dos veces y sus resultados promediados. A continuación, se describen brevemente las pruebas realizadas:

- Granulometría (ASTM C136⁷⁴).- Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado. Una buena granulometría permite obtener concretos con una trabajabilidad adecuada, así como un grado de acomodo óptimo entre las partículas, además nos permite conocer el tamaño máximo del agregado grueso. La prueba consistió en cribar el material por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas y posteriormente registrar los porcentajes que pasan en cada tamiz. La granulometría del agregado grueso se realizó con una muestra de 10 kg y la del agregado fino con una muestra de 500 g.
- Módulo de finura (ASTM C33⁶⁰).- Es un índice de la finura del agregado; entre mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y grueso en las mezclas de concreto. Los valores límites inferior y superior del módulo de finura son 2.3 y 3.1 respectivamente.
- Peso volumétrico (ASTM C29⁷⁵).- Es el peso del agregado que se requiere para llenar el recipiente con un volumen unitario especificado, puede ser medido en estado seco suelto (PVSS) y en estado seco compactado

⁷³ ASTM C702 / C702M-18 (2018), "Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org.

⁷⁴ ASTM C136 / C136M-14 (2014), "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

⁷⁵ ASTM C29 / C29M-17a (2017), "Standard test method for bulk density ("Unit Weight") and voids in aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

(PVSC). Para el agregado grueso se obtuvo el PVSS y el PVSC y para el agregado fino se obtuvo el PVSS. Antes de las pruebas se secó el material en el horno a una temperatura de 110° C durante 24 horas; se utilizó un recipiente de 7,110 cm³ para las pruebas del agregado grueso y un recipiente de 2,806 cm³ para las pruebas del agregado fino.

- Densidad de los agregados (ASTM C127⁷⁶).- Se define como la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupan los sólidos; en el cual se excluyen todos los poros, saturables y no saturables. Para el agregado grueso se utilizó una muestra de 3 kg y para el agregado fino una muestra de 300 g, ambas se dejaron saturar durante 24 horas antes de la prueba.
- Absorción de los agregados (ASTM C128⁷⁷).- Es utilizada para calcular el contenido de agua neto de la mezcla de concreto. Para el agregado grueso se utilizó una muestra de 3 kg y para el agregado fino una muestra de 300 g, ambas muestras se dejaron saturar durante 24 horas para luego proceder a su secado; por diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de absorción de ambos agregados.

3.2.2 DISEÑO DE LAS MEZCLAS

Con las características de los materiales se procedió al diseño de las mezclas mediante el procedimiento de volúmenes absolutos del ACI 211.1-91⁷⁸.

Se diseñaron dos mezclas, una para cada relación A/C. Se consideró un revenimiento de 10 ± 3 cm; para los concretos sin aditivo se prepararon mezclas de prueba para definir la cantidad de agua necesaria para la obtención de este

⁷⁶ ASTM C127-15 (2015), "Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

⁷⁷ ASTM C29 / C29M-17a (2017), "Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

⁷⁸ W. Tasong (1999), Op. Cit, pp. 19-25.

revenimiento. Para las mezclas que contuvieron aditivo se hizo la sustitución del volumen de agua equivalente al volumen de aditivo utilizado, para observar el efecto de esta sustitución. El cálculo detallado se muestra en el Apéndice 2.

3.2.3 FABRICACIÓN DEL CONCRETO

Se fabricó un total de 125 litros de concreto fresco por colado, incluyendo desperdicios, para obtener las 18 probetas cilíndricas y realizar las pruebas de concreto fresco.

El proceso de mezclado se realizó de acuerdo al ASTM C 192/C 192 M⁷⁹. Buscando garantizar la uniformidad en la fabricación del concreto se siguió el procedimiento descrito a continuación:

1. Se humedeció la revolvedora y se dejó escurrir al 100 %.
2. Se colocó toda la grava y una cuarta parte del peso del agua y posteriormente se encendió la revolvedora.
3. Por tres minutos se mezclaron la grava y la porción del agua antes mencionada; posteriormente se colocó la arena con la cuarta parte del peso del agua.
4. Por cuatro minutos se mezclaron los componentes antes colocados en la revolvedora.
5. Se incorporó el cemento y la parte restante del agua y se revolvió todo por 3 minutos.
6. Se dejó reposar el concreto por un minuto y posteriormente se volvió a revolver por 30 segundos.

⁷⁹ ASTM C31 / C31M-18 (2018), "Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

Para los concretos con aditivo se siguieron los pasos 1, 2, 3 y 4; y posteriormente se procedió de la siguiente forma:

5. Se incorporó la mitad del cemento y una cuarta parte del agua con su dosis correspondiente de aditivo y se revolvió todo por 30 segundos.

6. Se incorporó las partes restantes de cemento y de agua (con aditivo) y se revolvió todo por tres minutos.

En la Tabla 3 se presentan las características de los diferentes lotes de concretos fabricados.

Tabla 3. Características de los lotes de concretos fabricados.

Colado	A/C	Aditivo	Dosis
1	0.5	-	-
2		SCL	1.5 %
3			1.0 %
4			0.5 %
5		CL	1.5 %
6			1.0 %
7			0.5 %
8	0.7	-	-
9		SCL	1.5 %
10			1.0 %
11			0.5 %
12		CL	1.5 %
13			1.0 %
14			0.5 %

3.2.4 MOLDEO DE LAS PROBETAS

Para las pruebas a la compresión se utilizaron cilindros de 15 cm de diámetro por 30 centímetros de alto como lo indica la norma de la ASTM C 31⁸⁰.

⁸⁰ ASTM C31 / C31M-18 (2018), "Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

El concreto se compactó buscando sacar la mayor cantidad de aire posible, y distribuir en forma homogénea las partículas que conforman el concreto. Para revenimiento con valores mayores a 2.5 cm se utilizó el método de compactación por medio del varillado; para este fin se llenaron los moldes en tres capas de igual altura. Cada capa se compactó con 25 penetraciones de la varilla de 5/8", distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro. La capa inferior se compactó en todo su espesor; la segunda y tercera capa se compactaron penetrando aproximadamente 1" en la capa anterior. Después de compactar cada capa, se golpeó ligeramente a los lados del molde de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que quedaron atrapadas. Finalmente se agregó una cantidad de concreto suficiente para que el molde quedara completamente lleno después de la compactación y se enrasó el exceso de concreto con una llana metálica para mejorar el acabado superior.

Para revenimiento con valores iguales o menores a 2.5 cm se utilizó el método de compactación por medio de la cama de vibrado siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C 1176-92⁸¹. De acuerdo con esta norma la compactación se logra cuando la superficie del espécimen está lisa. La intensidad y el tiempo de vibración para los especímenes de laboratorio no se regulan estrictamente en dicha norma.

En esta investigación se empleó la mesa de vibrado en el nivel 7 de vibración, de los 10 con los que cuenta; esto equivale a una frecuencia de vibrado de 3,600 vibraciones por minuto (60 Hz). Los especímenes fueron vibrados en grupos de 4 y sometidos a vibración hasta que se logró expeler completamente el aire atrapado. El indicador para saber que el vibrado debía de parar, fue cuando se

⁸¹ ASTM C1176 / C1176M-13 (2013), "Standard practice for making roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating table", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

notó que la superficie del cilindro quedaba completamente lisa y dejaba de expulsar burbujas de aire.

3.2.5 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

Las pruebas que se realizaron en el concreto fresco fueron las siguientes:

- Revenimiento (ASTM C143⁸²).- Se realizó para verificar la consistencia o fluidez de la mezcla de concreto. En esta prueba se utilizó el cono de Abrams de 12" de altura, con un diámetro inferior de 8" y de 4" en la parte superior. A la conclusión del mezclado del concreto, se procedió a llenar este cono con la mezcla; el revenimiento se midió como la diferencia de altura que hay entre la parte superior del cono y la parte superior de la mezcla fresca, cuando ésta se ha asentado después de retirar el cono. Esta diferencia se expresa en cm y varía en función de la fluidez del concreto.
- Peso volumétrico de la mezcla de concreto fresco (ASTM C138⁸³).- Se realizó para obtener el peso por unidad de volumen del concreto en estado fresco. Para esta prueba se llenó un recipiente de volumen conocido con concreto fresco. Después del llenado el recipiente, se obtuvo el peso neto del concreto fresco y éste se dividió entre el volumen del recipiente, obteniendo así el peso volumétrico del concreto fresco.
- Contenido de aire (ASTM C231⁸⁴).- Se realizó para determinar el porcentaje de aire en la mezcla compactada; se basó en la medición del cambio de volumen del concreto sometido a un cambio de presión. El equipo que se utilizó para este ensayo es la olla de Washington, la cual cuenta con un

⁸² ASTM C143 / C143M-15a (2015), "Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

⁸³ ASTM C143 / C143M-15a (2015), "Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

⁸⁴ ASTM C231 / C231M-17a (2017), "Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

manómetro que registra directamente el contenido de aire, en porcentaje con respecto al volumen de concreto.

- Tiempo de fraguado inicial (ASTM C403⁸⁵).- Se realizó para determinar el tiempo en el cual el concreto ha empezado a fraguar, por medio de mediciones de resistencia a la penetración en una porción de la mezcla de concreto que pasó la criba No.4. Se colocó esta pasta de cemento y agregado fino en un recipiente con profundidad de 150 mm, y luego a intervalos regulares se midió la resistencia a la penetración del concreto usando agujas estándar. Se consideró el fraguado inicial cuando la resistencia a la penetración fue de 497.82 psi (35 kg/cm²).
- Tiempo de fraguado final (ASTM C403⁸⁶).- Se realizó para determinar el tiempo en el cual el concreto inicia su endurecimiento, por medio de mediciones de resistencia a la penetración en una porción de la mezcla de concreto que pasó la criba No.4. Se consideró como fraguado final cuando la resistencia a la penetración fue de 3,992.49 psi (280.7 kg/cm²).

3.2.6 PROCEDIMIENTOS DE CURADO

Se utilizaron los curados por inmersión en pileta (húmedo) y al ambiente (natural). En el primer caso, los cilindros fueron colocados después de su desmolde en la pileta de curado del laboratorio; el día de su prueba de resistencia (en las edades de 3, 7 y 28 días) fueron extraídos de la pileta y se dejaron escurrir por un par de horas antes de las pruebas. En el segundo caso los cilindros permanecieron en el laboratorio al medio ambiente a partir del momento de su desmolde hasta el día de la prueba de resistencia.

⁸⁵ ASTM C403 / C403M-16 (2016), "Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

⁸⁶ ASTM C403 / C403M-16 (2016), "Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

3.2.7 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las pruebas de resistencia se realizaron a los 3, 7 y 28 días siguiendo la norma ASTM C 192/ 192M⁸⁷.

En estas pruebas se utilizaron dos prensas de carga:

- Una de la marca SATEC cuya capacidad máxima de carga es de 55 toneladas, en la cual se probaron los cilindros con la relación A/C de 0.7 y los cilindros de edad de 3 y 7 días para la relación A/C de 0.5.
- Una de la marca FORNEY, cuya capacidad de carga es de 180 toneladas, en la cual se probaron los cilindros a los 28 días de la relación A/C de 0.5.

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de carga, los cilindros se cabecearon con almohadillas de neopreno (ASTM C 1231⁸⁸); estas almohadillas se sustituyeron después de 100 usos siguiendo las recomendaciones de la norma. Los cilindros se centraron en la prensa y se cargaron hasta completar la ruptura. Se aplicó la carga con una velocidad uniforme continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga mantuvo dentro del intervalo recomendado (180 kg/cm²/min a 210 kg/cm²/min). La resistencia del concreto se calculó dividiendo la máxima carga soportada por el cilindro para producir la fractura entre el área promedio de la sección la cual fue calculada antes de la prueba de resistencia.

⁸⁷ ASTM C192 / C192M-16a (2016), "Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

⁸⁸ ASTM C1231 / C1231M-15 (2015), "Standard practice for use of unbounded caps in determination of compressive strength of hardened cylindrical concrete specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de los datos consistió en estadística descriptiva y en análisis de diferencias de medias de las variables de interés.

Para la estadística descriptiva se calcularon las medias y desviaciones estándar de las variables de los diferentes grupos de concretos fabricados.

Para el análisis de diferencia de medias se realizaron análisis de varianza (ANOVA)⁸⁹ de un factor, el cual sirve para comparar varias muestras en la medición de una variable cuantitativa. Con este método se busca evaluar el efecto de algún factor en la variable de interés al comparar las medias de las muestras que presentan diferentes niveles de dicho factor.

Por medio de las varianzas se determina si las medias son diferentes. Se compara la varianza entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos para determinar si los grupos se consideran parte de una población más grande o poblaciones separadas con característica diferentes.

Para poder realizar la prueba de contraste ANOVA se requiere más de una muestra independiente en la que se mide la variable de interés, así como una variable de agrupación llamada factor. Para el estudio las variables de interés fueron el tiempo fraguado inicial y final y la resistencia; mientras que las de factores fueron los tipos de aditivo, las dosis y el tipo de curado.

En el análisis de varianza se utiliza una distribución F de Fisher-Snedecor con grados de libertad $k-1$ entre grupos y $n-k$ dentro de los grupos; siendo k el número de muestras y n el número total de observaciones. El estadístico F se basa en el cumplimiento de dos supuestos: normalidad y homocedasticidad (igualdad de

⁸⁹ A. Mayers (2013), "Introduction to statistics and SPSS in psychology", Pearson, pp. 211-219.

varianzas de las muestras). Debido al pequeño tamaño de la muestra se omitió la verificación de los supuestos.

El estadístico F se define como razón de las medias cuadráticas entre grupos y dentro de grupos; siendo definida la media cuadrática como la suma de cuadrados entre el grado de libertad. La suma de cuadrados se calcula como la suma de los cuadrados de las diferencias con respecto a la media.

Para rechazar la hipótesis nula, que establece que no hay diferencias de medias entre las muestras, se debe definir un nivel mínimo de significancia; en este trabajo se eligió 0.05 que es el generalmente aceptado para la mayoría de los trabajos⁹⁰. De tal manera que probabilidades iguales o menores a 0.05 se interpretan como que el factor está provocando diferencias significativas en las medias de las muestras estudiadas. En la Tabla 4 se presentan los variables y los factores utilizados en el análisis de varianza.

Tabla 4. Variables y factores utilizados en ANOVA

Variables de interés	Factores
Tiempo de fraguado inicial	Tipo de aditivo
	Dosis de aditivo
Tiempo de fraguado final	Tipo de aditivo
	Dosis de aditivo
Resistencia	Tipo de aditivo
	Dosis de aditivo
	Tratamiento de curado

⁹⁰ M. Bakieva, G. Such & J. Jornet (2010), "SPSS: ANOVA de un factor," Recuperado de [Http://www. Uv. es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0702b](http://www.Uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0702b). Pdf, pp.41.

4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas a los agregados, el concreto fresco y el concreto endurecido, así como los análisis estadísticos correspondientes.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

El agregado utilizado fue seleccionado como se mencionó en la metodología (página 27). La muestra se eligió entre los dos bancos de materiales que se probaron, atendiendo a las mejores propiedades que presentó el agregado fino; el cual tuvo módulo de finura y porcentaje que pasa la malla 200 entre los límites aceptables, y mejor distribución granulométrica. En el Apéndice 1 se presentan todos los resultados de las propiedades de los dos agregados probados inicialmente. La caracterización del agregado seleccionado se presenta en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Propiedades físicas de los agregados seleccionados

Tipo de agregado	Densidad	PVSS (kg/m ³)	PVSC (kg/m ³)	TMA (mm)	Módulo de finura	Absorción (%)
Grava	2.28	1,079	1,231	¾	-	7.05
Arena	2.46	1,303	-	-	2.47	3.31

Tabla 6. Granulometría de la grava.

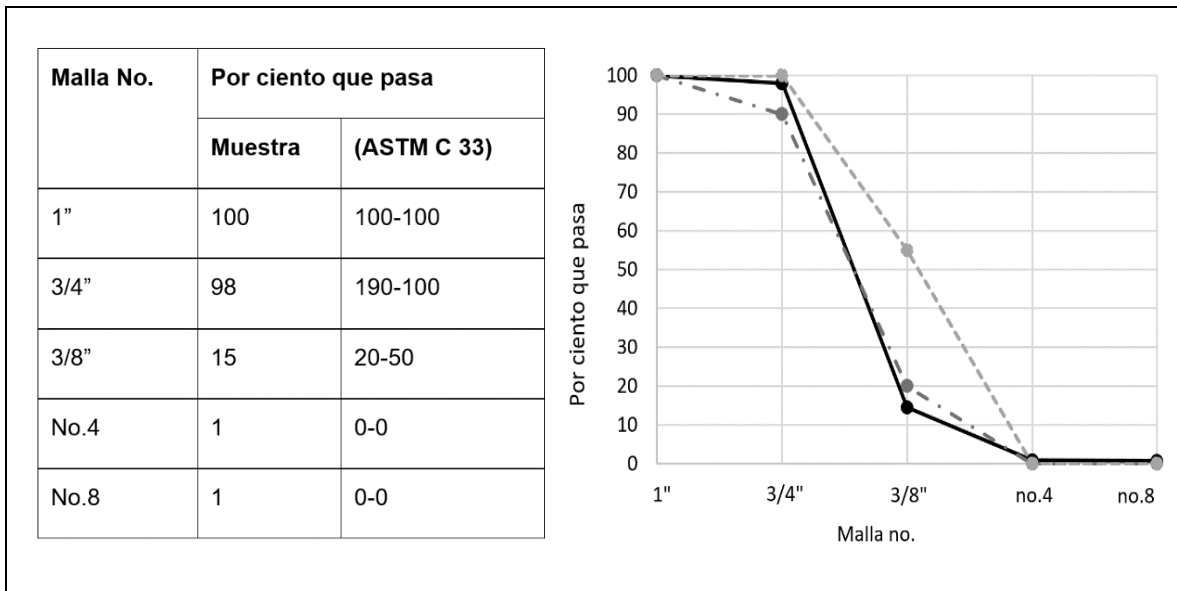
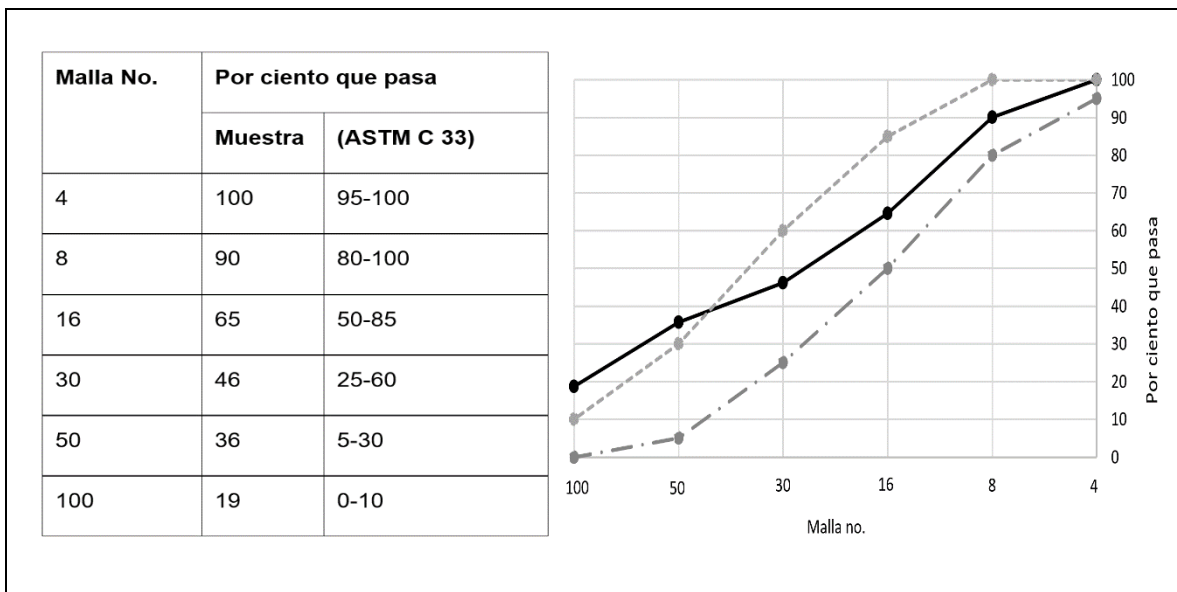


Tabla 7. Granulometría de la arena.



El detalle de los cálculos de la caracterización de los agregados se presenta en el Apéndice 3.

4.2 CONCRETO FRESCO

Siguiendo la estructura de la metodología, a continuación se presentan las condiciones climáticas prevalecientes durante los colados y los resultados de las pruebas hechas al concreto fresco.

4.2.1 CONDICIONES CLIMATICAS DE LOS COLADOS

Durante el tiempo de los colados se llevó el monitoreo de las condiciones climáticas midiendo la temperatura (al inicio y final del colado) y la humedad para conocer el contexto del clima. Estos datos se presentan en la Tabla 8 para la A/C de 0.5 y en la Tabla 9 para el A/C de 0.7. Por regla general los colados se iniciaron aproximadamente a las 11 am y concluyeron aproximadamente a las 12 del mediodía.

Tabla 8. Temperatura y humedad relativa durante el colado del concreto de A/C 0.5.

FECHA	ADITIVO	ADITIVO (%)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
28/08/17	-	-	29	32	89
04/09/17	SCL	1.5	28	32	90
11/09/17	SCL	1.0	30	33	82
18/09/17	SCL	0.5	28	32	90
25/09/17	CL	1.5	27	30	89
02/10/17	CL	1.0	28	30	89
09/10/17	CL	0.5	28	32	90

Tabla 9. Temperatura y humedad relativa durante el colado del concreto de A/C 0.7.

FECHA	ADITIVO	ADITIVO (%)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
23/10/17	-	-	29	32	89
30/10/17	SCL	1.5	28	32	90
06/11/17	SCL	1.0	29	33	92
09/11/17	SCL	0.5	28	32	93
13/11/17	CL	1.5	29	32	90
16/11/17	CL	1.0	29	33	89
11/10/17	CL	0.5	29	32	90

4.2.2 REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y PESO VOLUMÉTRICO

Después de haber sido mezclados los componentes en cada colado se midieron el revenimiento, contenido de aire y peso volumétrico de acuerdo a las normas señaladas en la metodología. Los resultados de estos valores para la relación A/C de 0.5 se muestran en la Tabla 10 y para la relación A/C de 0.7 en la Tabla 11.

Tabla 10. Revenimientos, contenido de aire y pesos volumétricos de los concretos de A/C 0.5.

ADITIVO	ADITIVO (%)	REVENIMIENTO (cm)	CONTENIDO DE AIRE (%)	PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)
-	-	9.5	2.3	2153.75
SCL	1.5	3.5	2.4	2156.58
SCL	1.0	3.8	2.5	2170.79
SCL	0.5	4.5	2.4	2170.78
CL	1.5	0.0	2.6	2184.87
CL	1.0	2.4	2.5	2180.74
CL	0.5	3.0	2.4	2170.72

Tabla 11. Revenimientos, contenido de aire y pesos volumétricos de los concretos de A/C 0.7.

ADITIVO	ADITIVO (%)	REVENIMIENTO (cm)	CONTENIDO DE AIRE (%)	PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)
-	-	9.0	2.7	2170.79
SCL	1.5	4.0	2.8	2156.58
SCL	1.0	5.0	2.8	2156.58
SCL	0.5	5.0	2.6	2153.75
CL	1.5	3.5	2.9	2153.75
CL	1.0	4.0	2.7	2153.75
CL	0.5	5.0	2.6	2153.75

4.2.3 TIEMPOS DE FRAGUADO

La medición del tiempo de fraguado en el concreto usando los dos tipos de aditivo acelerante se hizo tanto para el fraguado inicial como para el fraguado final. El fraguado inicial indica el momento en que la mezcla deja de ser trabajable, mientras que el fraguado final indica el momento en que comienza el endurecimiento del concreto.

4.2.3 a) TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL

RELACIÓN A/C DE 0.5.- En la Tabla 12 se presenta los tiempos medidos en minutos para el fraguado inicial para cada uno de los concretos fabricados. De aquí en adelante el concreto sin aditivo se representa con una dosis de 0.0 %.

Tabla 12. Tiempos de fraguado inicial para el concreto con A/C de 0.5.

Tipo de aditivo	Dosis relativa de aditivo			
	0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	182 min	179 min	163 min	165 min
CL	182 min	163 min	156 min	146 min

RELACIÓN A/C DE 0.7.- En la Tabla 13 se presenta los tiempos medidos en minutos para el fraguado inicial para cada uno de los concretos fabricados.

Tabla 13. Tiempos de fraguado inicial para el concreto con A/C de 0.7.

Tipo de aditivo	Dosis relativa de aditivo			
	0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	178 min	178 min	179 min	175 min
CL	178 min	177 min	167 min	163 min

En la Figura 1 para las dos A/C se muestra la variación en los tiempos de fraguado inicial para los dos tipos de acelerantes estudiados en términos de dosis absolutas (litros por metro cúbico de concreto) las cuales representan las cantidades reales de aditivo utilizado, que fueron dosificados en términos relativos (porcentaje en pesos respecto a la cantidad de cemento).

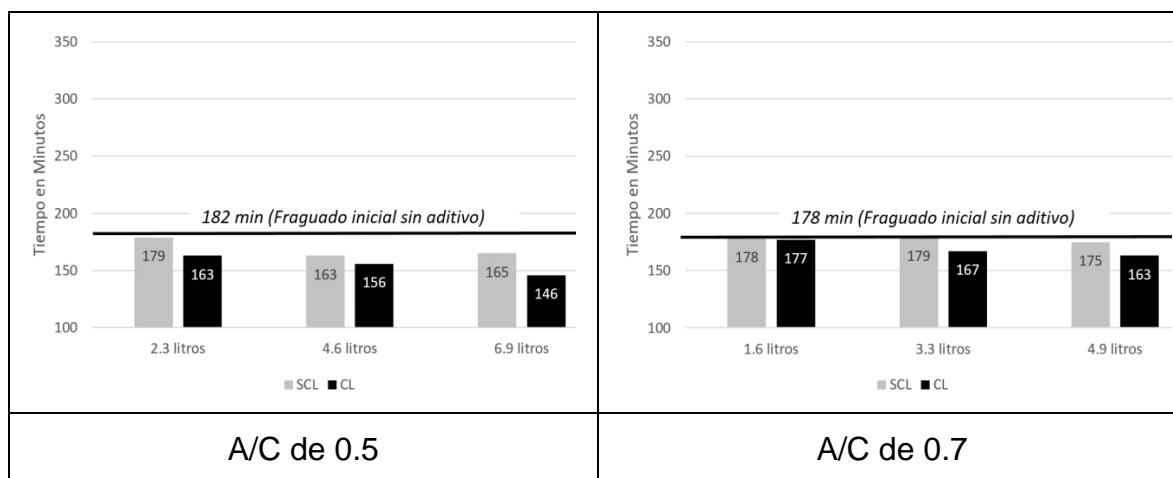


Figura 1. Tiempos de fraguado inicial para los concretos con las diferentes dosis de aditivo en términos absolutos.

