



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil

“Caracterización de materiales y diseño de hormigones comerciales bombeados para la empresa Hormi Center a partir de la adaptación del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 y Fuller, con el tipo de cemento HE de la casa cementera HOLCIM.”

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Civil

Autores:

Erika Viviana Briones Rodriguez
Correo electrónico: erika.briones137@hotmail.com

CI: 010556497-5

Paúl Sebastián Mora Moscoso
Correo electrónico: pmoram94@gmail.com

CI: 010551340-2

Directora:
Diana Bernardita Mora Abril

CI: 010249985-2

Co-Directora:
Joselin Sofía García Arpi

CI: 010500024-4

Cuenca - Ecuador

10-febrero-2022



Resumen:

En los últimos años, la industria del hormigón premezclado ha incrementado notablemente su presencia en el sector de la construcción. El presente trabajo procura analizar la factibilidad y la mejora de los diseños de hormigones premezclados comerciales para la planta Hormi Center, estimando dos parámetros, la trabajabilidad medida por medio del ensayo de asentamiento con cono de Abrams durante un periodo de dos horas en intervalos de treinta minutos, y la resistencia a la compresión determinada a los 7, 14 y 28 días de edad. Para esto se realizan mezclas de prueba con los aditivos (un retardante y un plastificante) de las casas de BASF, SIKA y PROTEX, utilizando el cemento HE de Holcim y los áridos de las minas VIPESA y El Piedrero, partiendo de los diseños existentes en la empresa y rediseñando con los principios establecidos por medio del método de ACI 211.1 y el método de Fuller Thompson para obtener las proporciones de los áridos a ser utilizados en la mezcla.

Con los resultados obtenidos con cada casa de aditivos empleada, se analiza el comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido, llegando a la conclusión de que los hormigones elaborados con la casa de aditivos BASF, cumplen satisfactoriamente con las propiedades físico mecánicas (asentamiento y resistencia a la compresión) solicitadas por la empresa Hormi Center, pérdida de asentamiento en un período de dos horas no mayor a 8 cm y con las resistencias a la compresión superiores a las de diseño con más del 30% a los 28 días de edad, además, presentando los menores costos de producción en cada uno de los diseños.

Palabras claves: Factibilidad. Trabajabilidad. Resistencia a la compresión. Diseño de hormigón premezclado. BASF. SIKA. PROTEX. Aditivos. Fuller. ACI 211.1. Caracterización.



Abstract:

In recent years, the ready-mixed concrete industry has notably increased its presence in the construction sector. This work seeks to analyze the feasibility and improvement of commercial ready-mixed concrete designs for the Hormi Center production facility. This is done by estimating two parameters, the slump measured by means of the Abrams cone slump test over a period of two hours at thirty-minute intervals, and the compressive strength determined at 7, 14 and 28 days of age. In order to achieve this, test mixtures are made with additives (a retarder and a plasticizer) from BASF, SIKA and PROTEX, using Holcim's HE cement and aggregates from the VIPESA and El Piedrero mines, on the basis of the existing designs from the company and redesigning with the principles established by means of the ACI 211.1 method and the Fuller Thompson method in order to obtain the proportions of the aggregates to be used in the mixture.

With the obtained results with each house of additives used, the behavior of the concrete in fresh and hardened state is analyzed, coming to the conclusion that the concretes made with BASF additives, successfully meet with the physical-mechanical properties (slump and compressive strength) requested by the Hormi Center Company, slump loss in a period of two hours not greater than 8 cm and with compressive strengths higher than design strengths with more than 30% at 28 days of age, additionally, it shows the lowest production costs for each of the designs.

Keywords: feasibility, slump, compressive strength, ready-mix concrete design, aggregates, BASF, SIKA, PROTEX, additives, Fuller, ACI 211.1, characterization.



Índice del trabajo

1. LINEAMIENTOS	19
1.1. INTRODUCCIÓN.....	19
1.2. ANTECEDENTES	19
1.2.1. <i>Antecedentes históricos</i>	19
1.2.2. <i>Antecedentes a nivel nacional y local</i>	22
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.4. JUSTIFICACIÓN	24
1.5. OBJETIVOS	24
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	24
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	24
1.6. ALCANCE	25
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1. CEMENTO	26
2.1.1. <i>Definición</i>	27
2.1.2. <i>Tipos de cemento</i>	27
2.1.3. <i>Composición química del cemento</i>	27
2.2. ÁRIDOS.....	28
2.2.1. <i>Árido fino</i>	29
2.2.2. <i>Árido grueso</i>	29
2.2.3. <i>Humedad natural de los áridos</i>	29
2.2.4. <i>Granulometría</i>	29
2.2.5. <i>Gravedad específica y absorción</i>	30
2.2.6. <i>Masa unitaria (peso volumétrico)</i>	30
2.3. AGUA.....	30
2.3.1. <i>Agua de mezclado</i>	30
2.3.2. <i>Agua de curado</i>	31
2.4. ADITIVOS	31
2.4.1. <i>Definición</i>	32
2.4.2. <i>Clasificación</i>	32
2.4.3. <i>Aplicaciones</i>	35
2.5. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN	36



2.5.1.	<i>Estado fresco</i>	36
2.5.2.	<i>Estado endurecido</i>	40
3.	MATERIALES Y METODOLOGÍA	44
3.1.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS	44
3.1.1.	<i>Cemento</i>	44
3.1.2.	<i>Áridos</i>	45
3.1.3.	<i>Aditivos</i>	55
3.2.	METODOLOGÍA.....	62
3.2.1.	<i>Etapa 1: Determinación teórica de las proporciones de la mezcla de hormigón</i>	62
3.2.2.	<i>Etapa 2: Ensayos en el hormigón</i>	77
4.	RESULTADOS	103
4.1.	MATERIALES Y PROPORCIONES	103
4.2.	PÉRDIDA DE TRABAJABILIDAD	105
4.2.1.	<i>Pérdida de trabajabilidad de los diseños con el aditivo PROTEX para el porcentaje de aditivo utilizado por la empresa.</i>	105
4.2.2.	<i>Comparación de la pérdida de trabajabilidad entre los aditivos de las diferentes casas para una misma resistencia de diseño.</i>	106
4.3.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	111
4.4.	TIEMPOS DE FRAGUADO	117
4.5.	RELACIÓN ENTRE ASENTAMIENTO Y TIEMPOS DE FRAGUADO	117
4.6.	PESO UNITARIO, RENDIMIENTO Y PORCENTAJE DE AIRE DEL HORMIGÓN	119
4.7.	COSTOS DE PRODUCCIÓN	120
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
5.1.	CONCLUSIONES.....	123
5.2.	RECOMENDACIONES.....	127
	REFERENCIAS	128
	ANEXO 1: REPORTES DE LABORATORIO	131
	ANEXO 2: FORMULARIOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA SIN ADITIVO	135
	ANEXO 3: REPORTE DE PROCESAMIENTO PARA RESULTADOS	147



Índice de figuras

Figura 1. Trilogía del hormigón, (Crespo, 2018).	36
Figura 2. Formación de una pila menor de los áridos fino y grueso.	46
Figura 3. Proceso de cuarteo de los áridos fino y grueso.	47
Figura 4. Curva granulométrica para el árido fino. Mina El Piedrero.	49
Figura 5. Curva granulométrica para el árido grueso. Mina VIPESA.....	51