4.2.3 b) TIEMPO DE FRAGUADO FINAL

RELACIÓN A/C DE 0.5.- En la Tabla 14 se presenta los tiempos medidos en minutos para el fraguado final para cada uno de los concretos fabricados.

Tabla 14. Tiempos de fraguado final para el concreto con A/C de 0.5.

Tipo de aditivo	Dosis relativa de aditivo			
	0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	286 min	285 min	269 min	262 min
CL	286 min	270 min	223 min	219 min

RELACIÓN A/C DE 0.7.- En la Tabla 15 se presenta los tiempos medidos en minutos para el fraguado final para cada uno de los concretos fabricados.

Tabla 15. Tiempos de fraguado final para el concreto con A/C de 0.7.

Tipo de aditivo	Dosis relativa de aditivo			
	0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	321 min	306 min	297 min	282 min
CL	321 min	288 min	281 min	267 min

En la Figura 2 para las dos A/C se muestra la variación en los tiempos de fraguado final para los dos tipos de acelerantes estudiados en términos de dosis absolutas (litros por metro cúbico de concreto) las cuales representan las cantidades reales de aditivo utilizado, que fueron dosificados en términos relativos (porcentaje en pesos respecto a la cantidad de cemento).

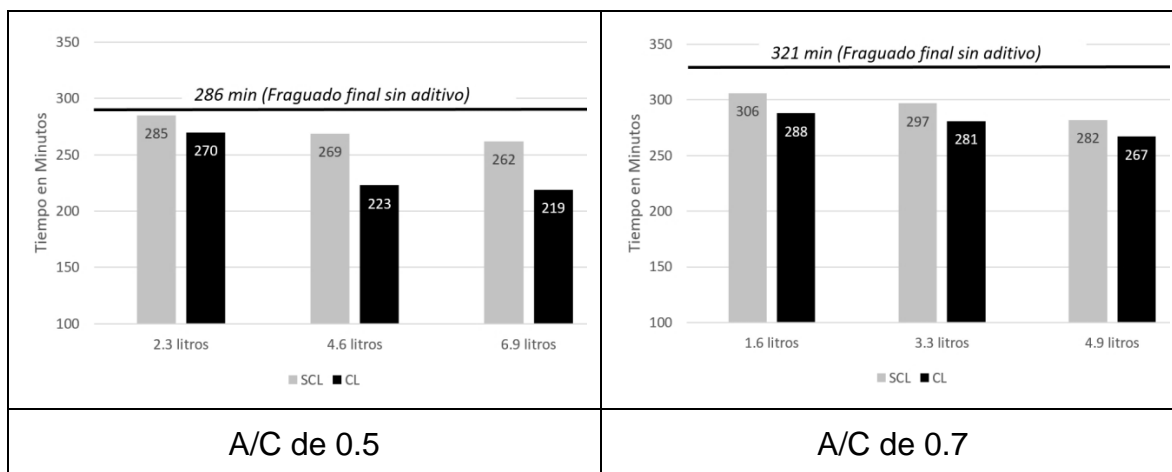


Figura 2. Tiempos de fraguado final para los concretos con las diferentes dosis de aditivo en términos absolutos.

En el Apéndice 4 se pueden consultar los cálculos detallados para obtener los tiempos de fraguado inicial y final de todos los concretos fabricados en este estudio.

4.2.3 c) COMPARACION ENTRE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL

En la Figura 3 se comparan los tiempos de fraguado inicial y final de los concretos, para las dos relaciones de concreto estudiadas y los dos aditivos en sus cuatro dosis. En estas gráficas se han trazado como líneas rectas horizontales los tiempos de fraguado inicial y final medidos en los concretos sin aditivo.

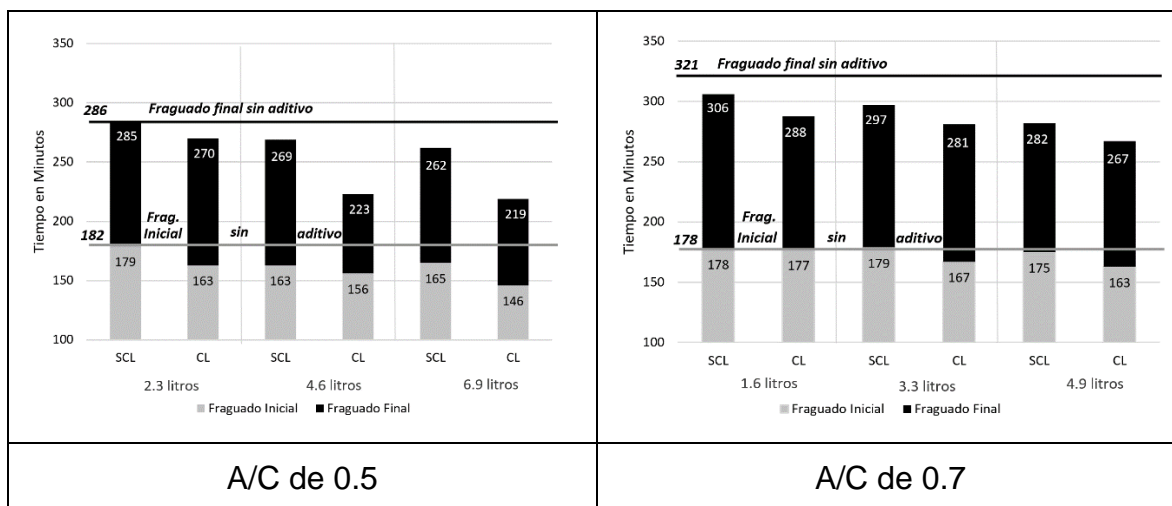


Figura 3. Fraguado inicial y final para las dos A/C con los dos aditivos y las cuatro dosis.

4.2.3 d) ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la Tabla 16 se presentan los valores de la estadística descriptiva de los tiempos de fraguado (tamaño, media y desviación estándar) de las muestras analizadas dividiendo los concretos en dos grupos según el aditivo utilizado (SCL y CL). Para cada tipo de aditivo la muestra incluyó concretos fabricados con las dos A/C y las tres dosis.

Tabla 16. Medias y desviaciones estándar de tiempo de fraguado inicial y final agrupado por tipo de aditivo.

Fraguado	Aditivo	N	Media	Desviación estándar
Inicial	SCL	6	173.166	7.277
	CL	6	162.000	10.430
	Total	12	167.583	10.370
Final	SCL	6	287.000	13.114
	CL	6	258.000	29.664
	Total	12	272.500	26.599

Para probar de una manera estadística si el efecto del aditivo hace diferencia en los tiempos de fraguado se realizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA). Para la muestra de los 6 concretos fabricados con el aditivo SCL y la otra muestra de los 6 concretos fabricados con el aditivo CL, se encontró que sus medias fueron marginalmente diferentes (significancia ligeramente por encima del 0.5). Se obtuvo una F de 4.625 y una probabilidad de 0.057 comparando los tiempos de fraguado inicial de las muestras de concreto con cada aditivo; y una F de 4.797 y una probabilidad de 0.053 comparando los tiempos de fraguado final. El resultado del ANOVA se presenta en Tabla 17.

Tabla 17. ANOVA para diferencia de medias entre los dos tipos de acelerantes estudiados para los tiempos de fraguado.

Fraguado	Grupos	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Inicial	Entre grupos	374.083	1	374.083	4.625	0.057
	Dentro de grupos	808.833	10	80.883		
	Total	1182.917	11			
Final	Entre grupos	2523.000	1	2523.000	4.797	0.053
	Dentro de grupos	5260.000	10	526.000		
	Total	7783.000	11			

En la Tabla 18 se presentan los valores de la estadística descriptiva de los tiempos de fraguado (tamaño, media y desviación estándar) de las muestras analizadas dividiendo los concretos en tres grupos (dosis de 0.5, 1.0 y 1.5). Para cada tipo de aditivo la muestra incluyó concretos fabricados con las dos A/C y los dos tipos de aditivo.

Tabla 18. Medias y desviaciones estándar del tiempo de fraguado inicial y final agrupado por dosis de aditivo.

Fraguado	Dosis	N	Media	Desviación estándar
Inicial	0.5	4	174.250	7.544
	1.0	4	166.250	9.639
	1.5	4	162.250	12.038
	Total	12	167.583	10.370
Final	0.5	4	287.250	14.773
	1.0	4	267.250	31.794
	1.5	4	263.000	30.298
	Total	12	272.500	26.599

Para probar de una manera estadística si el efecto de las dosis de aditivo hace diferencia en los tiempos de fraguado se realizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA). En ninguna de las muestras fabricadas con las tres dosis de aditivo se tuvo diferencias significativas. Se obtuvo una F de 1.520 y una probabilidad de 0.270 comparado los tiempos de fraguado inicial de las muestras de concreto con cada dosis; y una F de 0.937 y una probabilidad de 0.427 comparando los tiempos de fraguado final. El resultado del ANOVA se presenta en Tabla 19.

Tabla 19. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre las proporciones de aditivo estudiadas.

Fraguado	Grupos	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Inicial	Entre grupos	298.667	2	149.333	1.520	0.270
	Dentro de grupos	884.250	9	98.250		
	Total	1182.917	11			
Final	Entre grupos	1314.500	2	670.750	0.937	0.427
	Dentro de grupos	6441.500	9	715.722		

4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A continuación se presentan los resultados de la resistencia a compresión de los concretos con curado húmedo, a las tres edades estudiadas. Posteriormente se comparan los resultados de los concretos con curados húmedo y natural.

4.3.1 RELACION A/C DE 0.5

Para observar el efecto de los aditivos en edades tempranas del concreto se midieron las resistencias a compresión a los 3 y 7 días, las cuales se relacionan con los tiempos de descimbrado. En la Tabla 20 se muestran diferentes valores medidos a estas dos edades con las diferentes dosis de aditivo de los concretos que tuvieron curado húmedo.

Tabla 20. Resistencia (kg/cm²) para la A/C de 0.5 en edades tempranas con curado húmedo.

Tipo de aditivo	Días	Dosis relativa de aditivo			
		0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	3	266	274	273	281
	7	289	289	291	316
CL	3	266	266	271	294
	7	289	288	298	306

Para observar el efecto de los aditivos en los resultados de la prueba estándar del concreto se midió la resistencia a la compresión a los 28 días, la cual es la propiedad que se relaciona con la resistencia de diseño de la estructura. En la Tabla 21 se muestran los diferentes valores medidos con las diferentes dosis de aditivo de los concretos que tuvieron curado húmedo.

Tabla 21. Resistencia (kg/cm^2) para la A/C de 0.5 en la edad de 28 días con curado húmedo.

Tipo de aditivo	Días	Dosis relativa de aditivo			
		0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	28	320	321	327	339
CL		320	320	324	336

Con el fin de observar el efecto de los aditivos estudiados en la velocidad de obtención de resistencia, en la Figura 4 se presenta para la A/C de 0.5 la ganancia de resistencia para las tres edades en el concreto con curado húmedo. Las resistencias están calculadas como un porcentaje del valor obtenido a 28 días en el concreto sin aditivo; este valor de referencia se ha graficado con línea continua de color negro en la figura.

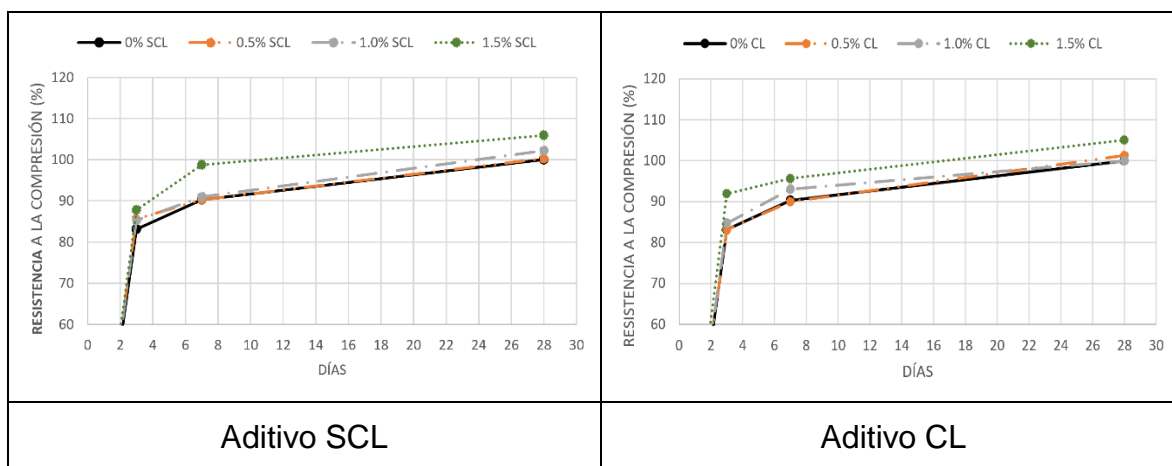


Figura 4. Ganancia de resistencia en porcentajes para edades de 3, 7 y 28 días, para diferentes dosis y tipo de aditivo con curado húmedo en concreto de A/C de 0.5.

4.3.2 RELACION A/C DE 0.7

Para observar el efecto de los aditivos en las edades tempranas del concreto se midieron las resistencias a compresión a los 3 y 7 días que se relacionan con los tiempos de descimbrado. En la Tabla 22 se muestran diferentes valores medidos a estas dos edades con las diferentes dosis de aditivo de los concretos que tuvieron curado húmedo.

Tabla 22. Resistencia (kg/cm²) para la A/C de 0.7 en las edades tempranas con curado húmedo.

Tipo de aditivo	Días	Dosis relativa de aditivo			
		0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	3	189	214	213	216
	7	228	235	237	240
CL	3	189	192	213	226
	7	228	236	245	251

Para observar el efecto de los aditivos en los resultados de la prueba estándar del concreto se midió la resistencia a la compresión a los 28 días, la cual es la propiedad que se relaciona con la resistencia de diseño de la estructura. En la Tabla 23 se muestran diferentes valores con las diferentes dosis de aditivo de los concretos que tuvieron curado húmedo.

Tabla 23. Resistencia (kg/cm²) para la A/C de 0.7 en la edad de 28 días con curado húmedo.

Tipo de aditivo	Días	Dosis relativa de aditivo			
		0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	28	258	288	282	284
CL		258	295	286	300

Con el fin de observar el efecto de los aditivos estudiados en la velocidad de obtención de resistencia del concreto en la Figura 5 se presenta para el concreto de A/C de 0.7 la ganancia de resistencia para las tres edades estudiados en concreto con curado húmedo. Las resistencias están calculadas como el

porcentaje del valor estándar obtenido a 28 días del concreto sin aditivo, este valor de referencia se ha graficado con línea continua color negro en la figura.

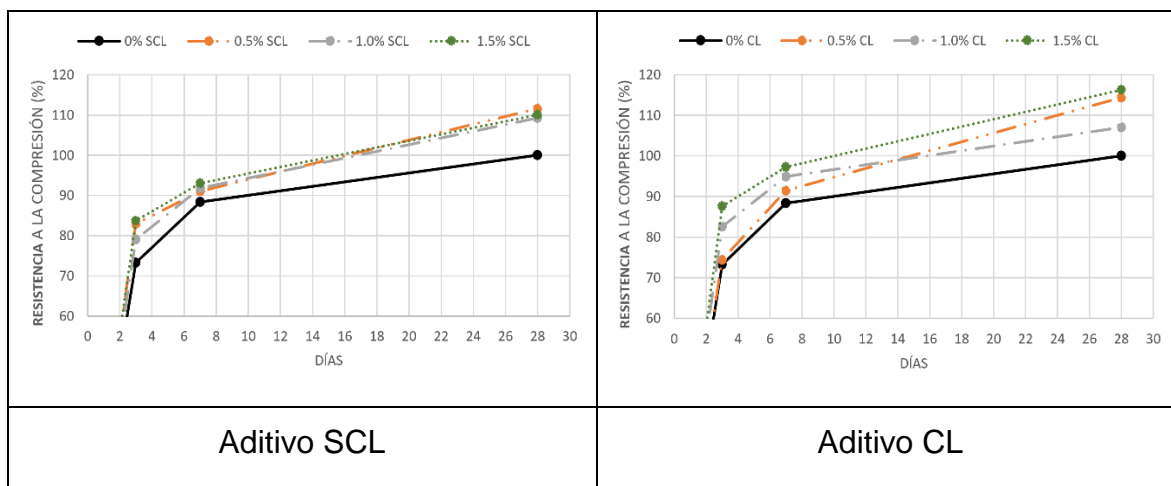


Figura 5. Ganancia de resistencia a la compresión para edades de 3, 7 y 28 días, para diferentes dosis y tipo de aditivo con curado húmedo en concreto de A/C de 0.7.

Para las dos A/C estudiadas en el Apéndice 6 se presenta las ganancias de resistencia en kg/cm^2 por día en los diferentes lapsos de vida del concreto en las edades estudiadas.

4.3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la Tabla 24 se presentan los valores de la estadística descriptiva de la resistencia (tamaño, media y desviación estándar) de las muestras analizadas dividiendo los concretos en dos grupos según el aditivo utilizado (SCL y CL). Para cada tipo de aditivo la muestra incluyó concretos fabricados con las dos A/C y las tres dosis.

Para probar de una manera estadística si el efecto de los dos tipos de aditivo hace diferencia en la obtención de resistencia a la compresión se realizó la prueba ANOVA. Para ninguna de las muestras fabricadas con ambos aditivos se tuvo diferencias significativas entre las medias. Se obtuvo una F de <0.001 y una

probabilidad de 1.000 comparado las resistencias a 3 días, un estadístico F de 0.020 y una probabilidad de 0.890 comparando las resistencias a 7 días y una F de 0.015 y una probabilidad de 0.905 comparando las resistencias a 28 días. El resultado del ANOVA se presenta en Tabla 25.

Tabla 24. Medias y desviaciones estándar de la resistencia en edades de prueba agrupado por tipo de aditivo.

Resistencia	Aditivo	N	Media	Desviación estándar
3 días	SCL	6	243.666	35.758
	CL	6	243.666	39.246
	Total	12	243.666	35.795
7 días	SCL	6	268.000	34.951
	CL	6	270.666	30.144
	Total	12	269.333	31.148
28 días	SCL	6	306.833	25.039
	CL	6	308.500	22.088
	Total	12	307.666	22.528

Tabla 25. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre los tipos de aditivo estudiados.

Resistencia	Grupos	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
3 días	Entre grupos	0.000	1	0.000	0.000	1.000
	Dentro de grupos	14094.667	10	1409.467		
	Total	14094.667	11			
7 días	Entre grupos	21.333	1	21.333	0.020	0.890
	Dentro de grupos	10651.333	10	1065.133		
	Total	10671.667	11			
28 días	Entre grupos	8.333	1	8.333	0.015	0.905
	Dentro de grupos	5574.333	10	557.433		
	Total	5582.667	11			

En la Tabla 26 se presentan los valores de la estadística descriptiva de la resistencia (tamaño, media y desviación estándar) de las muestras analizadas dividiendo los concretos en tres grupos según su dosis (de 0.5, 1.0 y 1.5). Para cada tipo de aditivo la muestra incluyó concretos fabricados con las dos A/C y los dos tipos de aditivo.

Para probar de una manera estadística si el efecto de las dosis de aditivo hace diferencia en la obtención de resistencia a la compresión en las 3 edades estudiadas se realizó la prueba ANOVA. Para ninguna de las muestras fabricadas con las tres dosis de aditivo se tuvo diferencias significativas en las medias. Se obtuvo una F de 0.235 y una probabilidad de 0.795 comparando las resistencias a 3 días, un estadístico F de 0.211 y una probabilidad de 0.814 comparando las resistencias a 7 días y una F de 0.317 y una probabilidad de 0.736 comparando las resistencias a 28 días. El resultado del ANOVA se presenta en la Tabla 27.

Tabla 26. Medias y desviaciones estándar de la resistencia en edades de prueba agrupado por dosis de aditivo.

Resistencia	Dosis	N	Media	Desviación estándar
3 días	0.5	4	236.500	39.845
	1.0	4	240.250	36.854
	1.5	4	254.250	38.973
	Total	12	243.666	35.795
7 días	0.5	4	264.500	33.689
	1.0	4	265.250	28.217
	1.5	4	278.250	38.300
	Total	12	269.333	31.148
28 días	0.5	4	307.000	18.165
	1.0	4	301.250	25.966
	1.5	4	314.750	27.097
	Total	12	307.666	22.528

Tabla 27. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre las dosis de aditivo estudiadas.

Resistencia	Grupos	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
3 días	Entre grupos	700.167	2	350.083	0.235	0.795
	Dentro de grupos	13394.500	9	1488.278		
	Total	14094.667	11			
7 días	Entre grupos	478.167	2	29.083	0.211	0.814
	Dentro de grupos	10194.500	9	1132.72		
	Total	10672.667	11			
28 días	Entre grupos	367.167	2	183.583	0.317	0.736
	Dentro de grupos	5215.500	9	579.500		
	Total	5582.667	11			

4.3.4 EFECTO DEL CURADO

Para evaluar el efecto del curado en el concreto con aditivo, una colección de cilindros se sometió a curado estándar y otra colección de cilindros a ambiente natural. A continuación, se presentan los resultados para cada una de las relaciones A/C estudiadas.

RELACIÓN A/C DE 0.5.- Para observar el efecto del tipo de curado en edades tempranas de vida del concreto, se midieron las resistencias a compresión a los 3 y 7 días. En la Tabla 28 se presentan las resistencias a los 3 y 7 días de los concretos con A/C de 0.5 con los aditivos estudiados y con ambos tratamientos de curado (húmedo y natural).

Tabla 28. Resistencia (kg/cm²) para la A/C de 0.5 a los 3 y 7 días (kg/cm²) con dos tratamientos de curado.

Aditivo	Tipo de Curado	Días	Dosis relativa de aditivo			
			0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	Húmedo	3	266	274	273	281
		7	289	289	291	316
	Natural	3	266	283	278	292
		7	301	321	310	329
CL	Húmedo	3	266	266	271	294
		7	289	288	298	306
	Natural	3	267	268	278	288
		7	301	319	314	339

Para observar el efecto del tipo de curado en la prueba estándar de concreto, se midió la resistencia a la compresión a los 28 días. En la Tabla 29 se presentan las resistencias a los 28 días de los concretos con A/C de 0.5 con los aditivos estudiados y con ambos tratamientos de curado (húmedo y natural).

Tabla 29. Resistencia (kg/cm²) para la A/C de 0.5 a los 28 días (kg/cm²) con dos tratamientos de curado.

Aditivo	Tipo de Curado	Dosis relativa de aditivo			
		0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	Húmedo	320	321	327	339
	Natural	335	340	336	344
CL	Húmedo	320	320	324	336
	Natural	335	340	335	353

RELACIÓN A/C DE 0.7.- Para observar el efecto del tipo de curado en edades tempranas de vida del concreto se midieron las resistencias a compresión a los 3 y 7 días. En la Tabla 30 se presentan las resistencias a los 3 y 7 días de los

concretos con A/C de 0.7 con los aditivos estudiados y con ambos tratamientos de curado (húmedo y natural).

Tabla 30. Resistencia (kg/cm²) para la A/C de 0.7 a los 3 y 7 días (kg/cm²) con dos tratamientos de curado.

Aditivo	Tipo de Curado	Días	Dosis relativa de aditivo			
			0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	Húmedo	3	189	214	213	216
		7	228	235	237	240
	Natural	3	207	214	215	225
		7	242	256	257	258
CL	Húmedo	3	189	192	213	226
		7	228	236	245	251
	Natural	3	207	201	238	233
		7	242	255	261	273

Para observar el efecto del tipo de curado en la prueba estándar de concreto se midió la resistencia a la compresión a los 28 días. En la Tabla 31 se presentan las resistencias a los 28 días de los concretos con A/C de 0.7 con los aditivos estudiados y con ambos tratamientos de curado (húmedo y natural).

Tabla 31. Resistencia (kg/cm²) para la A/C de 0.7 a los 28 días (kg/cm²) con dos tratamientos de curado.

Aditivo	Tipo de Curado	Dosis relativa de aditivo			
		0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
SCL	Húmedo	258	288	282	284
	Natural	269	303	301	302
CL	Húmedo	258	295	286	300
	Natural	269	314	315	324

Con el fin de comparar ambos tratamientos en la Figura 6 se muestran las variaciones entre los datos obtenidos a 28 días con curado húmedo y curado

natural para los aditivos y relaciones estudiadas. Las resistencias están calculadas como un porcentaje del valor obtenido a 28 días en el concreto sin aditivo con curado húmedo; este valor se representa como el 100 % en la escala de los porcentajes de la resistencia a la compresión.

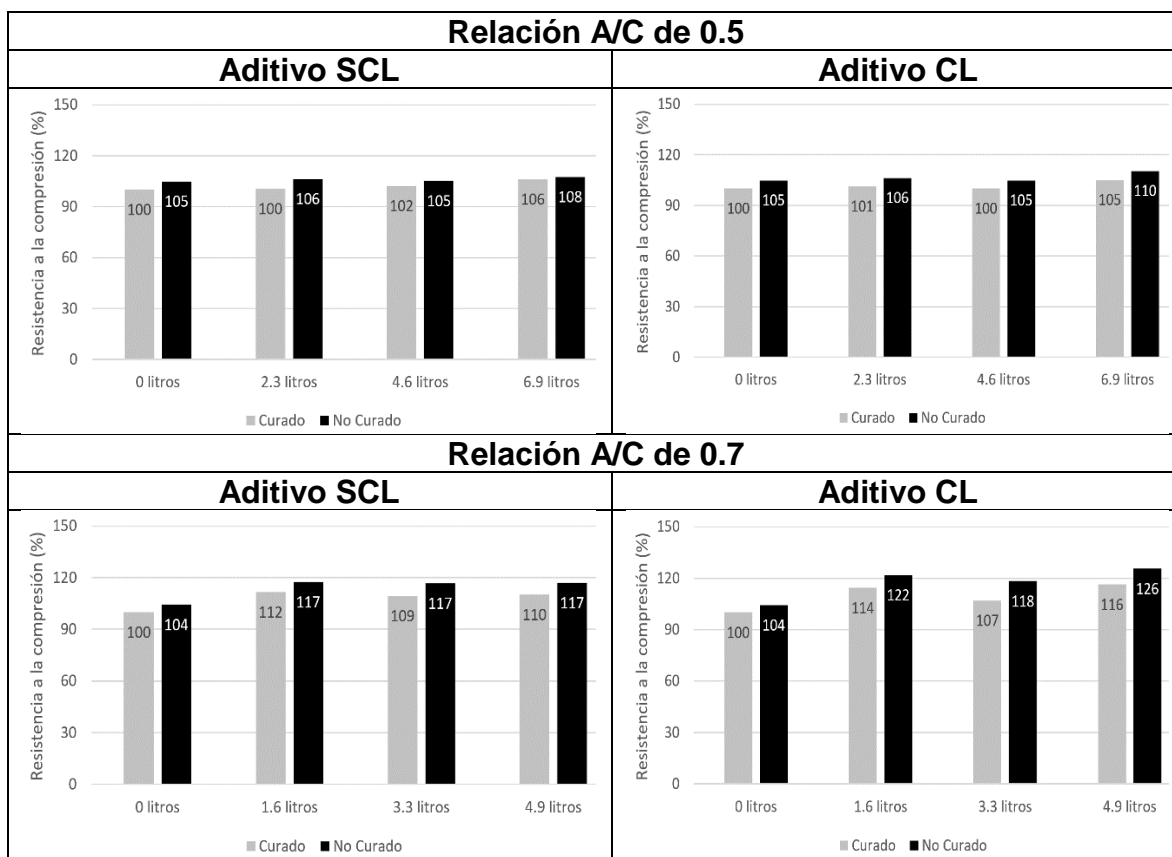


Figura 6. Comparación de las resistencias obtenidas por los dos tratamientos de curados para los aditivos y concretos estudiados.

4.3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la Tabla 32 se presentan los valores de la estadística descriptiva de la resistencia (tamaño, media y desviación estándar) de las muestras analizadas dividiendo los concretos con aditivo SCL en dos grupos (húmedo y natural). Para

cada tipo de curado la muestra incluyó concretos fabricados con las dos A/C y las tres dosis.

Para probar de una manera estadística si el efecto del curado es diferente en la resistencia estándar a 28 días de los concretos con aditivo SCL se realizó la prueba ANOVA. Para ninguna de las muestras sometidas a los dos tipos de curado se tuvo diferencias significativas en las medias. Se obtuvo una F de 1.129 y una probabilidad de 0.313 comparado la resistencia a 28 días. El resultado del ANOVA se presenta en la Tabla 33.

Tabla 32. Medias y desviaciones estándar de la resistencia a 28 días agrupado por tipo de curado.

Resistencia	Curado	N	Media	Desviación estándar
28 días	Húmedo	6	306.833	25.039
	Natural	6	321.000	20.976
	Total	12	313.916	23.231

Tabla 33. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre los dos tratamientos de curado estudiados.

Resistencia	Grupos	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
28 días	Entre grupos	602.083	1	602.083	1.129	0.313
	Dentro de grupos	5334.833	10	533.483		
	Total	5936.917	11			

En la Tabla 34 se presentan los valores de la estadística descriptiva de la resistencia (tamaño, media y desviación estándar) de las muestras analizadas dividiendo los concretos con aditivo CL en dos grupos (Húmedo y Natural). Para

cada tipo de curado la muestra incluyó concretos fabricados con las dos A/C y las tres dosis.

Para probar de una manera estadística si el efecto del curado hace diferencia en la resistencia estándar a 28 días de los concretos con aditivo CL se realizó la prueba ANOVA. Para ninguna de las muestras sometidas a los dos tipos de curado se tuvo diferencias significativas en las medias. Se obtuvo una F de 3.002 y una probabilidad de 0.114 comparado la resistencia a 28 días. El resultado del ANOVA se presenta en la Tabla 35.

Tabla 34. Medias y desviaciones estándar de la resistencia a 28 días agrupado por tipo de curado.

Resistencia	Curado	N	Media	Desviación estándar
28 días	H	6	308.500	22.088
	N	6	328.500	17.649
	Total	12	318.500	21.736

Tabla 35. Análisis ANOVA para diferencia de medias entre los dos tratamientos de curado estudiados.

Resistencia	Grupos	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
28 días	Entre grupos	1200.000	1	1200.000	3.002	0.114
	Dentro de grupos	3997.000	10	399.7000		
	Total	5197.000	11			

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se interpretan los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas y se comparan con estudios anteriores hechos por otros investigadores.

5.1 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

La razón por las cuales se discuten las características de los agregados es porque estos tienen influencia en la resistencia y otras propiedades físicas del concreto; y sin embargo, es común que los constructores no verifiquen estas características de los agregados, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los deseados⁹¹.

Las propiedades físicas de los agregados se encontraron en el rango de valores publicados para los bancos de materiales de la región⁹². Se confirmó el alto valor de la absorción de estas gravas, obteniéndose un valor de 7.05 %; en trabajos recientes se han obtenido valores similares en un rango entre el 7 % y el 10 %. En la Figura 7 se presenta la comparación del valor obtenido en este estudio con los trabajos publicados previamente por de Serrano (2007)⁹³, Gómez (2009)⁹⁴, Terán (2012)⁹⁵, Alcocer (2014)⁹⁶ y Chan (2017)⁹⁷.

⁹¹ Maltese et al. (2008), Op. Cit, pp. 528-536.

⁹² R. Solís & E. Moreno (2011), Op. Cit, pp. 86.

⁹³ C. Serrano (2007), Op. Cit, pp. 123-128.

⁹⁴ F. Gómez (2009), "Manual de supervisión de obras de concreto", Editorial Limusa, pp.114.

⁹⁵ R. Solís, L. Terán & E. Moreno, (2015), "Use of normal-density high-absorption limestone aggregate as internal curing agent in concrete", Canadian Journal of Civil Engineering, 42(11), pp. 827-833.

⁹⁶ M. Alcocer (2014), Estudio de la permeabilidad en el concreto con agregados calizos triturados", Universidad Autónoma de Uucatán, Facultad de ingeniería, 2014, pp.86.

⁹⁷ G. Chan (2017), Op. Cit, pp.73.

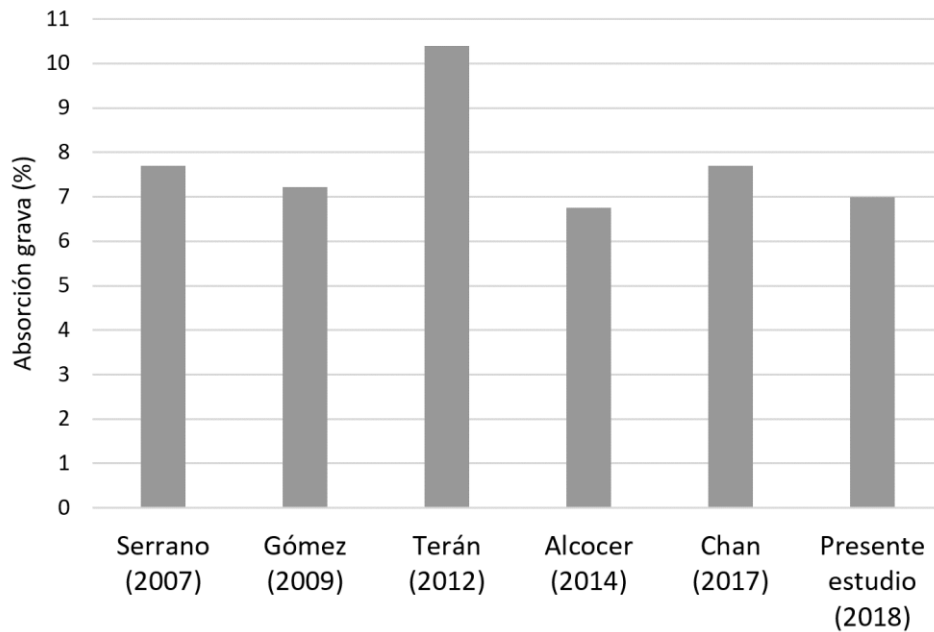


Figura 7. Comparación de valores obtenidos para la absorción de la grava.

En cuanto a la granulometría la grava presentó valores dentro de los límites que marca la norma ASTM C 33⁹⁸, con excepción de la malla de 3/8" (5 % debajo del límite inferior). Por su parte la arena presentó valores dentro de los límites que marca la citada norma, con excepción de la malla las mallas Núm. 50 y 100 (6 % por encima del límite superior). El módulo de finura de la arena estuvo comprendido entre el rango aceptable; en la Figura 8 se presentan valores del módulo de finura obtenidos en estudios previos con los respectivos límites que establece la norma.

⁹⁸ ASTM C33 / C33M-16e1 (2016), "Standard specification for concrete aggregates", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

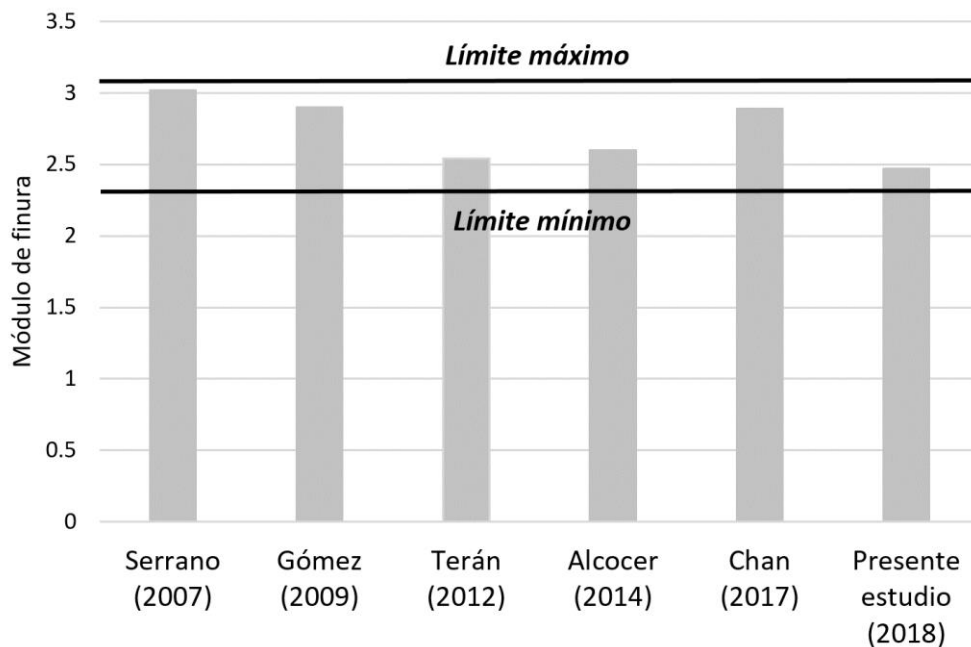


Figura 8. Comparación de los valores del módulo de finura y sus límites.

5.2 CONCRETO FRESCO

En este apartado se interpreta las condiciones en las que se realizaron las pruebas al concreto fresco, así como los resultados de dichas pruebas.

5.2.1 CONDICIONES CLIMATICAS

La principal causa para discutir las condiciones climáticas es la variación que se presenta en el concreto durante periodos en los cuales la temperatura ambiental es muy alta⁹⁹. Existen criterios para determinar poder determinar si es necesario hacer ajustes en los diseños de mezcla por motivo de un cambio considerable en

⁹⁹ J. Ortiz et al. (2012), "Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico", Ingeniería revista académica de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 12-19

la temperatura ambiental; algunos autores han sugerido que incrementos de 10°C amerita una revisión de diseño¹⁰⁰.

En el presente estudio la temperatura ambiental presentó una cierta uniformidad durante todos los 14 procesos de fabricación del concreto. La temperatura al inicio de cada colado osciló entre los valores de 28°C y 30°C; mientras que la temperatura al final de cada colado osciló entre los 30°C y 33°C. Se hace mención en que nunca se tuvieron diferencias mayores a 10°C.

En la Figura 9 se muestra cómo se mantuvo la uniformidad de la temperatura inicial y final durante todos los colados de este estudio. La poca variabilidad en las temperaturas en que se realizaron las pruebas favoreció la obtención de resultados similares¹⁰¹.

La humedad ambiental relativa también tuvo un comportamiento uniforme, oscilando en un rango entre el 88 y 90 %. Es importante hacer notar que los colados empezaron aproximadamente a las 11 am y concluyeron aproximadamente a las 12 del mediodía, durante el verano y el otoño.

¹⁰⁰ I. Soroka (2003), Concrete in hot environments, CRC Press, pp. 112-120.

¹⁰¹ A. Neville (2010), Op. Cit, pp. 64-69.

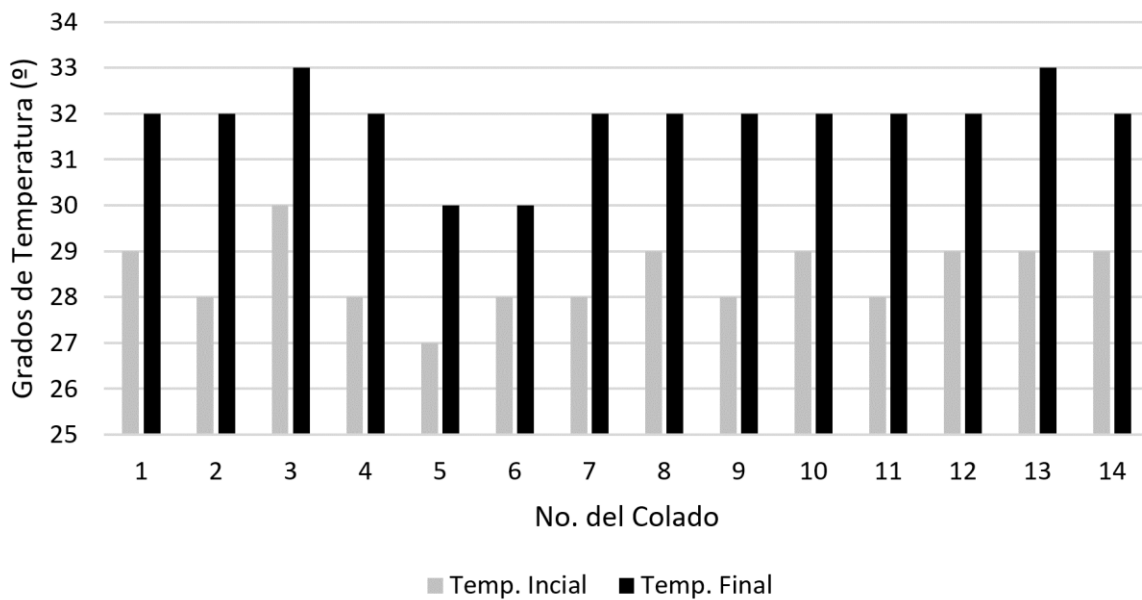


Figura 9. Temperatura inicial y final registrada en todos los colados.

5.2.2 REVENIMIENTO, CONTENIDO DE AIRE Y PESO VOLUMÉTRICO

Para todas las A/C, aditivos y dosificaciones se obtuvo una disminución de revenimiento conforme aumentó la cantidad de aditivo; esto corrobora los estudios de Mejía y Paz (2013)¹⁰² donde se muestran que la pérdida de revenimiento se presenta desde el primer contacto del aditivo acelerante con el concreto.

Para A/C de 0.5 con el aditivo SCL se obtuvo un rango de disminución de revenimiento de -5cm a -6cm. Para A/C de 0.5 con aditivo CL se obtuvo un rango de disminución de revenimiento de -6.5cm a -9.5cm.

Para A/C de 0.7 con el aditivo SCL se obtuvo un rango de disminución de revenimiento de -4cm a 5cm. Para A/C de 0.7 con aditivo CL se obtuvo un rango de disminución de revenimiento de -4cm a -5.5cm.

¹⁰² S. Mejía, J. Paz, (2013), Op. Cit, pp.160.

Es importante recordar que a todas las mezclas con aditivo se les disminuyó un volumen de agua equivalente al volumen de aditivo añadido. En la Figura 10 donde se expresan los valores obtenidos de revenimiento para las dos A/C estudiadas y dosis de aditivo.

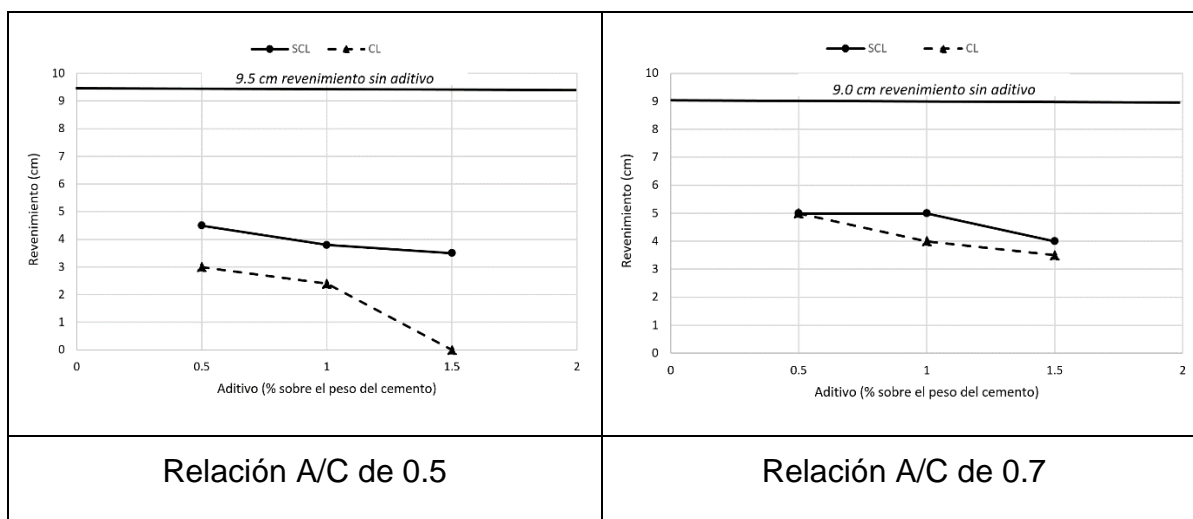


Figura 10. Revenimiento vs dosis de aditivo para las dos A/C estudiadas.

En este estudio se observó el efecto de la pérdida de revenimiento con el uso de aditivo SCL, resultado que difiere del trabajo de Alaejos y Espinosa (2003)¹⁰³ donde se reporta que el aditivo SCL no tuvo efecto significativos en la fluidez del concreto fresco.

Para todas las A/C, aditivos y dosificaciones se obtuvieron valores de contenido de aire muy parecidos a los medidos en el concreto sin aditivo, fluctuando las diferencias entre 0.1 % y 0.3 % de contenido de aire. De tal forma que los contenidos de aire medidos en todas las muestras de concreto siempre se mantuvieron en el rango que marca la norma ASTM C 138¹⁰⁴: entre 1 % a 3 %.

¹⁰³ P. Alaejos & L. Espinosa (2003), Op. Cit, pp. 27-37.

¹⁰⁴ ASTM C138 / C138M – 17 (2017), “Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete”, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

Para todas las A/C, aditivos y dosificaciones se obtuvieron valores de peso volumétrico parecidos a los medidos en el concreto sin aditivo. Para la A/C de 0.5 el peso volumétrico se incrementó en un rango de 17 a 31 kg/cm³, mientras que para la A/C de 0.7 disminuyó para ambos aditivos en 17 kg/cm³.

En la Figura 11 se muestra la comparación de los pesos volumétricos obtenidos en este estudio con algunos trabajos hechos previamente para la A/C de 0.5. En la figura se puede observar un rango de variabilidad que no excede los 116 kg/cm³.

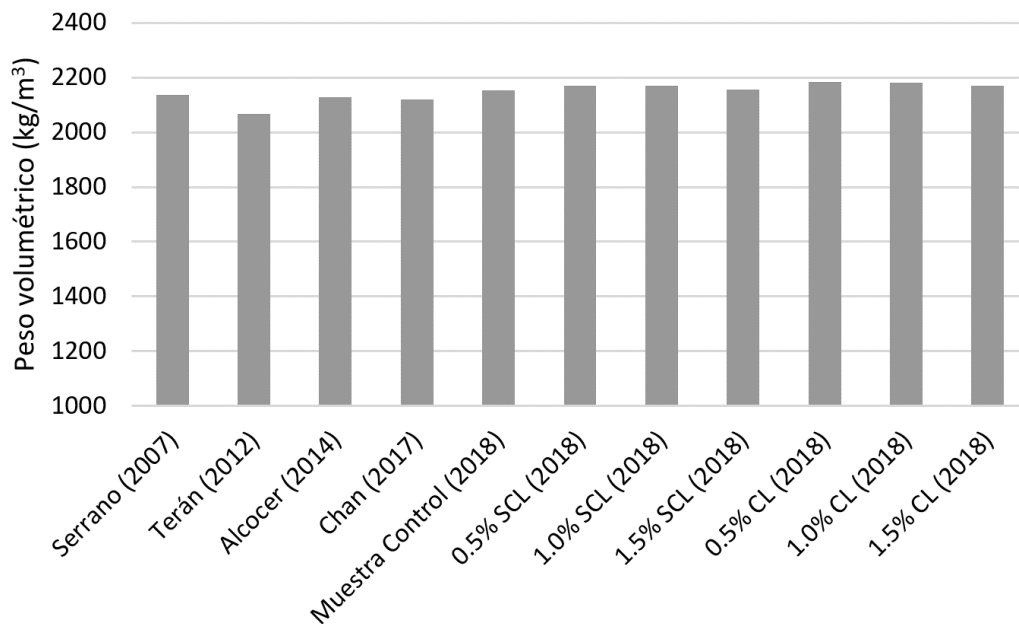


Figura 11. Comparación de pesos volumétricos registrados en este estudio y estudios previos para la relación A/C de 0.5.

En la Figura 12 se muestra la comparación de los pesos volumétricos obtenidos en este estudio con algunos trabajos hechos previamente para la A/C de 0.7. En la figura se puede observar un rango de variabilidad que no excede los 79 kg/cm³.

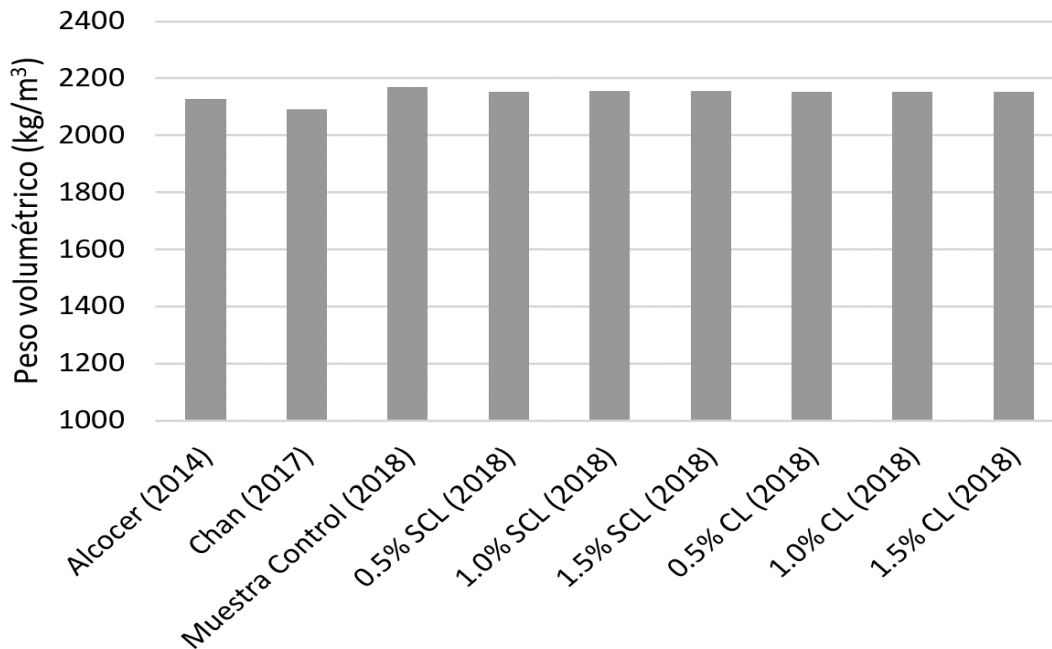


Figura 12. Comparación de pesos volumétricos registrados en este estudio y estudios previos para la relación A/C de 0.7.

En cuanto al peso volumétrico y contenido de aire se puede afirmar que los diferentes valores obtenidos caen dentro de la variabilidad esperada, y ninguno de los dos aditivos modificó significativamente estas propiedades.

5.2.3 TIEMPOS DE FRAGUADO

En este apartado se interpretan los resultados obtenidos en los tiempos de fraguado (inicial y final) en las dos relaciones A/C estudiadas tanto para las muestras control (sin aditivo) como para las muestras con aditivo acelerante en sus tres dosis.

5.2.3 a) TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL

RELACIÓN A/C DE 0.5.- Para el concreto de A/C de 0.5 con aditivo acelerante SCL en la dosis recomendada por el fabricante (1 % sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado inicial de 19 minutos con respecto al mismo concreto sin aditivo. Para el mismo concreto con aditivo acelerante CL

con la misma dosis recomendada (1 % sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado inicial de 26 minutos con respecto al mismo concreto sin aditivo. Con ninguno de los dos tipos de aditivo acelerante se logró una reducción como mencionan los fabricantes del 50 % de tiempo de fraguado inicial (ver Anexo 3).

RELACION A/C de 0.7.- Para el concreto de A/C de 0.7 con aditivo acelerante SCL en la dosis recomendada por el fabricante (1 % sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado inicial de 1 minuto con respecto al mismo concreto sin aditivo. Para el mismo concreto con aditivo acelerante CL con la misma dosis recomendada (1 % sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado inicial de 11 minutos con respecto al mismo concreto sin aditivo. Con ninguno de los dos tipos de aditivo acelerante se logró una reducción del 50 % de tiempo de fraguado inicial.

En la Figura 15 se muestra las variaciones del tiempo fraguado inicial para las dosis de aditivo y A/C estudiadas, el cual fluctuó entre 182 y 146 minutos para la relación A/C de 0.5; y entre 178 y 163 minutos para la relación A/C de 0.7.

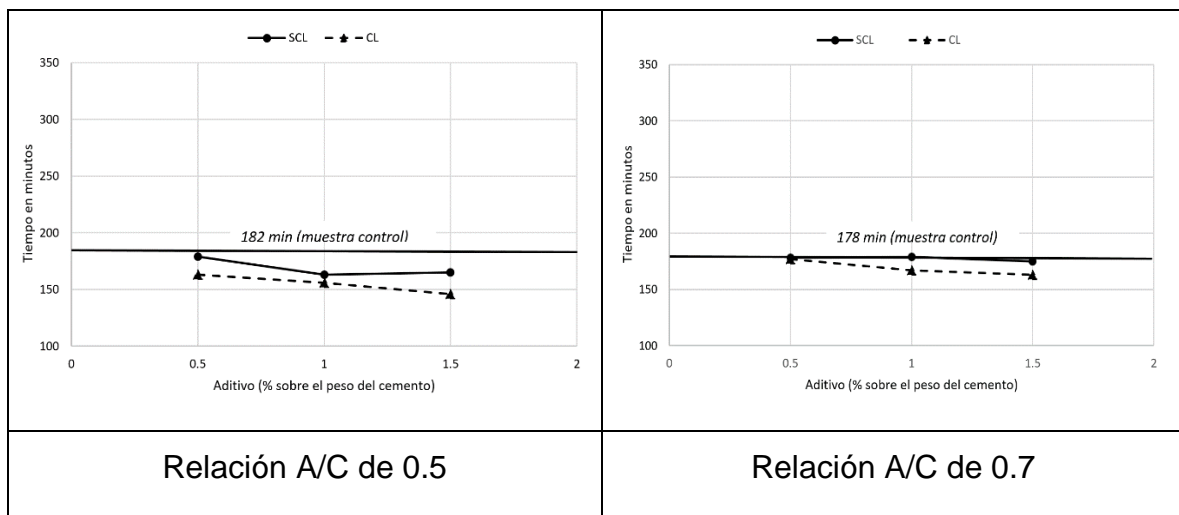


Figura 13. Tiempo de fraguado inicial vs dosis para las dos relaciones A/C estudiadas.

5.2.3 b) TIEMPO DE FRAGUADO FINAL

RELACIÓN A/C DE 0.5.- Para el concreto de A/C de 0.5 con aditivo acelerante SCL en la dosis recomendada por el fabricante (1 % sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado final de 17 minutos con respecto al mismo concreto sin aditivo. Para el mismo concreto con aditivo acelerante CL con la misma dosis recomendada (1% sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado final de 1 hora con 3 minutos con respecto al mismo concreto sin aditivo. Con ninguno de los dos tipos de aditivo acelerante se logró una reducción como menciona el fabricante del 50 % de tiempo de fraguado final (ver Anexo 3).

RELACIÓN A/C DE 0.7.- Para el concreto de A/C de 0.7 con aditivo acelerante SCL en la dosis recomendada por el fabricante (1 % sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado final de 24 minutos con respecto al mismo concreto sin aditivo. Para el mismo concreto con aditivo acelerante CL con la misma dosis recomendada (1 % sobre el peso del cemento) se obtuvo una reducción de tiempo de fraguado final de 40 min con respecto al mismo concreto sin aditivo. Con ninguno de los dos tipos de aditivo acelerante se logró una reducción del 50 % de tiempo de fraguado final.

En la Figura 11 se muestra las variaciones del tiempo fraguado final para las dosis de aditivo y A/C estudiadas, el cual fluctuó entre 286 y 219 minutos para la relación A/C de 0.5 y entre 321 y 267 minutos para la relación A/C de 0.7.

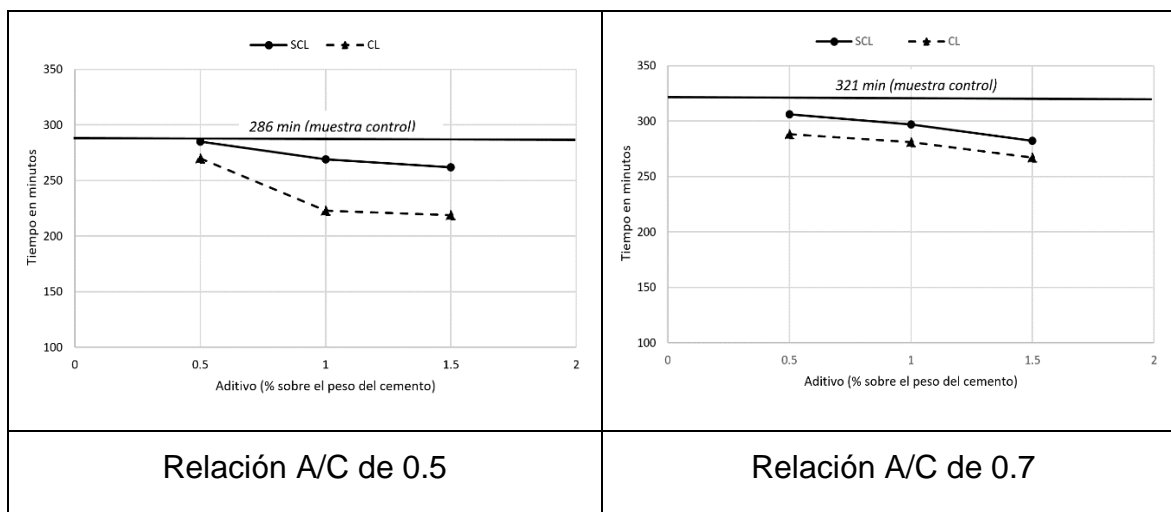


Figura 14. Tiempo de fraguado final vs dosis para las dos relaciones A/C estudiadas.

La diferencia del tiempo de fraguado inicial y final entre las dos relaciones A/C estudiadas sin aditivo es un efecto natural, ya que se ha comprobado que una relación A/C más baja reduce estos tiempos de fraguado¹⁰⁵.

Este comportamiento en el que concretos con mayor dosis de aditivo acelerante tienen menores tiempos de fraguado inicial y final corrobora los estudios hechos en morteros donde el fenómeno ocurre de la misma forma¹⁰⁶. A mayor cantidad de aditivo acelerante se obtienen menores tiempos de fraguados tanto iniciales como finales.

Los efectos en la disminución del tiempo de fraguado no se presentaron como mencionan los fabricantes (reducción del 50 % del tiempo), y en algunos casos los efectos notorios se presentaron con dosificaciones por arriba de las recomendadas; esto pudiese atribuirse al uso de la piedra caliza que como

¹⁰⁵ L. Arnal and M. Betancourt (2010), "Reglamento de construcciones para el Distrito Federal," México, DF, Trillas, pp. 63.

¹⁰⁶ R. Solís (2013), Modelo predictivo de la resistencia del concreto en función de la velocidad de pulso ultrasónico, las características físicas de los agregados y los proporcionamiento, Mérida, Reporte final de investigación al CONACYT, Facultad de ingeniería, pp. 74.

menciona Kumar et al (2013)¹⁰⁷, en los concretos que incorporan este tipo de piedra se experimentan menos velocidades de fraguado en comparación con otros tipos de agregado, esto debido probablemente a la reacción inducida del carbonato cálcico.

Montoya et al (2009)¹⁰⁸ mencionan en su investigación que el aditivo SCL presenta un inferior desempeño como agente de aceleración en la reacción de fraguado en comparación con el aditivo CL, esto se confirma en los resultados del presente estudio donde en todos los casos el aditivo CL siempre tuvo menores tiempos de fraguado en todas las dosis y en las dos A/C.

5.3 RESITENCIA A LA COMPRESIÓN

En este apartado se analiza los resultados de las resistencias obtenidas en las diferentes edades de prueba del concreto tanto para las muestras control (sin aditivo) como para las muestras con aditivo acelerante en su tres dosis en sus dos A/C (0.5 y 0.7).

5.3.1 RELACIÓN A/C DE 0.5

Para la dosificación recomendada por el fabricante de 1.0 % de SCL se presentaron los siguientes resultados; a los 3 días se tuvo una ganancia del 2.6 % con respecto a la muestra control (sin aditivo), a los 7 días se presenta una ganancia de resistencia de 0.6 % con respecto a la muestra control y a los 28 días se presenta una ganancia de resistencia de 2.1 % con respecto a la muestra control. Con esta dosis de aditivo el concreto obtuvo con 4 días de adelanto la resistencia a 28 días del concreto sin aditivo; y la resistencia de 14 días con un adelanto de 2 días.

¹⁰⁷ A. Kumar et al. (2013), Op. Cit, pp. 20-29.

¹⁰⁸ Y. Montoya, A. Cadavid, & M. Gómez (2009), op. Cit, pp. 39-49.

Para la dosificación recomendada por el fabricante de 1.0 % de CL se presentaron los siguientes resultados; a los 3 días se tuvo una ganancia del 1.8 % con respecto a la muestra control (sin aditivo), a los 7 días se presenta una ganancia de resistencia de 3.1 % con respecto a la muestra control y a los 28 días se presenta una ganancia de resistencia de 1.2 % con respecto a la muestra control. Con esta dosis de aditivo el concreto obtuvo con 5 días de adelanto la resistencia a 28 días del concreto sin aditivo; y la resistencia de 14 días con un adelanto de 3 días.

En la Tabla 36 se presentan los días en que se alcanzaron las resistencias de los siguientes dos importantes eventos: descimbrado de elementos a flexión (14 días)¹⁰⁹ y su puesta en servicio (28 días). Por ejemplo, la resistencia obtenida a los 14 días en el concreto de la muestra de control (0.0 %) se obtuvo a los 5 días para ambos aditivos con la dosis de 1.5 %; los días a los que se hace referencia fueron calculados por medio de interpolación lineal de las curvas presentadas en la Figura 4. Para esta A/C se observa la tendencia de que a mayor cantidad de aditivo acelerante, la resistencia a la compresión en sus diferentes edades se obtendrá en menor tiempo.

Tabla 36. Tiempos en los cuales se pueden dar el descimbrado (14 días) y puesta en servicio (28 días) para las diferentes dosificaciones de los aditivos estudiados para A/C de 0.5.

Momento	Aditivo	Días			
		Dosis relativa de aditivo			
		0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
Descimbrado	SCL	14	14	12	5
	CL	14	14	9	5
Puesta en servicio	SCL	28	28	24	11
	CL	28	28	25	16

¹⁰⁹ ACI Committee (2004), "Guide to formwork for concrete", Am. Concr. Inst., pp. 245.

5.3.2 RELACIÓN A/C DE 0.7

Para la dosificación recomendada por el fabricante de 1.0 % de SCL se presentaron los siguientes resultados; a los 3 días se presenta una ganancia del 7.6 % con respecto a la muestra control (sin aditivo), a los 7 días se presenta una ganancia de resistencia de 3.9 % con respecto a la muestra control y a los 28 días se presenta una ganancia de resistencia de 9.3 % con respecto a la muestra control. Con esta dosis de aditivo el concreto obtuvo con 12 días de adelanto la resistencia a 28 días del concreto sin aditivo; y la resistencia de 14 días con un adelanto de 6 días.

Para la dosificación recomendada por el fabricante de 1.0 % de CL se presentaron los siguientes resultados; a los 3 días se presenta una ganancia del 12.6 % con respecto a la muestra control (sin aditivo), a los 7 días se presenta una ganancia de resistencia de 7.4 % con respecto a la muestra control y a los 28 días se presenta una ganancia de resistencia de 6.9 % con respecto a la muestra control. Con esta dosis de aditivo el concreto obtuvo con 13 días de adelanto la resistencia a 28 días del concreto sin aditivo; y la resistencia de 14 días con un adelanto de 8 días.

En la Tabla 37 se presentan los días en que se alcanzaron las resistencias de los siguientes dos importantes eventos: descimbrado de elementos a flexión (14 días)¹¹⁰ y su puesta en servicio (28 días). Por ejemplo, la resistencia obtenida a los 28 días en el concreto de la muestra de control (0.0 %) se obtuvo para la dosis de 1.5 a los 16 días para el SCL y a los 10 días para el CL; los días a los que se hace referencia fueron calculados por medio de interpolación lineal de las curvas presentadas en la Figura 5. Para esta A/C, también se observa la tendencia de

¹¹⁰ ACI Committee (2004), Op. Cit, pp. 74, pp. 245.

que a mayor cantidad de aditivo acelerante, la resistencia a la compresión en sus diferentes edades se obtendrá en menor tiempo.

Tabla 37. Tiempos en los cuales se pueden dar el descimbrado (14 días) y puesta en servicio (28 días) para las diferentes dosificaciones de los aditivos estudiados para A/C de 0.7.

Momento	Aditivo	Días			
		Dosis relativa de aditivo			
		0.0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
Descimbrado	SCL	14	8	8	7
	CL	14	7	6	4
Puesta en servicio	SCL	28	17	16	16
	CL	28	15	15	10

5.3.3 MODELO DE RESISTENCIA A EDADES TEMPRANAS

Sánchez (2017)¹¹¹ desarrollo, para concretos de la misma región, un modelo de predicción de la resistencia del concreto a edades tempranas con respecto a la resistencia alcanzada a los 28 días por los mismos concretos. Para fines de validación del modelo se hace el siguiente análisis.

RELACIÓN A/C DE 0.5.- En la Figura 15 se compara este modelo (en color verde) con los porcentajes de resistencias calculados en el presente estudio para el aditivo SCL en sus diferentes dosis; todas las resistencias están calculadas como un porcentaje respecto de la resistencia alcanzada a los 28 días por cada tipo de concreto. Para la edad de 3 días hubo una diferencia de 20 % en la resistencia entre el concreto sin aditivo de este estudio y el modelo de Sánchez; y una diferencia en un rango de 20 % a 22 % entre los concretos con SCL de este

¹¹¹ E. Sánchez (2017), "Comportamiento elástico y plástico del concreto con agregado calizo de alta absorción a edades tempranas," Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, pp. 46-49.

estudio y el modelo de Sánchez. Para la edad de 7 días hubo una diferencia de 11 % en la resistencia entre el concreto sin aditivo de este estudio y el modelo de Sánchez; y una diferencia en un rango de 11 % a 14 % entre los concretos con SCL de este estudio y el modelo de Sánchez.

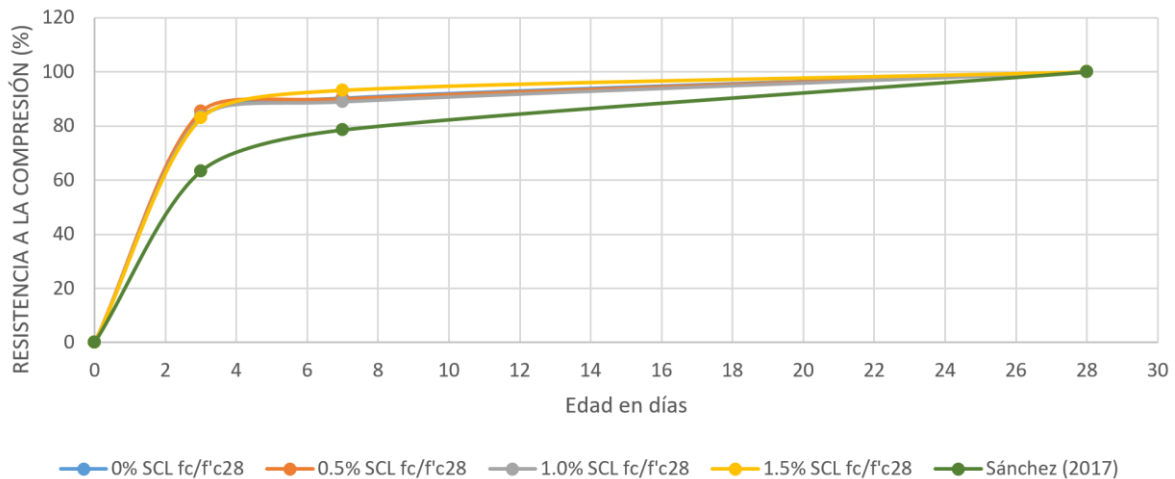


Figura 15. Resistencia a la compresión vs edad para la A/C de 0.5 con aditivo SCL.

RELACIÓN A/C DE 0.7.- En la Figura 16 se compara este modelo (en color verde) con los porcentajes de resistencias calculados en el presente estudio para el aditivo SCL en sus diferentes dosis; todas las resistencias están calculadas como un porcentaje respecto de la resistencia alcanzada a los 28 días por cada tipo de concreto. Para la edad de 3 días hubo una diferencia de 10 % en la resistencia entre el concreto sin aditivo de este estudio y el modelo de Sánchez; y una diferencia en un rango de 11 % a 13 % entre los concretos con SCL de este estudio y el modelo de Sánchez. Para la edad de 7 días hubo una diferencia de 9 % en la resistencia entre el concreto sin aditivo de este estudio y el modelo de Sánchez; y una diferencia en un rango de 3 % a 6 % entre los concretos con SCL de este estudio y el modelo de Sánchez.

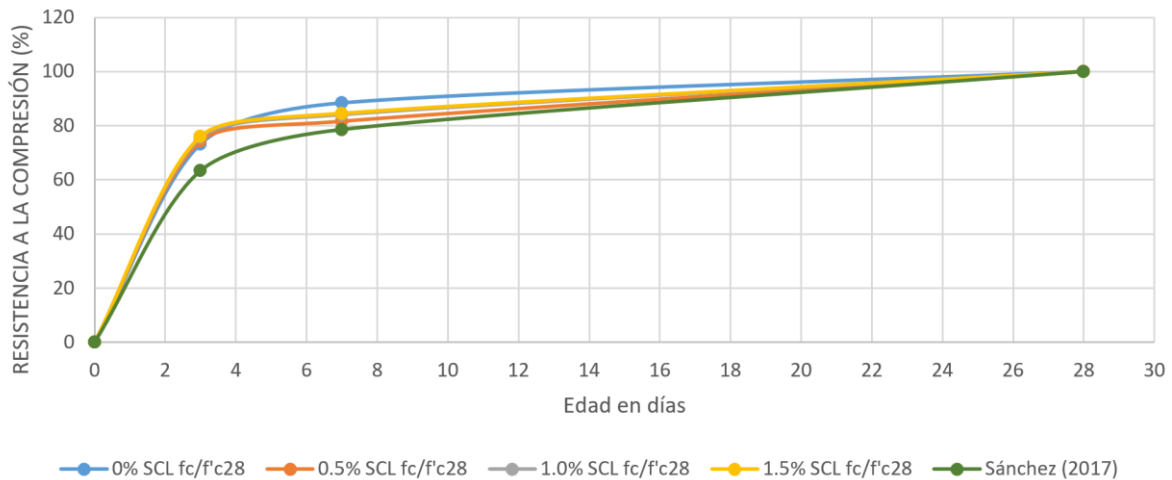


Figura 16. Resistencia a la compresión vs edad para la A/C de 0.7 con aditivo SCL.

En el Anexo 4 se presentan los datos que aparecen en las figuras 15 y 16 y la ecuación del modelo de Sánchez.

5.3.4 EFECTO DEL CURADO

En este apartado se discute la influencia del curado en el desarrollo de la resistencia para los concretos con aditivo acelerante. La literatura de la tecnología del concreto ha sido constante en publicar que el curado es de gran importancia en la obtención de mayor resistencia a la compresión en el concreto¹¹².

RELACIÓN A/C DE 0.5.- En la Tabla 38 se presentan los valores de resistencia a la compresión de los concretos para los dos tratamientos de curado, y de las variaciones calculada como la diferencia entre la resistencia con curado húmedo y curado natural. En esta tabla se observa, que al igual que en otros trabajos reportados¹¹³, el curado húmedo no incrementó la resistencia respecto al curado natural. Solís et al. han atribuido este efecto a la alta porosidad de los agregados

¹¹² ACI Committee 211 (2002), "211.1-91: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete", pp. 38.

¹¹³ R. Solís et al. (2015), pp. 827-833.

de la región que podrían producir un curado interno; también han atribuido la menor resistencia del concreto con curado húmedo al efecto de la semi saturación de la probeta.

Tabla 38. Resistencias a compresión obtenidas con los dos tratamientos de curado para A/C de 0.5.

Tratamiento de curado		Aditivo	%	Húmedo	Natural	Variación	
Edad de prueba	3 días	-	0.0	266	267	-0.3 %	
	7 días			289	301	-4.2 %	
	28 días			320	335	-4.7 %	
	3 días	SCL	0.5	274	283	-3.3 %	
	7 días			289	321	-11.1 %	
	28 días			321	340	-5.9 %	
	3 días		1.0	273	278	-1.8 %	
	7 días			291	310	-6.5 %	
	28 días			327	336	-2.8 %	
	3 días	1.5	1.5	281	292	-3.9 %	
	7 días			316	329	-4.1 %	
	28 días			338	344	-1.8 %	
	3 días	CL	0.5	266	268	-0.8 %	
	7 días			298	319	-7.0 %	
	28 días			324	340	-4.9 %	
	3 días		1.0	1.0	371	278	-2.6 %
	7 días				288	314	-9.0 %
	28 días				320	335	-4.7 %
3 días	1.5		1.5	288	294	-2.1 %	
7 días				306	339	-10.8 %	
28 días				336	353	-5.1 %	

En un trabajo publicado por Serrano¹¹⁴ se reportó una variación de -5.0 % entre la resistencia del concreto con curado húmedo y natural; lo anterior para A/C de 0.5 a la edad de 28 días, utilizando agregados de la misma región. La variación reportada por Serrano fue muy similar a la del presente estudio (-4.7 %).

¹¹⁴ C. Serrano (2007), Op. Cit, pp. 123-128.

RELACIÓN A/C DE 0.7.- En la Tabla 39 presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo para la relación A/C de 0.7, los cuales muestran la misma tendencia a obtener mejores resistencias en los concretos que tuvieron curado natural.

Tabla 39. Resistencias a compresión obtenidas con los dos tratamientos de curado para A/C de 0.7.

Tratamiento de curado		Aditivo	%	Húmedo	Natural	Variación
Edad de prueba	3 días	-	0.0	189	207	-9.5 %
	7 días			228	242	-6.1 %
	28 días			258	269	-4.2 %
	3 días	SCL	0.5	214	214	0.0 %
	7 días			235	256	-8.9 %
	28 días			288	303	-5.2 %
	3 días		1.0	204	215	-5.4 %
	7 días			237	257	-8.4%
	28 días			282	301	-6.7 %
	3 días		1.5	216	225	-4.2 %
	7 días			240	258	-7.5 %
	28 días			284	302	-6.3 %
	3 días	CL	0.5	192	201	-4.7 %
	7 días			236	255	-8.1 %
	28 días			295	314	-6.4 %
	3 días		1.0	213	238	-11.7 %
	7 días			245	261	-6.5 %
	28 días			276	305	-10.5 %
	3 días		1.5	226	233	-3.1 %
	7 días			251	273	-8.8 %
	28 días			300	324	-8.0 %

5.4 REVISIÓN DE LA CANTIDAD DE CLORUROS

Por medio de la prueba de estequiometría se determinó la cantidad de cloruros contenidos en el aditivo Sikaset L. La prueba fue realizada en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UADY (FIUADY), dando

por resultado un contenido de 0.264 kg/l. Los detalles de este cálculo se presentan en el Anexo 5.

De acuerdo con el Anexo 6 en el cual se presentan las características del agua utilizada para la fabricación de las mezclas, se puede considerar que ésta contiene en forma natural en promedio 0.000225 kg/l de cloruros¹¹⁵.

Considerando las cantidades de cloruros contenidas en el aditivo utilizado y en el agua de mezclado se calculó el total de los cloruros introducidos al concreto por estos dos materiales en cada mezcla con CL. En la Tabla 40 se presentan los volúmenes correspondientes. Para un mejor entendimiento de los cálculos se ejemplifica el caso de A/C de 0.5 y dosis de 1.5 %: 1.820 es el resultado del producto de los 6.9 litros del aditivo que se utilizó por m³ de concreto, por los 0.264 kg de cloruros contenidos en un litro del aditivo; y 0.056 es el resultado del producto de los 249.81 litros de agua que se utilizó por m³ de concreto, por los 0.000225 kg de cloruros contenidos en el agua de mezclado.

Tabla 40. Cloruros introducidos a las mezclas por el aditivo CL y el agua.

A/C	%	Por el aditivo CL (kg/m³)	Por el agua (kg/m³)	Cloruros totales (kg/m³)
0.5	1.5	1.822	0.056	1.878
	1.0	1.214	0.057	1.271
	0.5	0.607	0.057	0.664
0.7	1.5	1.302	0.056	1.358
	1.0	0.861	0.057	0.917
	0.5	0.433	0.057	0.490

Estudios realizados en la Península de Yucatán han mostrado que el nivel de cloruros que son iniciadores de la corrosión, han en el caso más crítico, de 2.0

¹¹⁵ J. Pacheco, A. Cabrera & R. Pérez (2004), "Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán México", Revista de Ingeniería 8-2, pp. 165-179.

kg/m³ de concreto¹¹⁶. Debido a que este umbral no debería de rebasarse para que los concretos puedan ser durables, es claro que el aditivo CI debe utilizarse con suma precaución, limitando su dosis y verificando que el medioambiente no contenga cloruros adicionales.

Por otra parte, en estudios realizados en construcciones que se encuentran en la zona costera del Estado de Yucatán se han medido cantidades de cloruros en el concreto en un rango de 2.5 a 3.9 kg/m³; estas construcciones mostraban en el momento del estudio daños severos por corrosión del acero de refuerzo, con una exposición al ambiente marino entre 15 y 30 años¹¹⁷. En el Anexo 7 se muestra el reporte fotográfico con los daños observados en ese estudio.

5.5 COMPARATIVA ECONOMICA

Para poder observar los posibles beneficios económico del uso del aditivo, a continuación se analiza un sistema estructural que consta de: 11 trabes de 8 metros de largo con volados en ambos lados de 2.30 metros, con sección de 0.40m de alto y 0.30 de ancho; 10 tableros de losa de vigueta y bovedilla con un área de 12.60 x 3.20 metros; y 20 cerramientos de 3.20 metros de largo, con sección de 0.40m de alto y 0.30 de ancho. En el Apéndice 8 se presenta el croquis de esta estructura. Considérese el uso de concreto con A/C de 0.5 y aditivos acelerantes con una dosis de 1.5 %.

Para hacer el análisis se plantearon los siguientes 3 casos:

Caso 1. Usar un juego de cimbra para las 11 trabes, 10 tableros de losas y 20 cerramientos, colando todo el sistema constructivo en un solo evento.

¹¹⁶ P. Casto, L. Véleva, & M. Balancán (1997), "Corrosion of reinforced concrete in a tropical marine environment and in accelerated test," *Construction and building materials* 11, pp. 75-81.

¹¹⁷ E. Moreno, R. Solís, & R. Márquez (2014), "Corrosion of Beach Concrete Housing in the Yucatán Peninsula", *Int. J. Electrochem. Sci*, 9, pp. 1355-1365.

Caso 2. Usar un juego de cimbra para 6 traveses, 5 tableros de losas y 10 cerramientos, colando el sistema constructivo en dos eventos y usando el aditivo SCL en dosis de 1.5 %.

Caso 3. Usar un juego de cimbra para 6 traveses, 5 tableros de losas y 10 cerramientos, colando el sistema constructivo en dos eventos y usando el aditivo SL en dosis de 1.5 %.

Se hicieron los análisis para poder obtener el costo de la cimbra de cada elemento. En la Tabla 40 se presenta los elementos para un tablero de cimbra de losa y su costo; en la Tabla 41 se presenta para los elementos para un juego de traveses y su costo y en la Tabla 42 se presenta para los elementos para un juego de cerramientos y su costo. Posteriormente en las tablas 43, 44 y 45 se hace la conversión a costo por m² de cimbra de contacto de cada elemento. Todos los precios están en pesos mexicanos a mayo del 2018.

Tabla 41. Análisis de materiales y costo de cimbra para un tablero de losa.

Insumo	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
Madrina (4"x4"X2.44 m)	27	pieza	385	10,395.00
Puntales (4"x4"X2.44 m)	54	pieza	385	20,790.00
Contraventeos (1"x4"X2.44 m)	27	pieza	80	2,160.00
Cuña (1"x4"X2.44 m)	14	pieza	80	1,120.00
Arrastre (4"x4"X2.44 m)	21	pieza	385	8,085.00
Clavos	14	kg	28	392.00
			Total	\$ 42,942.00

Tabla 42. Análisis de materiales y costo de cimbra para una trabe.

Insumo	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio total
Triplay	7	Pieza	622	4,354.00
Puntal (4"x2"x2.44M)	13	Pieza	94	1,222.00
Larguero 1 (4"x4"x2.44M)	13	Pieza	385	5,005.00
Larguero 2 (4"x2"x2.44M)	13	Pieza	94	1,222.00
Barrotes (4"x2"x2.44M)	13	Pieza	94	1,222.00
Patas de Gallo (4"x2"x2.44M)	26	Pieza	94	2,444.00
Pie Derecho (4"x4"x2.44M)	13	Pieza	385	5,005.00
Arrastres (4"x4"x2.44M)	10	Pieza	385	3,850.00
Madrinas (4"x4"x2.44M)	13	Pieza	385	5,005.00
Clavos	16	kg	28	448.00
			Total	\$ 29,777.00

Tabla 43. Análisis de materiales y costo de cimbra para un cerramiento.

Insumo	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio total
Triplay	2	Pieza	622	1,244.00
Puntal (4"x2"x2.44M)	4	Pieza	94	376.00
Larguero 1 (4"x4"x2.44M)	4	Pieza	385	1,540.00
Larguero 2 (4"x2"x2.44M)	4	Pieza	94	376.00
Barrotes (4"x2"x2.44M)	4	Pieza	94	376.00
Patas de Gallo (4"x2"x2.44M)	7	Pieza	94	658.00
Pie Derecho (4"x4"x2.44M)	4	Pieza	385	1,540.00
Arrastres (4"x4"x2.44M)	3	Pieza	385	1,155.00
Madrinas (4"x4"x2.44M)	4	Pieza	385	1,540.00
Clavos	4	kg	28	112.00
			Total	\$ 8,917.00

Tabla 44. Calculo de precio unitario de cimbra de losa.

Calculo de P.U.	
Costo de un tablero (\$)	42,942
Área de un tablero (m ²)	40.32
Costo por m ²	\$ 1,065.03

Tabla 45. Calculo de precio unitario de cimbra de trabe.

Calculo de P.U.	
Costo de un juego cimbra (\$)	29,777
Área de contacto de una trabe (m ²)	13.86
Costo por m ²	\$ 2,148.41

Tabla 46. Calculo de precio unitario de cimbra de cerramiento.

Calculo de P.U.	
Costo de un juego cimbra (\$)	8,917
Área de contacto de un cerramiento (m ²)	3.2
Costo por m ²	\$ 2,786.56

A continuación, se presentan en las Tablas 46-48 el análisis económico de cada uno de los casos propuestos. Las unidades de habilitado, colocación, descimbrado y costo de la cimbra están en función de los m² de cimbra de contacto. Los precios unitarios del habilitado, colocación y descimbrado, así como los rendimientos de las cuadrillas se pueden observar del Apéndice 9 al 14.

La cantidad de aditivo acelerante utilizado en los análisis económicos puede observar en el Apéndice 15.

En la Tabla 46 se presenta el Caso 1; las cantidades están consideradas por los m² de contacto de cimbra que se tienen en cada elemento (trabe, losa y cerramiento). Para este caso se habilita, colocan, descimbra y se compra la misma cantidad de componentes de la cimbra. Las cantidades analizadas fueron: 11 trabes, 10 tableros de losa y 20 cerramientos.

Tabla 47. Análisis de costo del Caso 1.

Insumo	PU (\$)	Cantidad	Unidad	Costo Total (\$)
Habilitado de Cimbra Trabe	98.62	152.46	m ²	15,035.37
Colocación de Cimbra Trabe	73.96	152.46	m ²	11,276.53
Descimbrado Trabe	73.96	152.46	m ²	11,276.53
Costo de Cimbra Trabe	2,148.41	152.46	m ²	327,547.00
Habilitado de Cimbra Losa	106.75	405.2	m ²	43,256.87
Colocación de Cimbra Losa	80.07	405.2	m ²	32,442.65
Descimbrado Losa	80.07	405.2	m ²	32,442.65
Costo de Cimbra Losa	1,065.03	405.2	m ²	431,550.06
Habilitado de Cimbra Cerramiento	98.62	70.4	m ²	6,942.85
Colocación de Cimbra Cerramiento	73.96	70.4	m ²	5,206.78
Descimbrado Cerramiento	73.96	70.4	m ²	5,206.78
Costo de Cimbra Cerramiento	2,786.56	70.4	m ²	196,174.00
Costo Aditivo	0.00	0	l	0.00
			Total	1,118,358.08

En la Tabla 47 se presenta el Caso 2, en el cual se compra y habilita la mitad de los componentes de la cimbra, y los demás valores se mantiene constantes (colocación y descimbrado), debido a que la utilización del aditivo acelerante SCL hace posible colar dos veces. Las cantidades analizadas fueron: 6 trabes, 5 tableros de losa y 10 cerramientos.

Tabla 48. Análisis de costo del Caso 2.

Insumo	PU (\$)	Cantidad	Unidad	Costo Total
Habilitado de Cimbra Trabe	98.62	83.16	m ²	8,201.11
Colocación de Cimbra Trabe	73.96	152.46	m ²	11,276.53
Descimbrado Trabe	73.96	152.46	m ²	11,276.53
Costo de Cimbra Trabe	2,148.41	83.16	m ²	178,662.00
Habilitado de Cimbra Losa	106.75	202.60	m ²	21,628.43
Colocación de Cimbra Losa	80.07	405.20	m ²	32,442.65
Descimbrado Losa	80.07	405.20	m ²	32,442.65
Costo de Cimbra Losa	1,065.03	202.60	m ²	215,775.03
Habilitado de Cimbra Cerramiento	98.62	35.20	m ²	3,471.42
Colocación de Cimbra Cerramiento	73.96	70.40	m ²	5,206.78
Descimbrado Cerramiento	73.96	70.40	m ²	5,206.78
Costo de Cimbra Cerramiento	2,786.56	35.20	m ²	98,087.00
Costo Aditivo	175.00	306.86	l	78,043.14
			Total	677,377.43

En la Tabla 48 se presenta el Caso 3, en el cual se compra y habilita la mitad de los componentes de la cimbra, y los demás valores se mantiene constantes (colocación y descimbrado), debido a que la utilización del aditivo acelerante SCL hace posible colar dos veces. Las cantidades analizadas fueron: 6 trabes, 5 tableros de losa y 10 cerramientos.

Tabla 49. Análisis de costo del Caso 3.

Insumo	PU (\$)	Cantidad	Unidad	Costo Total
Habilitado de Cimbra Trabe	98.62	83.16	m ²	8,201.11
Colocación de Cimbra Trabe	73.96	152.46	m ²	11,276.53
Descimbrado Trabe	73.96	152.46	m ²	11,276.53
Costo de Cimbra Trabe	2,148.41	83.16	m ²	178,662.00
Habilitado de Cimbra Losa	106.75	202.6	m ²	21,628.43
Colocación de Cimbra Losa	80.07	405.2	m ²	32,442.65
Descimbrado Losa	80.07	405.2	m ²	32,442.65
Costo de Cimbra Losa	1,065.03	202.6	m ²	215,775.03
Habilitado de Cimbra Cerramiento	98.62	35.2	m ²	3,471.42
Colocación de Cimbra Cerramiento	73.96	70.4	m ²	5,206.78
Descimbrado Cerramiento	73.96	70.4	m ²	5,206.78
Costo de Cimbra Cerramiento	2,786.56	35.2	m ²	98,087.00
Costo Aditivo	125.00	306.86	l	37,163.40
			Total	662,034.43

Modificando la dosis de aditivo a 1.0 % y repitiendo los cálculos se obtuvieron también los costos para los Casos 4 y 5 considerando en ambos dos colados; en el caso 4 considerando aditivo SCL y en el 5 con CL. En la Tabla 49 se presenta la comparación de los costos de los cinco casos para ambas dosis de aditivo. En todos ellos el uso de aditivo mostro ser una opción económica.

Tabla 50. Comparación de costos de los tres casos.

Dosis	Caso	Costo (\$)	Diferencia respecto Caso 1 (\$)	Porcentaje de ahorro
1.5 %	1	1,118,358.08	-	-
	2	677,377.43	440,980.65	39.43
	3	662,034.43	456,323.65	40.80
1.0 %	4	659,476.68	458,881.40	41.03
	5	649,248.18	469,109.90	41.95

6. CONCLUSIONES

- Para la A/C de 0.5 y la dosificación de 1.5 %, el aditivo SCL presentó una reducción del 10.4 % del tiempo de fraguado inicial y del 5.9% del tiempo de fraguado final, estas reducciones no llegaron al efecto ideal mencionada por los fabricantes (reducción del 50 %).
- Para la A/C de 0.5 y la dosificación de 1.5 %, el aditivo CL presentó una reducción del 14.3 % del tiempo de fraguado inicial y del 22.0 % del tiempo de fraguado final, estas reducciones no llegaron al efecto ideal mencionada por los fabricantes.
- Para la A/C de 0.7 y la dosificación de 1.5 %, el aditivo SCL presentó una reducción del 0.5 % del tiempo de fraguado inicial y del 7.5% del tiempo de fraguado final, estas reducciones no llegaron al efecto ideal mencionada por los fabricantes.
- Para la A/C de 0.7y la dosificación de 1.5 %, el aditivo CL presentó una reducción del 6.2 % del tiempo de fraguado inicial y del 12.4 % del tiempo de fraguado final, estas reducciones no llegaron al efecto ideal mencionada por los fabricantes.
- Para la A/C de 0.5 y la dosificación de 1.5 %, el aditivo SCL y el aditivo con CL presentaron el efecto ideal (reducción del 50 % en el tiempo de descimbrado y de obtención de resistencia de diseño).
- Para la A/C de 0.7 y la dosificación de 1.5 %, el aditivo SCL presentó el efecto ideal mencionado. Mientras que para el aditivo CL en sus tres dosificaciones se presentó el efecto ideal únicamente para el descimbrado; y para la obtención de resistencia de diseño únicamente con el 1.5 %.
- La evolución de la resistencia a edades tempranas de concretos con aditivos acelerantes se puede determinar por el modelo propuesto de Sánchez (2017).

- De acuerdo con la revisión económica realizada se corrobora que el uso de los aditivos acelerantes son una solución técnica que disminuyen los costos de construcción.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. A. Bach and J. Bach (2015), "Etudio del nivel de efectividad de los aditivos acelerantes de fragua marca sika 3 y chema 5 en concretos aplicables a zonas de alto andinas de región Lambayeque", Revista universidad señor de Sipán, pp. 34-45.
2. A. Cogollo and J. García (2004), "Estudio comparativo de las propiedades físicas de concretos elaborados con los diferentes cementos Portland tipo I y agregados normalizados fabricados en colombia", Universidad de Cartagena, Facultad de ingeniería, pp. 36-48.
3. A. Dmirbas and A. Aslan (1998) "Effects of ground hazelnut shell, wood, and tea waste on the mechanical properties of cement", Cement and concrete research 28, pp. 110-114.
4. A. Gómez (2010), "Simulación de procesos constructivos ," Jour, Revista ingeniería de construcción, pp. 74-79.
5. A. Kumar et al. (2013), "Simple methods to estimate the influence of limestone fillers on reaction and property evolution in cementitious materials," Cement and concrete composites 42, pp. 20-29.
6. A. Lascorz, L. Agulló and T.Garcia, (2011), "Estudio relativo a la incorporación de aditivos químicos de última generación en el hormigón proyectado por vía húmeda", Proyecto de tesina de especialidad, pp. 28-33.
7. A. Mayers (2013), "Introduction to statistics and SPSS in psychology", Pearson, pp. 211-219.
8. A. Megahed, M. Rashwan and A. Mostafa (2012), "Performance of a local economical additive in the cement mortar properties affected by aggressive enviromental condition", Journal of engineering sciences, Assiut University, pp. 56-63.
9. A. Moragues (2001), Procesos de hidratacion del cemento Portland microestructura del hormigón, España, Madrid, Universidad politécnica de Madrid, pp. 97-102.
10. A. Neville (2010), Concrete technology, Second edition, Pearson, pp.64-69.
11. A. Rubio (2007), "Los aditivos del mundo del hormigón", Universidad politécnica de Cataluña, pp. 87.
12. A. Winters (1986), "El uso exitoso de aditivos," Construcción y tecnología, No2. México, pp. 35-37.

13. ACI Committee (2004), "Guide to formwork for concrete", Am. Concr. Inst., pp. 245.
14. ACI (2012), Manual of concrete practice, Detroit, pp. 55-62.
15. ACI Committee 211 (2002), "211.1-91: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete", pp. 38.
16. ACI Committee 308 (2013), "Guide to curing concrete", American concrete institute, pp. 1-31.
17. ASTM C1176 / C1176M-13 (2013), "Standard practice for making roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating table", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
18. ASTM C1231 / C1231M-15 (2015), "Standard practice for use of unbounded caps in determination of compressive strength of hardened cylindrical concrete specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
19. ASTM C127-15 (2015), "Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
20. ASTM C136 / C136M-14 (2014), "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
21. ASTM C138 / C138M – 17 (2017), "Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
22. ASTM C143 / C143M-15a (2015), "Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
23. ASTM C150 / C150M-17 (2017), "Standard specification for Portland cement", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
24. ASTM C192 / C192M-16a (2016), "Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
25. ASTM C231 / C231M-17a (2017), "Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
26. ASTM C29 / C29M-17a (2017), "Standard test method for bulk density ("Unit Weight") and voids in aggregate", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.

27. ASTM C31 / C31M-18 (2018), "Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
28. ASTM C33 / C33M-16e1 (2016), "Standard specification for concrete aggregates", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
29. ASTM C494 / C494M-17 (2017), "Standard specification for chemical admixtures for concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
30. ASTM C702 / C702M-18 (2018), "Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org
31. ASTM International (2002), "Concrete and aggregates," In annual book of ASTM standards, Philadelphia, pp. 818.
32. B. Cazola and E. Moreno (2003), "Apuntes de tecnología del concreto", Mérida, pp. 53.
33. C. Corrales and D. Arias (2013), "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo II, modificados con aditivos acelerantes y retardantes, Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena, pp. 129.
34. C. Maltese et al. (2008), "Effects of setting regulators on the efficiency of an inorganic acid based alkali-free accelerator reacting with a Portland cement," Cement and concrete research 37, No. 4 pp. 528-536.
35. C. Serrano (2007), "Influencia del tiempo de curado por inmersión en el desempeño del concreto en clima cálido sub-humedo," Ingeniería revista académica de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 27.
36. D. Delgado, L. Romero (2013), "Satisfacción de las necesidades del cliente en el sector vivienda", Ingeniería, Investigación y Tecnología, Volumen 14, pp. 499-509.
37. D. McBeth (1998), "Francois Hennebique (1842-1921) - Reinforced Concrete Pioneer", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, pp. 114-119.
38. D. Sánchez (2011), "Tecnología del concreto y del mortero, 5ta. Edición, Bhandar Editores, pp. 222-236.
39. E. Moreno, R. Solís, & R. Márquez (2014), "Corrosion of Beach Concrete Housing in the Yucatán Peninsula", Int. J. Electrochem. Sci, 9, pp. 1355-1365

40. E. Sánchez (2017), "Comportamiento elástico y plástico del concreto con agregado calizo de alta absorción a edades tempranas," Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, pp. 46-49.
41. F. Gonzalez (2009), "Manual de supervisión de obras de concreto", Editorial Limusa, pp.114.
42. G. Chan (2017), "Determinación de la resistencia a la abrasión del concreto con agregados calizos de alta absorción," Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, pp. 73.
43. G. Solis (2010), "Apuntes sobre rocas sedimentarias", México, Instituto de geología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 79.
44. H. Justnes and E. Nygaard (1995), "Technical calcium nitrate as set accelerator for cement at low temperatures," Cement and concrete research 25, No. 8, pp. 66-74.
45. H. Justnes and E. Nygaard (1996), "Technical calcium nitrate as set accelerator for cement pastes at low temperatures", Advances in cement research 8, No. 31, pp. 101-9.
46. H. Justnes and E. Nygaard (1996), "Technical calcium nitrate as set sccelerator for cement pastes at low temperatures", Jour, Advances in cement research 8, No. 31, pp. 101.
47. I. Soroka (2003), Concrete in hot environments, CRC Press, pp. 112-120.
48. J. Baca and J. Boy (2016), "Influencia del porcentaje y tipo de acelerante sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de un concreto de rapido fraguado" Jour, pp.76-83.
49. J. Ortiz et al. (2012), "Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico", Ingeniería revista académica de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 12-19.
50. J. Pacheco and L. Alonzo (2003), "Caracterización del material calizo de la formación carrillo puerto de Yucatán", Ingeniería revista académica de la Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán 7(1), pp. 7–19.
51. J. Pacheco, A. Cabrera & R. Pérez (2004), "Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán México", Revista de Ingeniería 8-2, pp. 165-179.
52. J. Waddell and A. Dobrowski (1997), "Manual de la construcción con concreto", México, Mc Graw Hill, pp. 97.
53. J. Gabaldón (2016), "Estudio comparativo entre cimbras autolanzables con estructura portante por debajo del tablero o estructura portante por encima del tablero", Jour, pp. 87-93.

54. J. Tobón, O. Restrepo and J. Payá (2010), "Comparative analysis of performance of Portland cement blended with nanosilica and silica fume", *Jour, Dyna*, pp. 154.
55. K. Ann and H. Song (2007), "Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete", *Corrosion science* 49, No. 11, pp. 33-41.
56. L. Arnal and M. Betancourt (2010), "Reglamento de construcciones para el distrito federal", México, DF, Editorial Trillas, pp. 87-98.
57. L. Arnal and M. Betancourt (2010), "Reglamento de construcciones para el Distrito Federal," México, DF, Trillas, pp. 63.
58. L. Espinosa, M. Ceron, Y. Sulub, (1996), "Limestone rocks of the Yucatan Peninsula: Description of the lithology and physical properties based on the results of exploration, investigation and laboratory tests", *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr.*, 35(7): pp. 410.
59. M. Alcocer (2014), "Estudio de la permeabilidad en el concreto con agregados calizos triturados", Universidad Autónoma de Uucatán, Facultad de ingeniería, 2014, pp.86.
60. M. Bakieva, G. Such and J. Jornet (2010), "SPSS: ANOVA de un factor," Recuperado de [Http://www. Uv. es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0702b](http://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0702b). Pdf, pp.41.
61. M. Gabalec and M. Barreda (2008), "Tiempo de fraguado del hormigón", Argentina, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad regional la plata, pp. 87-96.
62. M. Cifuentes and R. Zahit (2011), "El uso de la cimbra en la construcción," Doctoral dissertation, pp. 64-63.
63. M. Fuentes, J. García and J. Hernández (2006), "Factores que afectan el mercado de madera aserrada de pino en México", *Jour, Madera y bosques* 12, No. 2, pp. 17–28.
64. M. Hurd (1985), "Formwork safety goes beyond and standards," *Concrete international* 7, No. 4, pp. 24–27.
65. M. Mustafa and K. Yusof (1991), "Mechanical properties of hardener concrete in hot-humid climate," *Cement and concrete research*, Pennsylvania, Vol. 4, pp. 61-63.
66. N. C. Serrano (2007), "Influencia del tiempo de curado por inmersión en el desempeño del concreto en clima cálido sub-humedo," *Revista académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán*, pp. 123-128.

67. N. Spiratos and C. Jolicoeur (2000), "Trends in concrete chemical admixtures in concrete", Sixth CANMET/ACI International conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, 2.
68. N. Zaragoza Grifé, R. Solís and J. Pech (2003), "Desarrollo de un programa visual para el diseño y la presupuestación de cimbras de madera", Red Ingeniería revista académica, No.7, pp. 36-39.
69. P. Alaejos and L. Espinosa (2003), R. Solís and E. Moreno (2011), op. Cit, pp. 88. "Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán0," Ingeniería revista académica de la facultad de ingeniería 7(1), pp. 27-37.
70. P. Borge, E. Moreno, and R. Solís (2005), "Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera," Artículo de divulgación, n.d., Ingeniería 9-11, pp. 13-18.
71. P. Casto, L. Véleva, & M. Balancán (1997), "Corrosion of reinforced concrete in a tropical marine environment and in accelerated test," Construction and building materials 11, pp. 75-81.
72. P. Hae-Geun et al. (2017), "Influence of a C12A7 mineral-based accelerator on the strength and durability of shotcrete", Cement and concrete research 38, No. 3, pp. 379-385.
73. R. Bogue (1952), "La química del cemento Portlan", Edición 2, España, Dossat S.A., pp. 75.
74. R. Solís (1997), "Utilización del cloruro de calcio como aditivo acelerante en el cemento Portland tipo V", Mérida, Tesis de examen profesional, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 97.
75. R. Solís (2013), Modelo predictivo de la resistencia del concreto en función de la velocidad de pulso ultrasónico, las características físicas de los agregados y los proporcionamientos, Mérida, Reporte final de investigación al CONACYT, Facultad de ingeniería, pp. 74.
76. R. Solís and E. Moreno (2011), "Concreto con agregados calizos en clima cálido", México, Editorial académica española, pp. 86.
77. R. Solís and E. Moreno (2011), op. Cit, pp. 88. R. Solís, L. Terán & E. Moreno, (2015), "Use of normal-density high-absorption limestone aggregate as internal curing agent in concrete", Canadian Journal of Civil Engineering, 42(11), pp. 827-833.
78. R. Solís Carcaño, E. Moreno and N. Chuc (2011), "Evaluación del concreto con reductor de agua en clima cálido", Jour, Journal of tropical engineering 16, No. 2, pp. 126-129.

79. R. Solís, L. Terán & E. Moreno, (2015), "Use of normal-density high-absorption limestone aggregate as internal curing agent in concrete", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(11), pp. 827-833.
80. R. Vilchis (2004), "Control presupuestal: Costos directos de obra," *Jour Administración y tecnología para el diseño*, pp. 52.
81. S. Guzmán (2001), "Tecnología del concreto y del mortero", Pontificia Universidad Javeriana, pp. 189-199.
82. S. Mejía, J. Paz, (2013), "Comportamiento de un concreto de resistencia de 210kg/cm² utilizando el aditivo Sika Rapid 1 como acelerador de fraguado", Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela, pp. 160.
83. S. Popovics (1992), *Concrete materials, properties, specifications and testing*, 2nd Edition, New Jersey, USA, Noyes Publications, pp.99.
84. T. Maltese et al. (2008), op. Cit, pp. 528-536.
85. T. Montoya, Cadavid, and Gómez (2009), op. Cit, pp. 39-49.
86. T. Oey et al. (2014), "Comparison of Ca(NO₃)₂ and CaCl₂ admixtures on reaction, setting, and strength evolutions in plain and blended cementing formulations", *Journal of Materials in civil engineering*, Vol. 27(10), pp. 267.
87. T. Tischer and J. Kuprenas (2003), "Bridge falsework productivity—measurement and influences", *Jour, Journal of construction engineering and management* 129, No. 3, pp. 243-50.
88. W. Duda (1997), "Manual tecnológico del cemento", Edición 1, España, Editores técnicos asociados S.A., pp. 97-103.
89. W. Plenge (2001), "Introducing vision 2030: Our industry's 30-year map to the future", *Jour, Concrete international* 23, No. 3, pp. 25-34.
90. W. Tasong (1999), "Aggregate-cement paste interface," *Cement and concrete research* 29(7), pp. 19–25.
91. Y. Montoya, A. Cadavid and M. Gómez (2009), "Comportamiento mecánico y de fraguado de morteros de cemento pórtland gris tipo III con aditivos", *Revista EIA* 11, pp. 39-49.

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades físicas de los agregados¹¹⁸.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS GRAVAS					
TRITURADORAS		PVSS kg/m ³	PVSC kg/m ³	Densidad Humedad	Absorción %
	Mayucsa	1177	1294	2.28	5.5
	San Enrique	1098	1219	2.20	6.7
	Mapsa	1160	1264	2.21	5.6
	Procon	1136	1259	2.23	5.7
	Mitza	1196	1288	2.22	5.8
	Predeco	1224	1334	2.31	5.1

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ARENAS					
TRITURADORAS		PVSS kg/m ³	Densidad Humedad	Absorción %	Módulo de finura
	Mayucsa	1299	2.33	4.7	2.64
	San Enrique	1358	2.25	4.7	2.76
	Mapsa	1340	2.38	5.3	2.99
	Procon	1336	2.41	3.5	2.53
	Mitza	1364	2.39	5	2.96
	Predeco	1379	2.42	4.9	3.15

¹¹⁸ R. Solís (2013), Op. Cit, pp. 74

Anexo 2. Ayudas para el diseño de mezclas¹¹⁹.

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ concreto para TMG, mm							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aprox. aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

¹¹⁹ ACI Committee (2004), "Guide to formwork for concrete", Am. Concr. Inst., pp. 245.

Anexo 3. Fichas técnicas de los aditivos utilizados.

SCL

CL



FESTERMIX

Acelerante de fraguado inicial e incremento de resistencias a edades tempranas

Líquido de color transparente grisáceo, compuesto de agentes acelerantes y dispersantes que activan la hidratación del cemento CPO (cemento Portland ordinario)



CUMPLE NORMA ASTM C-494 TIPO CY NMX-C-255-ONNCC TIPO C

CARACTERÍSTICAS

- Acorta el tiempo de fraguado y acelera la obtención de la resistencia del concreto.
- Permite descimbrar en menos tiempo y brinda un ahorro considerable en cimbra.

USOS

Para fabricación de concretos que requieran acortar el tiempo de fraguado inicial e incrementar resistencias a la compresión y a la flexión a cortas edades.

Para dar rapidez de movimiento de cimbra.

En climas con bajas temperaturas.

Cuando se utilicen cimbras deslizantes como en silos, chimeneas, túneles, entre otros.

En concretos para elementos prefabricados como subos, durmientes, guarniciones, barrera central.

APLICACIÓN

Adicione Festermix al momento de realizar la mezcla del concreto. En mezcladoras mecánicas añada el producto directamente en la máquina al cargarla con los demás materiales. En plantas de concreto premezclado añada en la tolva o directamente al camión revolvedor. Mezcle por 5 minutos a velocidad máxima hasta obtener una mezcla homogénea. Dosifique de acuerdo con tabla de rendimientos.

PRECAUCIONES

Utilice equipo de seguridad. Evite el contacto con la piel y ojos. No se deje al alcance de los niños.

INFORMACIÓN IMPORTANTE

Para fabricación de concreto en climas fríos utilice agua templada (de 15 a 20 °C).

Los concretos en los cuales se haya utilizado Festermix deben curarse inmediatamente para reducir la contracción que sufre por la rápida liberación de agua debido al calor de hidratación del cemento.

AUXILIARES Y ADITIVOS PARA CONCRETO



Para obtener mejores resultados utilice Fester Curafest blanco emulsionado. Debe ser usado con cuidado en climas cálidos. Cuando se utilice cemento CPP (cemento Portland pozolánico), aumente la dosificación en 20 por ciento.

ENVASE Y EMBALAJE

PRESENTACIÓN	Bote 4L Cubeta 19L Tambor 200L
ALMACENAJE	Consérvese en un lugar fresco, seco y protegido de los rayos solares.
CADUCIDAD	12 meses
ESTIBA MÁXIMA	Bote 4 L: 4 cajas superpuestas. Cubeta de 19 L: 5 piezas superpuestas. Tambor de 200 L: 3 piezas por tarima, 3 tarimas superpuestas.

PROPIEDADES ECOLÓGICAS

LEED

Este producto cumple con los requisitos del crédito 5.1 de Materiales y Recursos (MRCS) debido al lugar en donde se produce. Lugar de producción: Carretera Panamericana Km. 312 Tramo Libre Celaya-Salamanca, Guanajuato CP 36700.

Sikaset® L

Aditivo acelerante de fraguado y de resistencias.

Descripción	Aditivo líquido acelerante de fraguado y de resistencias para concreto. Contiene cloruros.
Usos	<p>Sikaset® L se utiliza principalmente en la elaboración de concretos cuando se requiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Obtener concreto con altas resistencias a temprana edad. ■ Reducir el tiempo de descimbrado y facilitar el rápido avance de las obras. ■ Colocar concreto en ambiente frío o efectuar reparaciones rápidas en todo tipo de estructuras, sin acero de refuerzo o con poca cantidad del mismo.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reduce los tiempos de descimbrado. ■ Confiere resistencias más altas a temprana edad. ■ Permite una rápida puesta en uso de las estructuras nuevas. ■ Permite una rápida puesta en uso de estructuras reparadas. ■ Contrarresta el efecto del frío sobre las resistencias y el fraguado. ■ Aumenta los rendimientos en la elaboración de prefabricados.
Modo de Empleo	Agregue Sikaset® L junto con el agua de mezcla durante la preparación del concreto.
Dosificación	De 1.0% a 3.0% del peso del cemento (7.5 a 23.0 ml/kg de cemento), dependiendo del grado de aceleramiento deseado.
Datos Técnicos	<p>Tipo: aditivo líquido con base de cloruros. Color: café claro. Densidad: 1,32 kg/l aprox.</p>
Precauciones	<p>La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y las condiciones de la obra.</p> <p>El uso de acelerantes exige un rápido y completo curado. Sikaset® L no se debe usar para concreto pretensado o con elementos de aluminio embebidos. Contiene cloruros.</p>

Construcción



Anexo 4. Módulo de resistencias a edades tempranas, Sánchez (2017).

Relación 0.5

0 % SCL			0.5 % SCL			1.0 % SCL			1.5 % SCL			Sánchez (2017)	
f'c = 350 kg/cm ²			f'c = 350 kg/cm ²			f'c = 350 kg/cm ²			f'c = 250 kg/cm ²			Sánchez (2017)	
Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c/f'c ₂₈
0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0.00
3	266	0.83	3	274	0.85	3	273	0.83	3	281	0.83	3	0.63
7	289	0.90	7	289	0.90	7	291	0.89	7	316	0.93	7	0.79
28	320	1.00	28	321	1.00	28	327	1.00	28	339	1.00	28	1.00

Relación 0.7

0 % SCL			0.5 % SCL			1.0 % SCL			1.5 % SCL			Sánchez (2017)	
f'c = 250 kg/cm ²			f'c = 250 kg/cm ²			f'c = 250 kg/cm ²			f'c = 250 kg/cm ²			Sánchez (2017)	
Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c	f'c/f'c ₂₈	Edad	f'c/f'c ₂₈
0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0.00
3	189	0.73	3	214	0.74	3	213	0.76	3	216	0.76	3	0.63
7	228	0.88	7	235	0.82	7	237	0.84	7	240	0.85	7	0.79
28	258	1.00	28	288	1.00	28	282	1.00	28	284	1.00	28	1.00

Ecuación

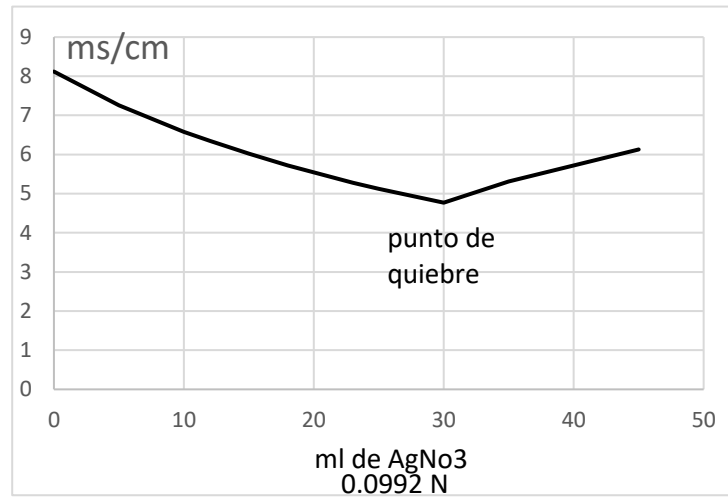
$$\frac{f'c}{f'c_{28}} = 0.1792 \ln(t) + 0.4369 \quad \forall t \in [1,22]$$

$$\frac{f'c}{f'c_{28}} = 1 \quad \forall t \in [23,28]$$

Anexo 5. Análisis de cloruros en el aditivo CL (Sikaset L).

Volumen de muestra 0.4 ml

ml AgNo3	ms/cm
0	8.12
5	7.26
10	6.58
12	6.35
15	6.02
18	5.72
23	5.28
25	5.12
30	4.77
35	5.31
40	5.72
45	6.13



$$30 \times .0992N \times 35450 / 0.4 \text{ ml} = 263,748; \mathbf{263.74 \text{ g/l de cloruros}}$$

Anexo 6. Principales características del agua subterránea de Mérida¹²⁰.

Indicador	Cantidad presente
Coliformes fecales	0 – 10 /100ml
Nitratos	25.01 – 45. 00 mg/l
Cloruros	200 – 250 mg/l
Sodio	32 – 150 mg/l
Dureza total	501 – 820 mg/l
Cadmio	0.021 – 0.062 mg/l
Niveles de contaminación	Medio
Tipo de agua	Na – Cl / Ca – HCO ₃

¹²⁰ J. Pacheco, et al. (2004), Op. Cit, pp. 165-179.

Anexo 7. Reporte fotográfico de los daños detectados a edificaciones en las zonas costeras del Estado de Yucatán¹²¹.

Dzilam de Bravo



Chabihau



¹²¹ E. Moreno et al. (2014), Op Cit, pp. 1355-1365.

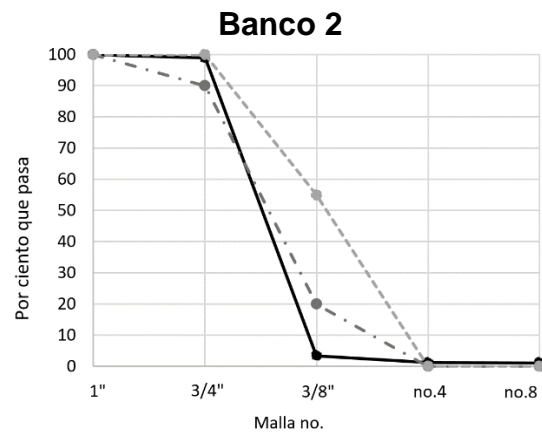
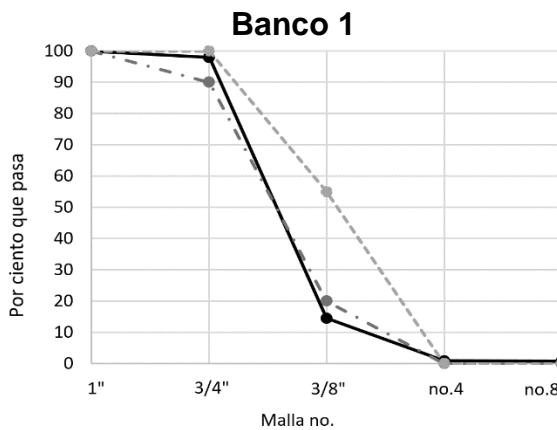
APÉNDICES

Apéndice 1. Resultados de las pruebas preliminares a dos bancos de agregados.

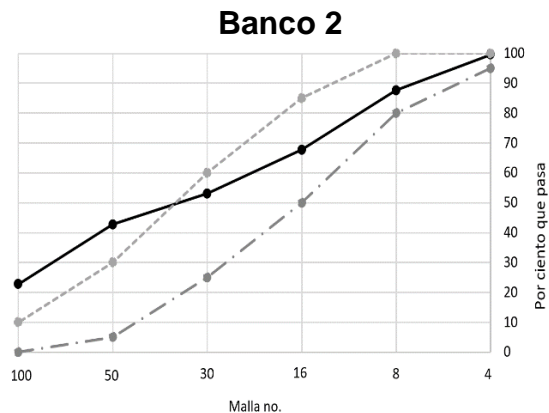
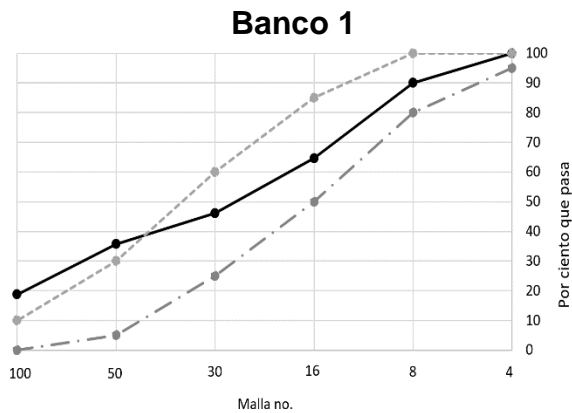
A continuación, se presenta la caracterización de los dos bancos. El banco 1 fue el elegido en función de su módulo de finura y de sus mejores curvas granulométrica.

Características	Banco 1		Banco 2	
	Grava	Arena	Grava	Arena
Densidad	2.26	2.46	2.38	2.48
PVSS	1,141.41	1,301.38	1,159.82	1,241.98
PVSC	1,301.88	-	1,282.65	-
TMA	3/4	-	3/4	-
Módulo de Finura	-	3.02	-	2.16
Absorción	6.93	3.69	4.84	2.65
Humedad	0.96	1.92	1.01	1.85

Gravas



Arenas



Apéndice 2. Diseño de las mezclas.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA LA A/C DE 0.5			
1.- Cantidad aproximado de aire atrapado según revenimiento y tamaño máximo de agregado			
Concreto sin aire incluido			
7.5 a 10			
Revenimiento	cm	cm	
TMA		19 mm	
Cantidad de aire aprox.		2 %	
2.- Requisito aproximado de agua y cantidad de cemento según la relación A/C			
Litros a preparar		125 l	
Relación a/c		0.5	
Para 1 m ³			
Cantidad de agua	230 kg		"De Tabla 6.3.3"
Cantidad de cemento	460.00 kg		
3.- Volumen de agregado grueso por volumen de concreto y corrección por absorción			
Volumen de agregado grueso/m ³	0.65	"Adimensional, de tabla 6.3.6"	Modulo 2.4 finura 7
PVSC Grava	1231.08	kg/m ³	
Volumen de agregado grueso	800.20 kg		
Absorción agregado grueso	7.05 %		
Agregado grueso por absorción	856.62 kg		
4.- Obtención de cantidad de arena por el método de volumen			
	Peso (kg)	Densidad	Volumen requerido
Agua	230	1	230.00
Cemento	460.00	3.15	146.03
Grava	856.62	2.28	375.71
Aire			20
			771.74
Arena		2.46	228.26
Peso de Arena			561.52 kg

5.- Cantidades finales por M3 y para Lts específicos sin ajuste de humedad			
		Para Lts especificados	
Agua	230	28.75	l
Cemento	460.00	57.50	kg
Grava	856.62	107.08	kg
Arena	561.52	70.19	kg
6.- Porcentajes de absorción de los agregados para correcciones por absorción en agregados			
Absorción Agreg. Grueso		7.05	%
Absorción Agreg. Fino		3.31	%
7.- Porcentajes de humedad de los agregados para correcciones por humedad			
			*Calcular el día de la prueba
Humedad Grava (lote)		1.61	%
Humedad Arena (lote)		4.04	%
8.- Corrección del peso de los agregados			
Cantidades húmedas de agregado			
Grava	870.41		
Arena	584.20		
9.- Corrección de la cantidad de agua			
Cantidad de agua de mezclado "Ajuste de Humedad"			
Humedad Grava (Día Prueba)		1.61	%
Humedad Arena (Día Prueba)		4.04	%
			"Si es negativo se suma a la cantidad de agua, si es positivo se resta"
Grava	-34.52		
Arena	7.82		
10.- Cantidades finales			
		Para Lts especificados	
Cemento	460.00	57.50	kg
Agua	256.71	32.09	l
Grava	870.41	108.80	kg
Arena	584.20	73.03	kg

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA LA A/C DE 0.7			
1.- Cantidad aproximado de aire atrapado según revenimiento y tamaño máximo de agregado			
Concreto sin aire incluido			
Revenimiento	7.5 a 10 cm	cm	
TMA	19	mm	
Cantidad de aire aprox.	2	%	
2.- Requisito aproximado de agua y cantidad de cemento según la relación A/C			
Litros a preparar	122	l	
Relación a/c	0.7		
Para 1 m ³			"De Tabla 6.3.3"
Cantidad de agua	230	kg	
Cantidad de cemento	328.57	kg	
3.- Volumen de agregado grueso por volumen de concreto y corrección por absorción			
Volumen de agregado grueso/m ³	0.65	"Adimensional, de tabla 6.3.6"	
PVSC Grava	1231.08	kg/m ³	
Volumen de agregado grueso	800.20	kg	
Absorción agregado grueso	7.05	%	
Agregado grueso por absorción	856.62	kg	
4.- Obtención de cantidad de arena por el método de volumen			
	Peso (kg)	Densidad	Volumen requerido
Agua	230	1	230.00
Cemento	328.57	3.15	104.31
Grava	856.62	2.28	375.71
Aire			20
			730.02
Arena		2.46	269.98
Peso de Arena			664.16 kg

5.- Cantidades finales por M³ y para Lts específicos sin ajuste de humedad			
		Para Lts especificados	
Agua	230	28.06	l
Cemento	328.57	40.09	kg
Grava	856.62	104.51	kg
Arena	664.16	81.03	kg
6.- Porcentajes de absorción de los agregados para correcciones por absorción en agregados			
Absorción Agreg. Grueso		7.05	%
Absorción Agreg. Fino		3.31	%
7.- Porcentajes de humedad de los agregados para correcciones por humedad			
			*Calcular el día de la prueba
Humedad Grava (lote)		1.61	%
Humedad Arena (lote)		4.04	%
8.- Corrección del peso de los agregados			
Cantidades húmedas de agregado			
Grava	864.84		
Arena	676.91		
9.- Corrección de la cantidad de agua			
Cantidad de agua de mezclado "Ajuste de Humedad"			
Humedad Grava (Día Prueba)		1.61	%
Humedad Arena (Día Prueba)		4.04	%
		"Si es negativo se suma a la cantidad de agua, si es positivo se resta"	
Grava	-40.09		
Arena	-4.84		
10.- Cantidades finales			
		Para Lts especificados	
Cemento	328.57	40.09	kg
Agua	274.92	33.54	l
Grava	864.84	105.51	kg
Arena	676.91	82.58	kg

Apéndice 3. Caracterización de los agregados.

Granulometría agregado grueso

Tamiz	Abertura mm	Masa retenida g	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25.4	0.0	0	0	100
3/4"	19.4	204.5	2	2	98
3/8"	9.51	8,342.0	83	85	15
No.4	4.76	1,366.0	14	99	1
No.8	2.38	11.5	0	99	1
Fondo		76.0	1	100	0
Total		10,000.0	100		

Granulometría agregado fino

Tamiz	Abertura mm	Masa retenida g	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
No.4	4.76	0.0	0	0	100
No.8	2.38	49.8	10	10	90
No.16	1.19	127.0	25	35	65
No.30	0.595	92.4	18	54	46
No.60	0.297	52.3	10	64	36
No.100	0.149	84.7	17	81	19
Fondo		93.8	19	100	0
Total		500.0	100		

Densidad de la grava

Prueba #1		
Donde:		gramos
	P _{sss} = Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca	3,000
	P _{st} = Masa en el agua de la muestra de ensayo saturada	1,685
Densidad Nominal=	$\frac{P_{sss}}{[P_{sss} - P_{st}]}$	Densidad N = 2.28

Densidad de la arena

Prueba #1	
Donde:	gramos
Pp= Masa del picnómetro lleno con agua	857.0
Psss= Masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca	300.0
Psm= Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración	933.0
$\text{Densidad Nominal} = \frac{P_{ss}}{[P_{sss} - (P_{sm} - P_p)]} \quad \text{Densidad N} = 2.46$	

Absorción de la grava

Prueba #1	
Donde:	gramos
Psss= Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	3,000
Ps= Masa seca de la muestra	2,798
% Absorción=	$\frac{(P_{sss} - P_s)}{P_s} * 100$
	% Absorción = 7.22

Prueba #2	
Donde:	gramos
Psss= Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	3,000
Ps= Masa seca de la muestra	2,807
% Absorción=	$\frac{(P_{sss} - P_s)}{P_s} * 100$
	% Absorción = 6.88

Absorción de la arena

Prueba #1		
Donde:		gramos
P _{SSS} =	Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	500.0
P _S =	Masa seca de la muestra	483.0
% Absorción=	$\frac{(P_{SSS} - P_S)}{P_S} * 100$	
	% Absorción =	3.52

Prueba #2		
Donde:		gramos
P _{SSS} =	Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	500.0
P _S =	Masa seca de la muestra	485.0
% Absorción=	$\frac{(P_{SSS} - P_S)}{P_S} * 100$	
	% Absorción =	3.09

Humedad de la grava

Prueba #1		
Donde:		gramos
P _{SSS} =	Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	1,000
P _S =	Masa seca de la muestra	984.2
% Absorción=	$\frac{(P_{SSS} - P_S)}{P_S} * 100$	
	% Humedad =	1.61

Humedad de la arena

Prueba #1		
Donde:		gramos
P _{SSS} =	Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	500.0
P _S =	Masa seca de la muestra	480.6
% Absorción=	$\frac{(P_{SSS} - P_S)}{P_S} * 100$	
	% Humedad =	4.04

Peso volumétrico seco suelto de la grava

Prueba #1			
Pr=	Peso del recipiente	3.397	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.00711	m ³
Pm=	Peso del material	7.703	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1083.40366	kg/m ³
		1083.0418	
		$\frac{P_m}{V_r}$	
	Pvss=	1083.40366	kg/m ³

Prueba #2			
Pr=	Peso del recipiente	3.397	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.00711	m ³
Pm=	Peso del material	7.663	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1077.77778	kg/m ³
		$\frac{P_m}{V_r}$	
	Pvss=	1077.77778	kg/m ³

Prueba #3			
Pr=	Peso del recipiente	3.397	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.00711	m ³
Pm=	Peso del material	7.663	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1077.77778	kg/m ³
		$\frac{Pm}{Vr}$	
	Pvss=	1077.77778	kg/m ³

Peso volumétrico seco suelto de la arena

Prueba #1			
Pr=	Peso del recipiente	2.705	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.002806	m ³
Pm=	Peso del material	3.695	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1316.8211	kg/m ³
		1316.6024	
		$\frac{Pm}{Vr}$	
	Pvss=	1316.8211	kg/m ³

Prueba #2			
Pr=	Peso del recipiente	2.705	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.002806	m ³
Pm=	Peso del material	3.665	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1306.12972	kg/m ³
		$\frac{Pm}{Vr}$	
	Pvss=	1306.12972	kg/m ³

Prueba #3			
Pr=	Peso del recipiente	2.705	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.002806	m ³
Pm=	Peso del material	3.615	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1288.31076	kg/m ³
		$\frac{Pm}{Vr}$	
	Pvss=	1288.31076	kg/m ³

Peso volumétrico seco compacto de la grava

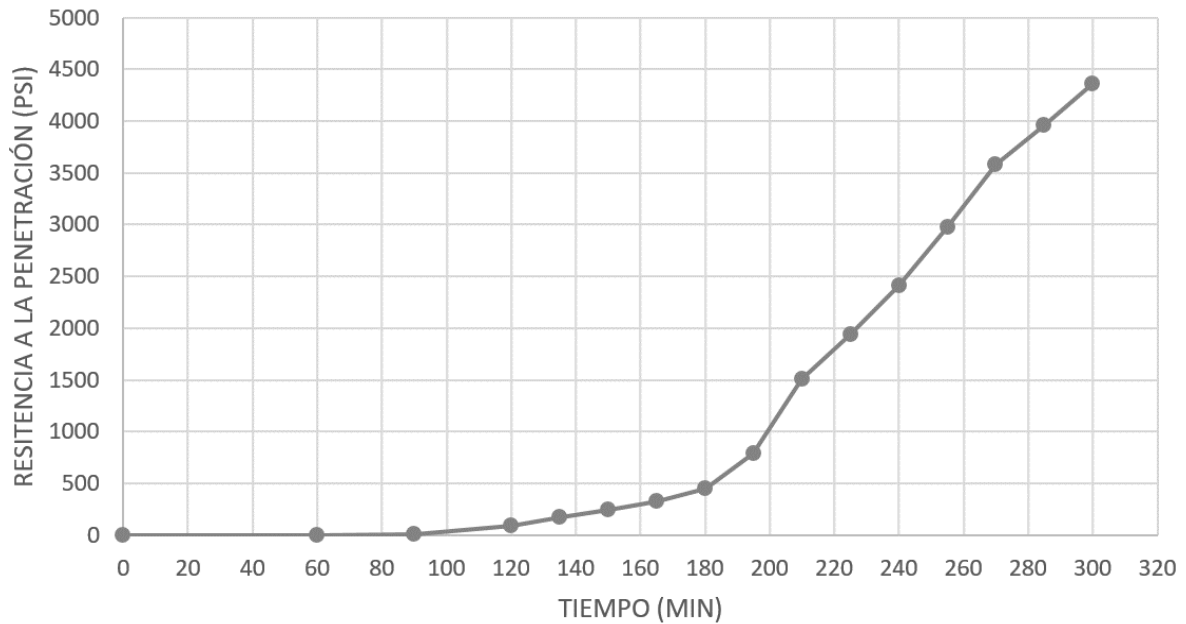
Prueba #1			
Pr=	Peso del recipiente	3.397	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.00711	m ³
Pm=	Peso del material	8.833	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1242.33474	kg/m ³
		$\frac{Pm}{Vr}$	
	Pvsc=	1242.33474	kg/m ³

Prueba #2			
Pr=	Peso del recipiente	3.397	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.00711	m ³
Pm=	Peso del material	8.643	g
Pvss=	Peso volumétrico seco suelto	1215.61181	kg/m ³
		$\frac{Pm}{Vr}$	
	Pvsc=	1215.61181	kg/m ³

Prueba #3			
Pr=	Peso del recipiente	3.397	kg
Vr=	Volumen del recipiente	0.00711	m ³
Pm=	Peso del material	8.783	g
Pvss=	Peso volumetrico seco suelo	1235.30239	kg/m ³
		$\frac{Pm}{Vr}$	
	Pvsc=	1235.30239	kg/m ³

Apéndice 4. Cálculo de tiempo de fraguado.

A/C de 0.5 sin aditivo

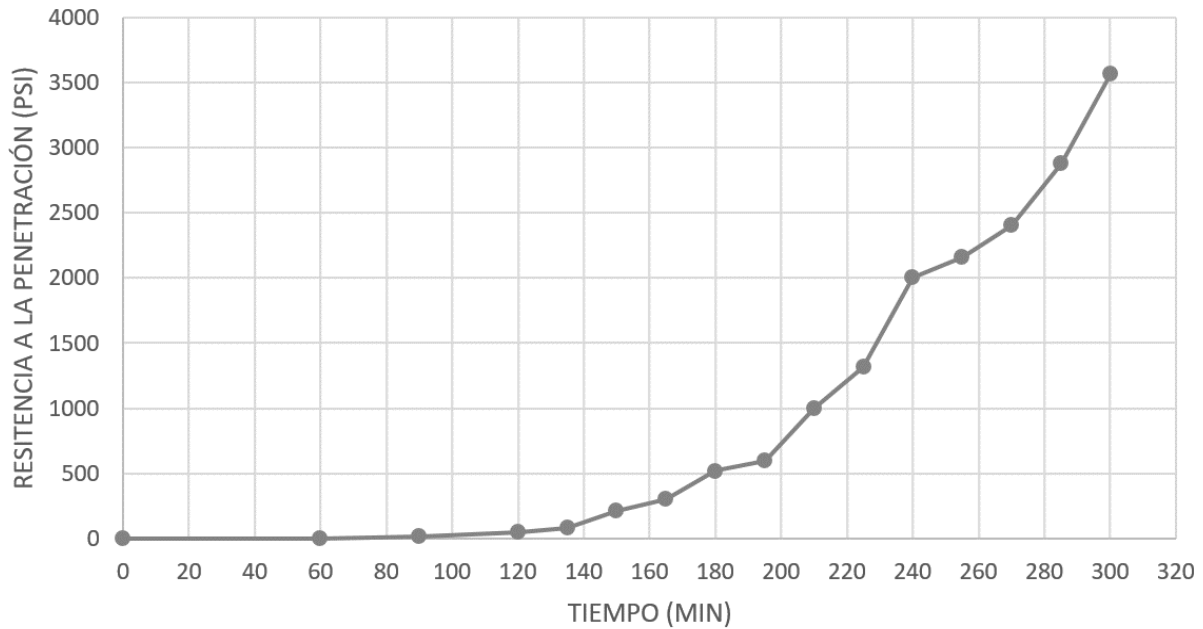


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	0
11:30am	90	10
12:00pm	120	92
12:15pm	135	174
12:30pm	150	245
12:45pm	165	325
1:00pm	180	453
1:15pm	195	783
1:30pm	210	1506
1:45pm	225	1936
2:00pm	240	2408
2:15pm	255	2971
2:30pm	270	3582
2:45pm	285	3961
3:00pm	300	4359

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	182	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	286.19	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	3.03	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.77	Hrs

A/C de 0.7 sin aditivo

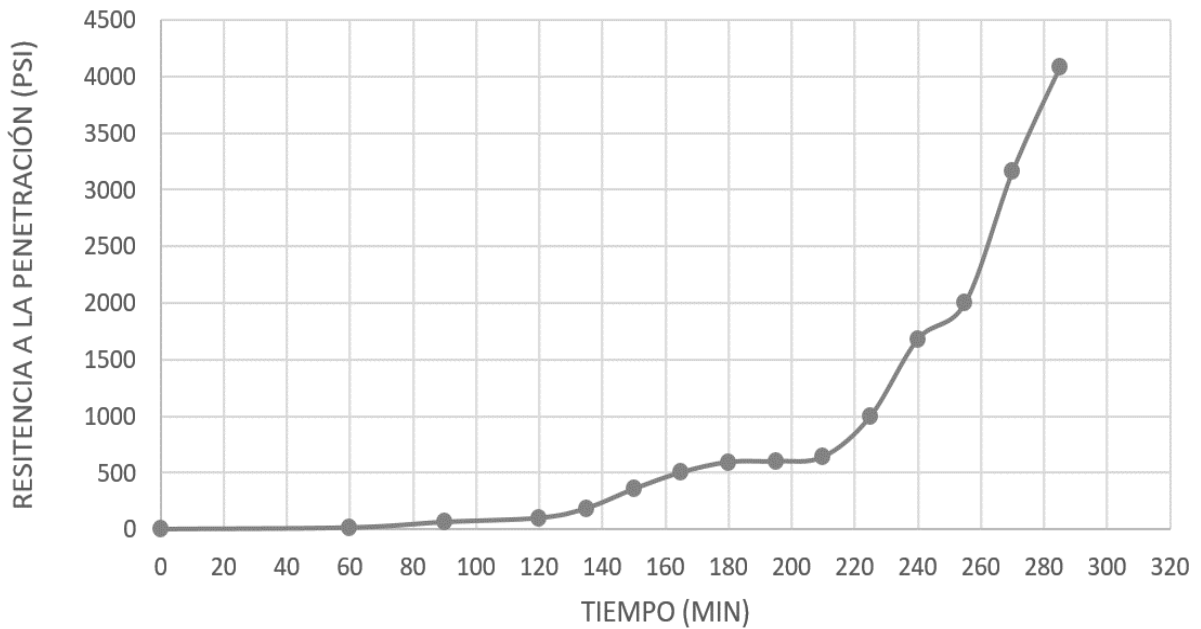


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	0
11:30am	90	20
12:00pm	120	50
12:15pm	135	84
12:30pm	150	216
12:45pm	165	300
1:00pm	180	520
1:15pm	195	600
1:30pm	210	1000
1:45pm	225	1320
2:00pm	240	2000
2:15pm	255	2160
2:30pm	270	2400
2:45pm	285	2880
3:00pm	300	3560
3:15pm	315	3840
3:30pm	330	4280

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	178	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	320.20	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.97	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	5.34	Hrs

A/C de 0.5 con 1.5 % CL sobre el peso del cemento

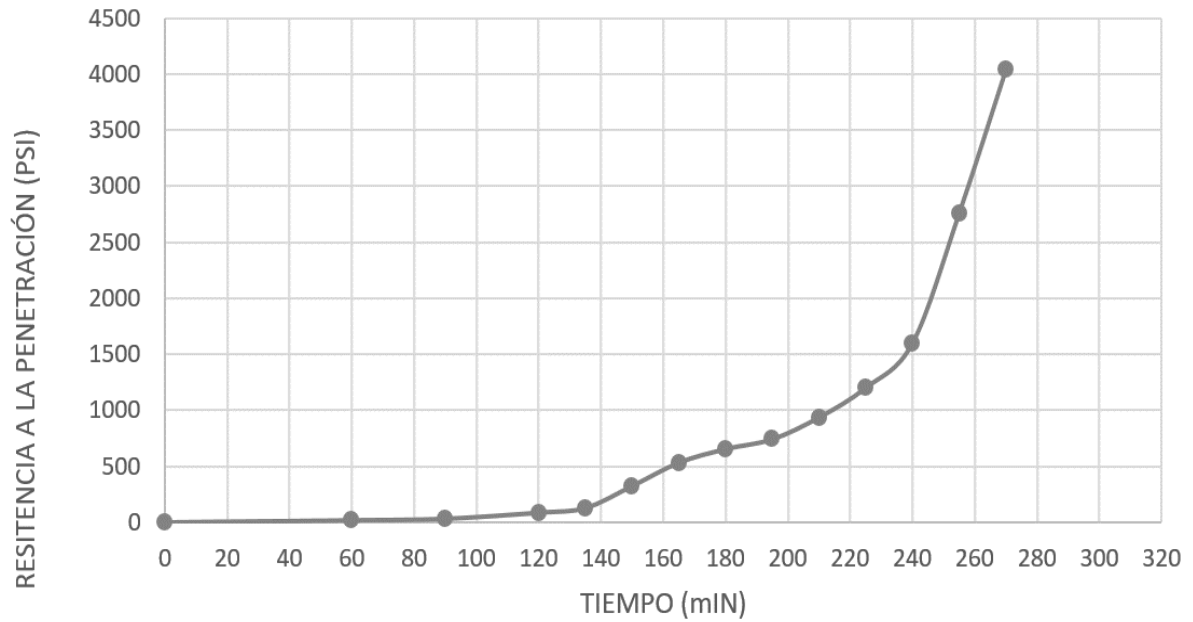


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	14
11:30am	90	63
12:00pm	120	99
12:15pm	135	185
12:30pm	150	356
12:45pm	165	502
1:00pm	180	593
1:15pm	195	600
1:30pm	210	640
1:45pm	225	1000
2:00pm	240	1680
2:15pm	255	2000
2:30pm	270	3160
2:45pm	285	4080

Tiempo			
Fraguado Inicial	497.82	PSI	164.57 min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	283.57 min

Tiempo			
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.74 Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.73 Hrs

A/C de 0.5 con 1.0 % CL sobre el peso del cemento

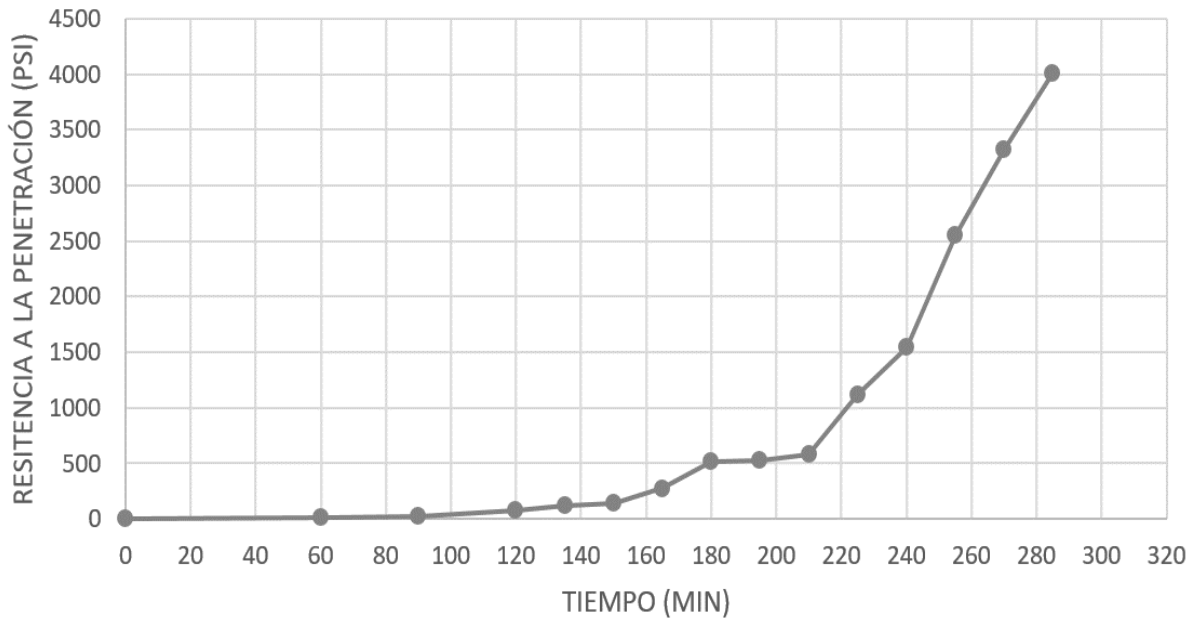


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
09:20am	0	0
10:20am	60	18
10:50am	90	32
11:20pm	120	86
11:35pm	135	128
11:50pm	150	324
12:05pm	165	532
12:20pm	180	654
12:35pm	195	741
12:50pm	210	936
1:05pm	225	1200
1:20pm	240	1600
1:35pm	255	2760
1:50pm	270	4040

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	162.53	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	269.44	min

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.71	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.49	Hrs

A/C de 0.5 con 0.5 % CL sobre el peso del cemento

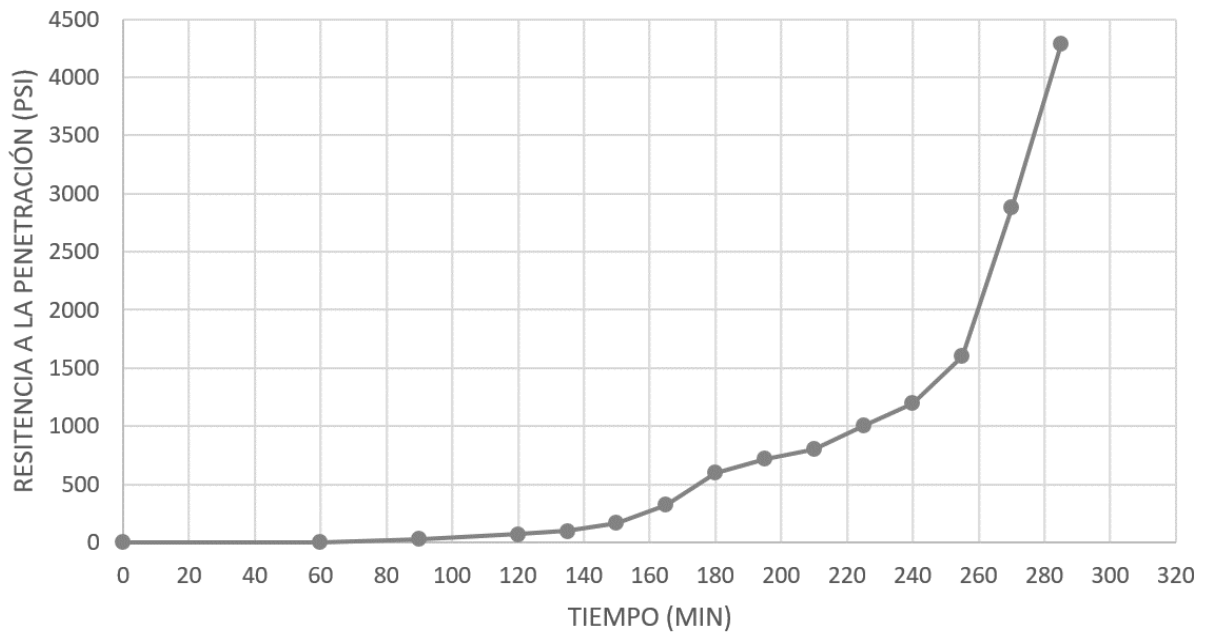


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
09:20am	0	0
10:20am	60	17
10:50am	90	23
11:20pm	120	72
11:35pm	135	121
11:50pm	150	142
12:05pm	165	275
12:20pm	180	511
12:35pm	195	525
12:50pm	210	579
1:05pm	225	1114
1:20pm	240	1542
1:35pm	255	2548
1:50pm	270	3325
2:05pm	285	4002

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	179.16	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	284.79	min

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.99	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.75	Hrs

A/C de 0.7 con 1.5 % CL sobre el peso del cemento

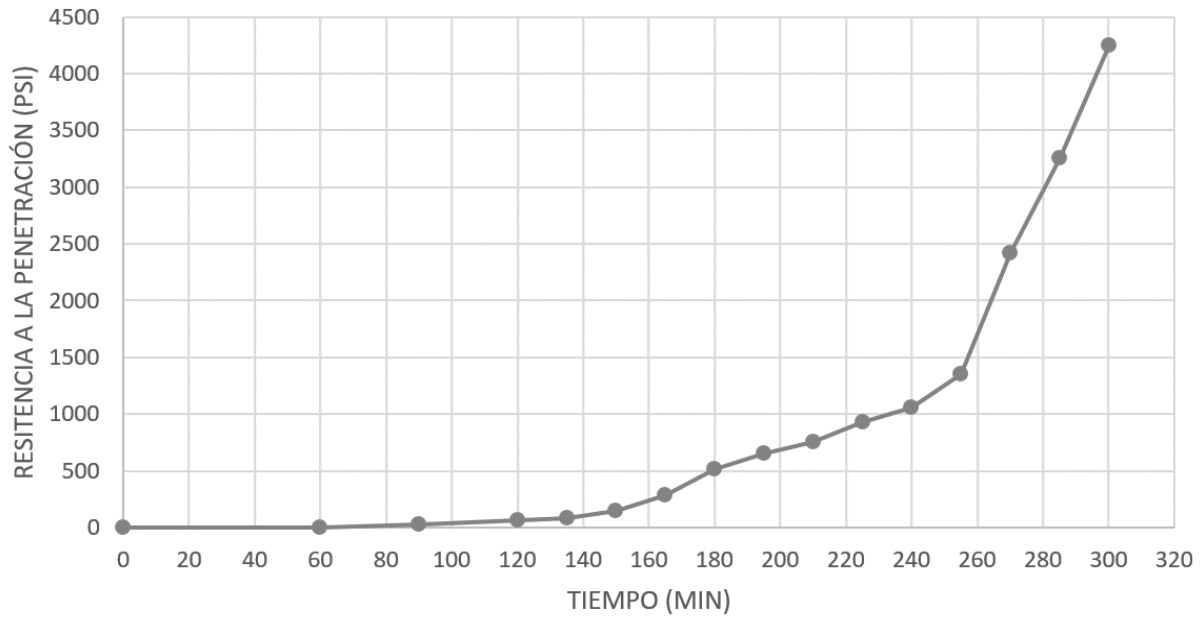


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	0
11:30am	90	28
12:00pm	120	70
12:15pm	135	98
12:30pm	150	168
12:45pm	165	320
1:00pm	180	600
1:15pm	195	720
1:30pm	210	800
1:45pm	225	1000
2:00pm	240	1200
2:15pm	255	1600
2:30pm	270	2880
2:45pm	285	4280

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	175	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	281.92	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.91	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.70	Hrs

A/C de 0.7 con 1.0 % CL sobre el peso del cemento.

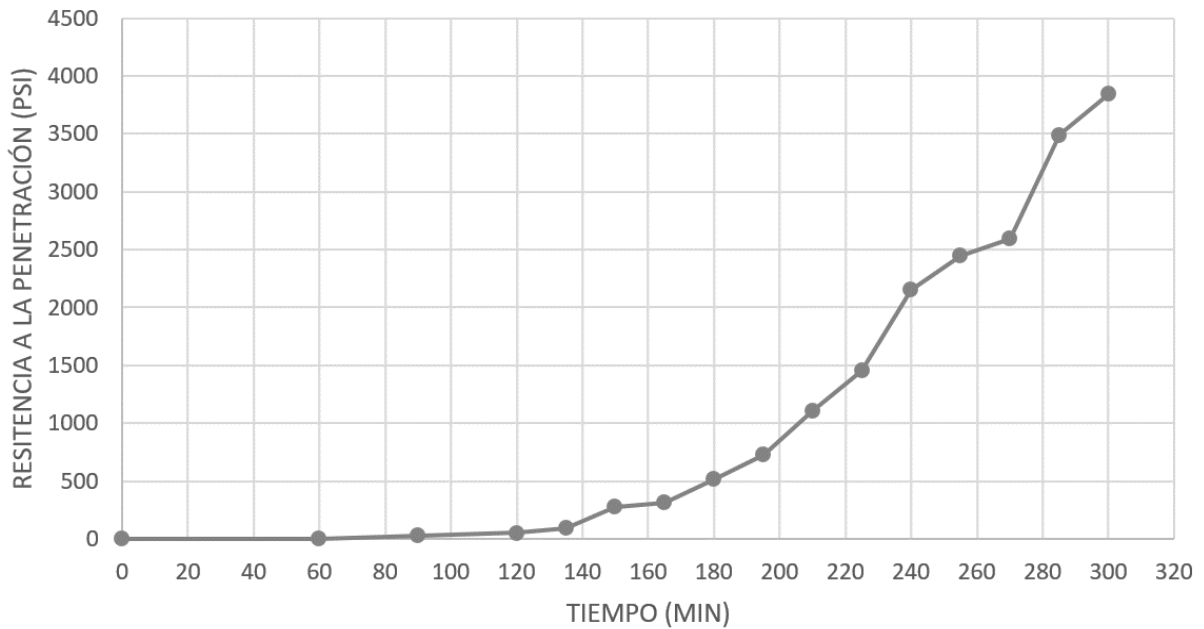


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
09:00am	0	0
10:00am	60	0
10:30am	90	25
11:00am	120	68
11:30pm	135	82
12:00pm	150	147
12:15pm	165	290
12:30pm	180	520
12:45pm	195	651
1:00pm	210	752
1:15pm	225	928
1:30pm	240	1058
1:45pm	255	1350
2:00pm	270	2420
2:15pm	285	3258
2:30pm	300	4250

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	179	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	296.11	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.98	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.94	Hrs

A/C de 0.7 con 0.5 % CL sobre el peso del cemento

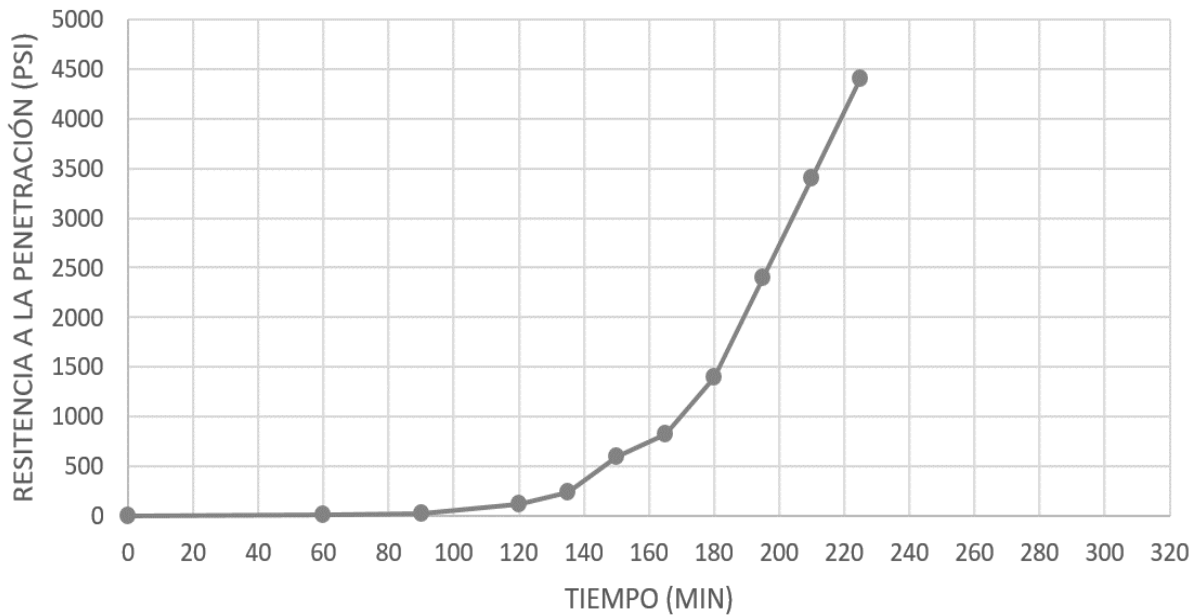


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
09:00am	0	0
10:00am	60	0
10:30am	90	25
11:00am	120	52
11:30pm	135	90
12:00pm	150	280
12:15pm	165	310
12:30pm	180	520
12:45pm	195	730
1:00pm	210	1100
1:15pm	225	1450
1:30pm	240	2150
1:45pm	255	2450
2:00pm	270	2590
2:15pm	285	3489
2:30pm	300	3840
2:45pm	315	4280

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	178	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	305.20	min

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.97	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	5.09	Hrs

A/C de 0.5 con 1.5 % SCL sobre el peso del cemento

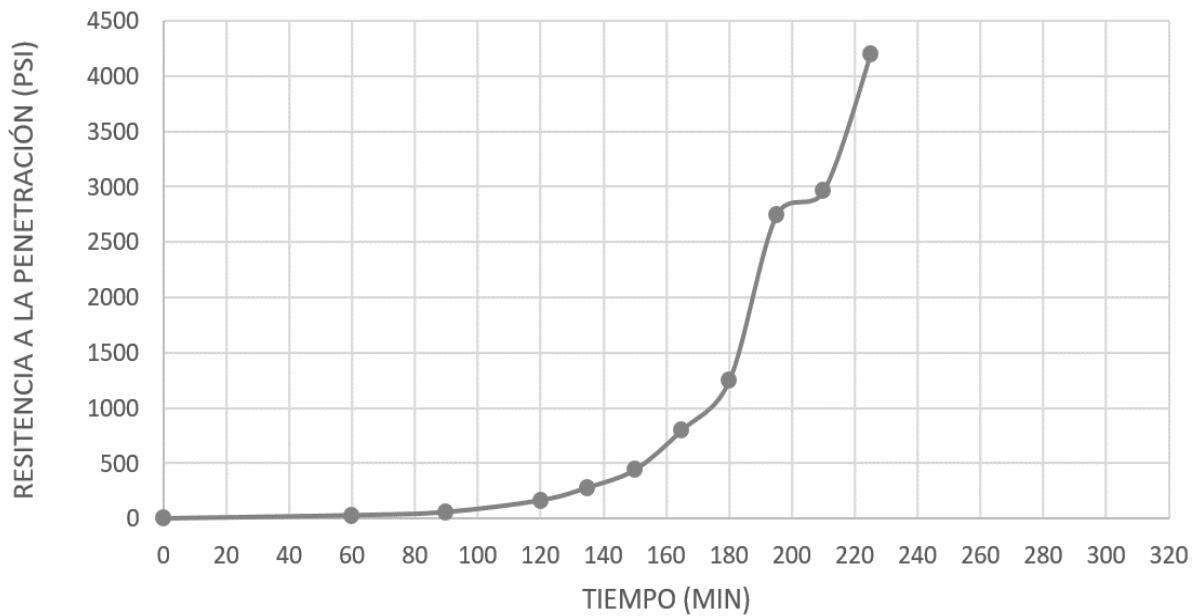


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
09:00am	0	0
10:00am	60	18
10:30am	90	24
11:00am	120	116
11:30pm	135	240
12:00pm	150	600
12:15pm	165	820
12:30pm	180	1400
12:45pm	195	2400
1:00pm	210	3400
1:15pm	225	4400

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	145.74	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	218.89	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.43	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	3.65	Hrs

A/C de 1.0 con 1.5 % SCL sobre el peso del cemento

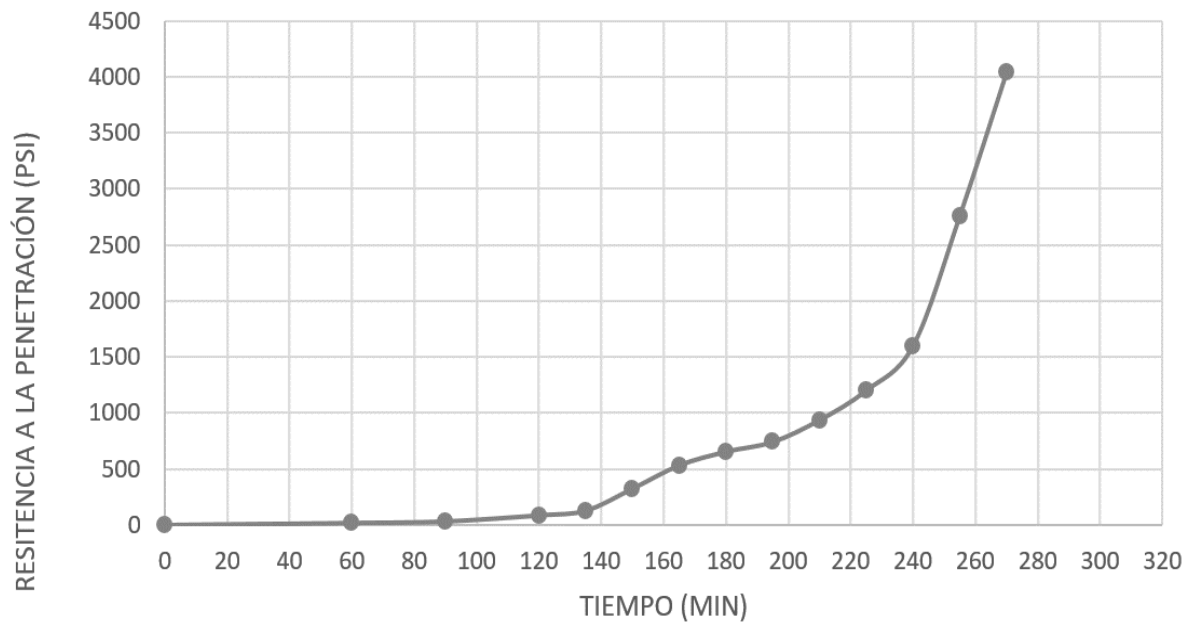


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	28
11:30am	90	58
12:00pm	120	164
12:15pm	135	280
12:30pm	150	440
12:45pm	165	800
1:00pm	180	1245
1:15pm	195	2740
1:30pm	210	2960
1:45pm	225	4200

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	155.42	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	222.49	min

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.59	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	3.71	Hrs

A/C de 0.5 con 0.5 % SCL sobre el peso del cemento

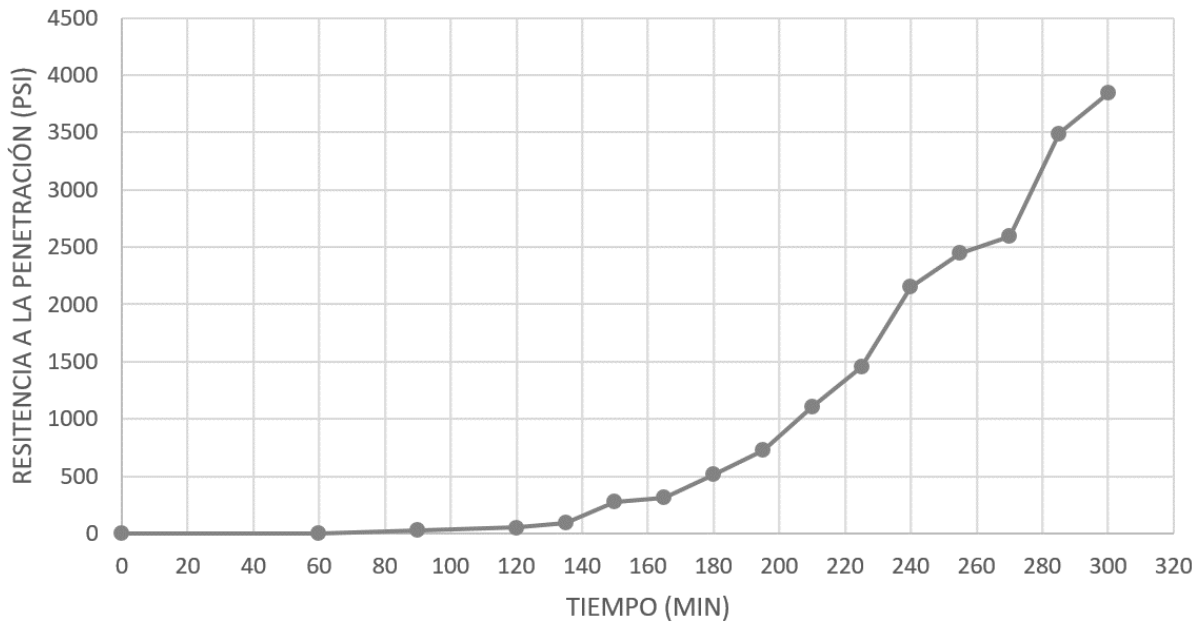


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
09:20am	0	0
10:20am	60	18
10:50am	90	32
11:20pm	120	86
11:35pm	135	128
11:50pm	150	324
12:05pm	165	532
12:20pm	180	654
12:35pm	195	741
12:50pm	210	936
1:05pm	225	1200
1:20pm	240	1600
1:35pm	255	2760
1:50pm	270	4040

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	162.53	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	269.44	min

Tiempo				
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.71	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.49	Hrs

A/C de 0.7 con 1.5 % SCL sobre el peso del cemento

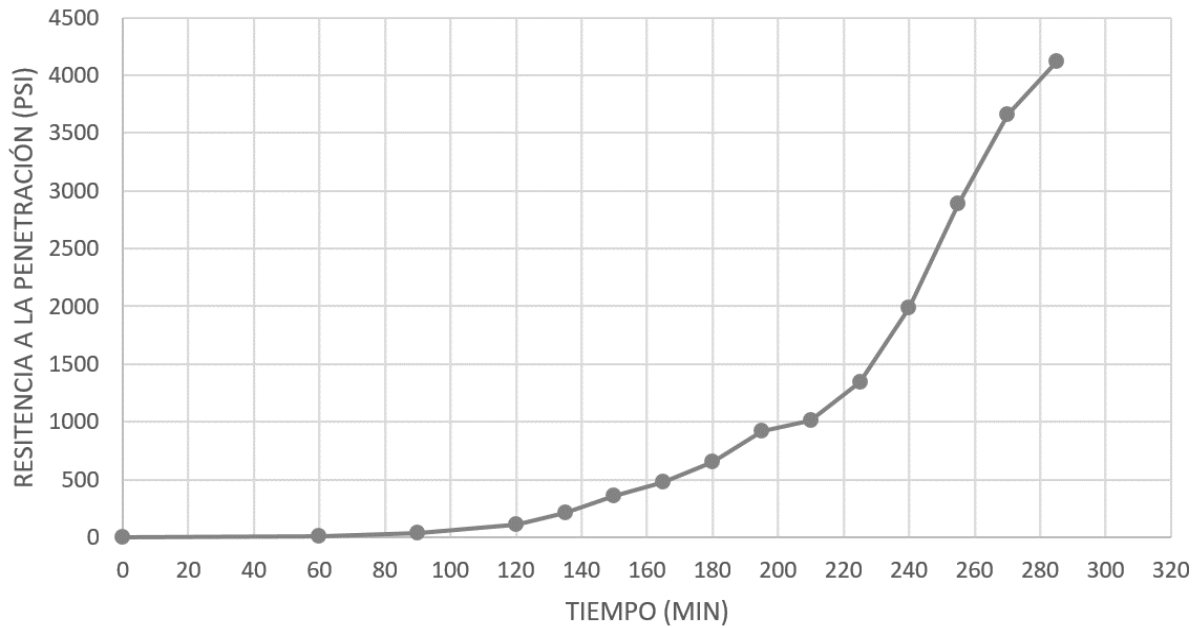


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	30
11:30am	90	80
12:00pm	120	110
12:15pm	135	320
12:30pm	150	420
12:45pm	165	510
1:00pm	180	850
1:15pm	195	980
1:30pm	210	1150
1:45pm	225	1750
2:00pm	240	2840
2:15pm	255	3550
2:30pm	270	4100

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	163	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	267.07	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.72	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.45	Hrs

A/C de 0.7 con 1.0 % SCL sobre el peso del cemento

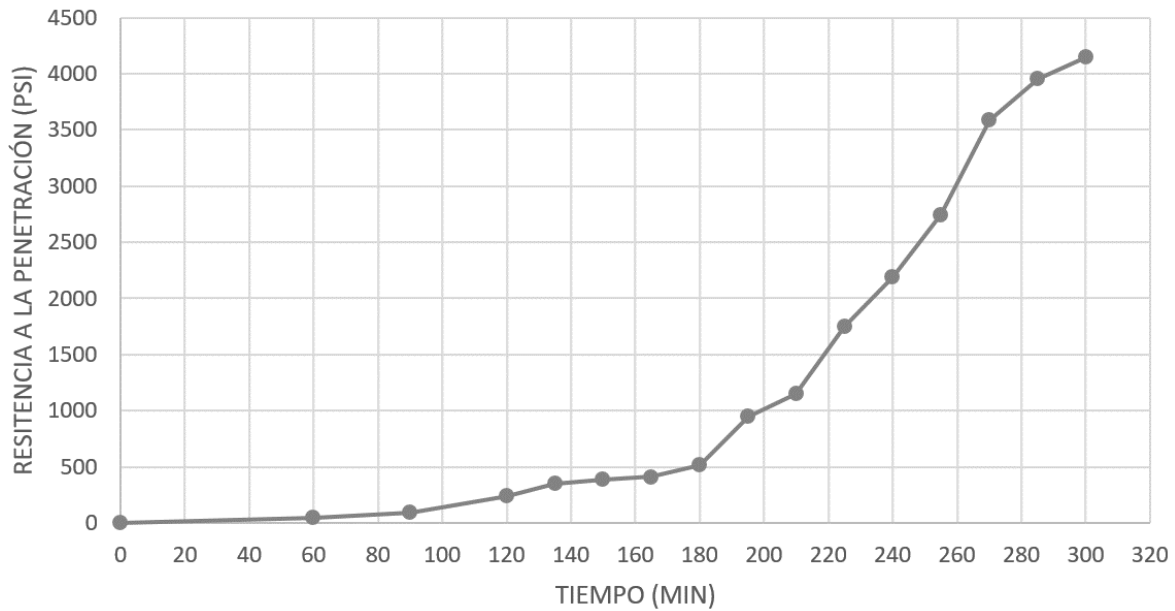


Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	10
11:30am	90	40
12:00pm	120	110
12:15pm	135	210
12:30pm	150	360
12:45pm	165	480
1:00pm	180	650
1:15pm	195	920
1:30pm	210	1010
1:45pm	225	1340
2:00pm	240	1990
2:15pm	255	2890
2:30pm	270	3660
2:45pm	285	4120

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	167	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	280.84	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.78	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.68	Hrs

A/C de 0.7 con 0.5 % SCL sobre el peso del cemento



Hora	Tiempo Transcurrido	PSI
10:00am	0	0
11:00am	60	45
11:30am	90	90
12:00pm	120	240
12:15pm	135	350
12:30pm	150	390
12:45pm	165	410
1:00pm	180	520
1:15pm	195	950
1:30pm	210	1150
1:45pm	225	1750
2:00pm	240	2185
2:15pm	255	2745
2:30pm	270	3589
2:45pm	285	3950
3:00pm	300	4150

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	167	min
Fraguado Final	3,992.49	PSI	280.84	min

			Tiempo	
Fraguado Inicial	497.82	PSI	2.78	Hrs
Fraguado Final	3,992.49	PSI	4.68	Hrs

11/12/2017	235	14.9	174.37	30	11.611	CL	0.5	Pileta	32,500	0.7	186	3	192	14/12/2017
11/12/2017	236	14.9	174.37	30	11.581	CL	0.5	Pileta	34,000	0.7	195	3		14/12/2017
11/12/2017	237	14.9	174.37	30.3	11.663	CL	0.5	Pileta	34,000	0.7	195	3		14/12/2017
11/12/2017	238	14.9	174.37	30	11.517	CL	0.5	Pileta	41,998	0.7	241	7	236	18/12/2017
11/12/2017	239	15	176.72	30.5	12.128	CL	0.5	Pileta	42,593	0.7	241	7		18/12/2017
11/12/2017	240	15.1	179.08	30.4	12.036	CL	0.5	Pileta	40,405	0.7	226	7		18/12/2017
11/12/2017	241	14.9	174.37	30	11.542	CL	0.5	Pileta	50,957	0.7	292	28	295	08/01/2018
11/12/2017	242	15	176.72	30.5	12.063	CL	0.5	Pileta	53,240	0.7	301	28		08/01/2018
11/12/2017	243	14.9	174.37	30	11.578	CL	0.5	Pileta	50,779	0.7	291	28		08/01/2018
11/12/2017	244	14.9	174.37	30.6	11.709	CL	0.5	Natural	35,000	0.7	201	3	201	14/12/2017
11/12/2017	245	14.9	174.37	30	11.191	CL	0.5	Natural	35,500	0.7	204	3		14/12/2017
11/12/2017	246	14.9	174.37	30.4	11.162	CL	0.5	Natural	34,500	0.7	198	3		14/12/2017
11/12/2017	247	15	176.72	30.7	11.628	CL	0.5	Natural	45,786	0.7	259	7	255	18/12/2017
11/12/2017	248	15	176.72	30.6	11.604	CL	0.5	Natural	43,112	0.7	244	7		18/12/2017
11/12/2017	249	15	176.72	30.8	11.665	CL	0.5	Natural	46,349	0.7	262	7		18/12/2017
11/12/2017	250	14.9	174.37	30	10.911	CL	0.5	Natural	52,950	0.7	304	28	314	08/01/2018
11/12/2017	251	15	176.72	30.4	11.502	CL	0.5	Natural	56,313	0.7	319	28		08/01/2018
11/12/2017	252	14.9	174.37	30	10.996	CL	0.5	Natural	55,854	0.7	320	28		08/01/2018

Apéndice 6. Ganancia de resistencia (kg/cm^2 por día) de los concretos según el tipo de acelerante y dosis.

Se calcularon las velocidades de ganancia de resistencia en los tres lapsos de vida del concreto de 0-3, 3-7 y 7-28 días y se presentan a continuación para cada dosis y tipo de aditivo.

Lapso	A/C	Aditivo	Dosis relativa de aditivo			
			0 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
0 – 3 días	0.5	SCL	88.7	91.3	91.0	93.7
		CL	88.7	89	90	98
3 – 7 días		SCL	5.8	3.7	4.5	8.8
		CL	5.8	8.0	4.3	3.0
7 – 28 días		SCL	1.5	1.5	1.7	1.1
		CL	1.5	1.2	1.5	1.4
0 – 3 días	0.7	SCL	63.0	71.3	68.0	72.0
		CL	63.0	64.0	71.0	75.3
3 – 7 días		SCL	9.75	5.3	8.3	6.0
		CL	9.75	11.0	8.0	6.3
7 – 28 días		SCL	1.4	2.5	2.1	2.1
		CL	1.4	2.8	1.5	2.3

Apéndice 7. Reporte fotográfico del trabajo de laboratorio.

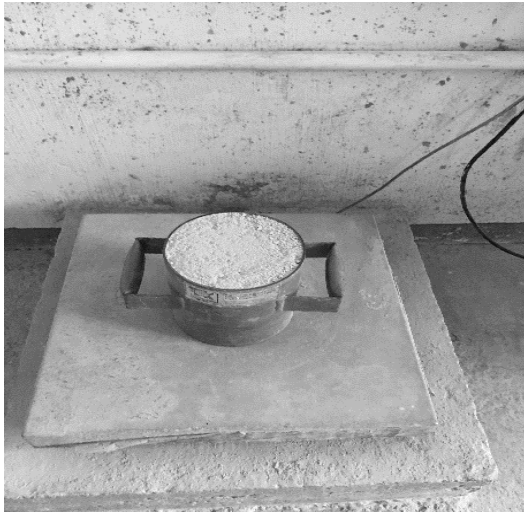
Prueba de densidad de la arena



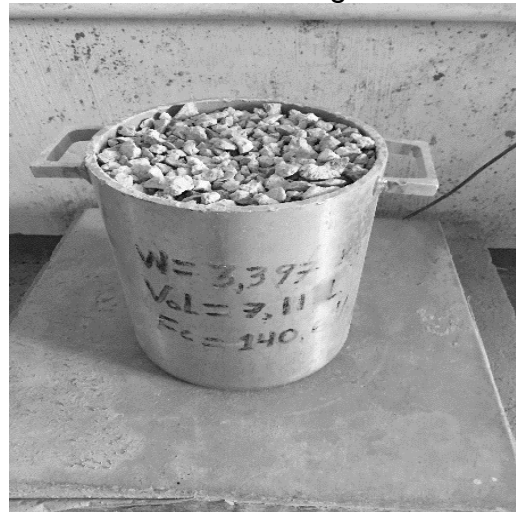
Prueba de densidad de la grava



Prueba de peso volumétrico seco suelto de la arena



Prueba de peso volumétrico seco suelto de la grava



Prueba de peso volumétrico seco compacto de la grava



Prueba de granulometría de la grava y su TMA



Prueba de granulometría de la arena y su módulo de finura



Prueba de absorción de la grava y de la arena



Prueba de humedad de la grava y la arena



Dosificación de aditivo SCL



Dosificación de aditivo CL



Prueba de Revenimiento



Colocación de materiales dentro de la revolvedora



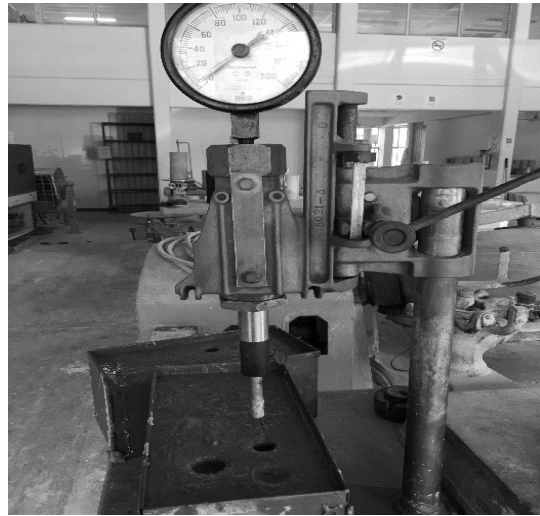
Compactación de especímenes en la mesa de vibrado



Prueba de peso volumétrico al concreto fresco



Prueba de fraguado al concreto fresco



Curado de cilindros por inmersión en agua (húmedo)



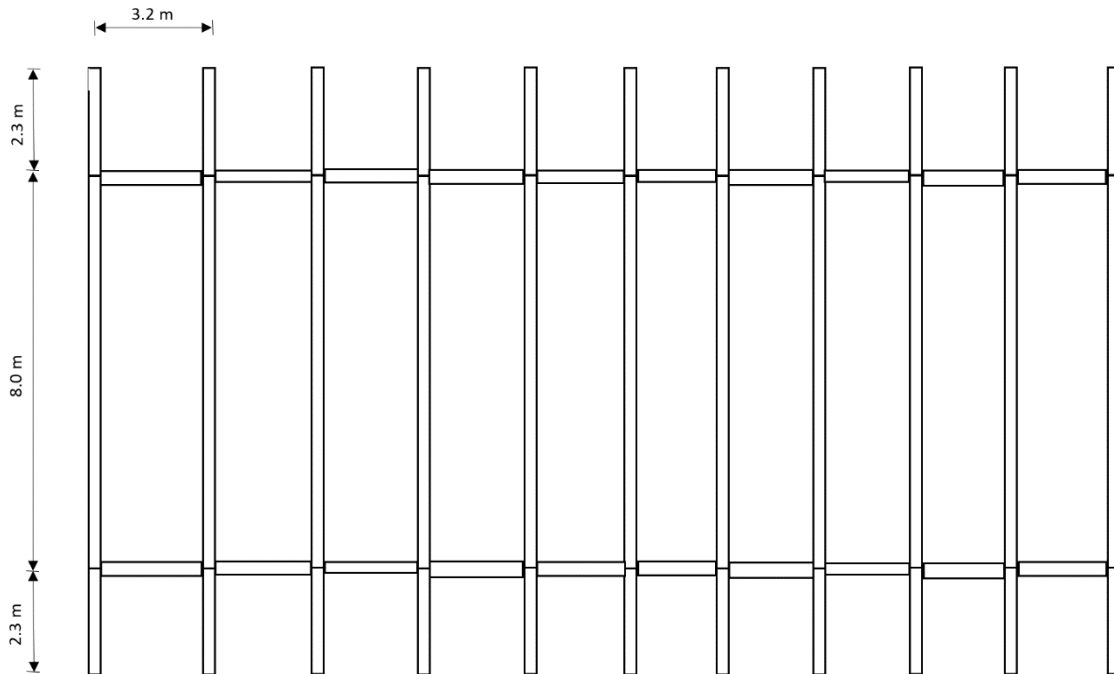
Curado de cilindros al aire (natural)



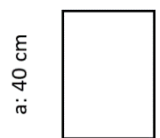
Prueba de resistencia



Apéndice 8. Croquis de la estructura considerada en el análisis económico.



Corte de la trabe y el
cerramiento



b: 30 cm

Apéndice 9. Análisis del precio unitario de la mano de obra por m² de cimbra de contacto de para la losa de vigueta y bovedilla incluyendo habilitado, cimbrado y descimbrado.

1. MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1495	Alambre recocido No.18	kg	0.05	17.00	0.85
1561	Chaflán de madera de pino de 3a. de 1"	m	2.50	8.74	21.85
1563	Clavo de 2 1/2" a 3 1/2"	kg	0.09	16.00	1.440
1621	Diésel	l	0.50	7.82	3.910
1681	Madera de pino de 3a.	pt	6.34	14.90	94.540
1805	Triplay de pino de 16mm 1 cara (para cimbra)	h	0.06	418.24	28.105
Total materiales					150.69
2. MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1877	Ayudante	jor	0.17	249.35	42.638
1883	Carpintero de obra negra	jor	0.17	380.69	65.098
1908	Cabo de oficios	jor	0.05	512.28	2.920
Total mano de obra					110.65
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Herramienta menor				5.00 %	5.53
Total equipo, maquinaria y herramientas					5.53
Total Precio Unitario de Cimbra de contacto en losas de vigueta y bovedilla: habilitado, cimbrado, descimbrado, chaflán, gotero y frentes (ochavos)					266.88

Apéndice 10. Descomposición del análisis del precio unitario de la mano de obra por m² de cimbra de contacto de la losa de vigueta y bovedilla en 3 partes.

Actividad	Porcentaje de ponderación	Pu	Porcentaje x Pu
Habilitado	40 %	266.89	106.75
Cimbrado	30 %	266.89	80.07
Descimbrado	30 %	266.89	80.07

Apéndice 11. Análisis del precio unitario de la mano de obra por m² de cimbra de contacto de la trabe.

1. MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1495	Alambre recocido No.18	kg	0.05	17.00	0.85
1561	Chaflán de madera de pino de 3a. de 1"	m	2.50	8.74	21.85
1563	Clavo de 2 1/2" a 3 1/2"	kg	0.090	16.00	1.44
1621	Diésel	l	0.50	7.82	3.91
1681	Madera de pino de 3a.	pt	6.30	14.90	94.54
1805	Triplay de pino de 16mm 1 cara (para cimbra)	h	0.09	418.24	39.02
Total materiales					161.61
2. MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1877	Ayudante	jor	0.12	249.35	31.16
1883	Carpintero de obra negra	jor	0.12	380.69	47.58
1908	Cabo de oficios	jor	0.04	512.28	2.13
Total mano de obra					80.88
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Herramienta menor				5.00 %	4.04
Total equipo, maquinaria y herramientas					4.04
Total Precio Unitario de Cimbra aparente en trabes con triplay de pino de 16 mm incluye habilitado, cimbrado, descimbrado, chaflanes u ochavos y frentes.					246.54

Apéndice 12. Descomposición del análisis del precio unitario de la mano de obra por m² de cimbra de contacto de la trabe en 3 partes.

Actividad	Porcentaje de ponderación	Pu	Porcentaje x Pu
Habilitado	40 %	246.55	98.62
Cimbrado	30 %	246.55	73.96
Descimbrado	30 %	246.55	73.96

Apéndice 13. Análisis del precio unitario de la mano de obra por m² de cimbra de contacto del cerramiento.

1. MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1495	Alambre recocido No.18	kg	0.05	17.00	0.85
1561	Chaflán de madera de pino de 3a. de 1"	m	2.50	8.74	21.85
1563	Clavo de 2 1/2" a 3 1/2"	kg	0.09	16.00	1.44
1621	Diésel	l	0.50	7.82	3.91
1681	Madera de pino de 3a.	pt	6.34	14.90	94.54
1805	Triplay de pino de 16mm 1 cara (para cimbra)	h	0.09	418.24	39.02
Total materiales					161.61
2. MANO DE OBRA					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1877	Ayudante	jor	0.12	249.35	31.16
1883	Carpintero de obra negra	jor	0.12	380.69	47.58
1908	Cabo de oficios	jor	0.00	512.28	2.13
Total mano de obra					80.88
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Herramienta menor				5.00 %	4.04
Total equipo, maquinaria y herramientas					4.04
Total Precio Unitario de Cimbra aparente en trabes con triplay de pino de 16 mm incluye habilitado, cimbrado, descimbrado, chaflanes u ochavos y frentes.					246.54

Apéndice 14. Descomposición del análisis del precio unitario de la mano de obra por m² de cimbra de contacto del cerramiento en 3 partes.

Actividad	Porcentaje de ponderación	Pu	Porcentaje x Pu
Habilitado	40 %	246.55	98.62
Cimbrado	30 %	246.55	73.96
Descimbrado	30 %	246.55	73.96

Apéndice 15. Calculo de cantidad de concreto en m³ y litros de acelerante para el análisis económico.

Losa		
Base	3.2	m
Altura	0.05	m
Largo	12.6	m
Área	2.016	m ³
Total Losas	10	piezas
Total	20.16	m ³

Trabe		
Base	0.3	m
Altura	0.4	m
Largo	12.6	m
Área	1.512	m ³
Total Trabes	11	piezas
Total	16.632	m ³

Cerramiento		
Base	0.3	m
Altura	0.4	m
Largo	3.2	m
Área	0.384	m ³
Total Cerramientos	20	piezas
Total	7.68	m ³

M3 de construcción		
Losas	20.16	m ³
Trabes	16.632	m ³
Cerramientos	7.68	m ³
Total	44.472	m ³

Cantidad de Acelerante al 1.5%		
Acelerante	6.9	l/m ³
Construcción	44.472	m ³
Total	306.8568	l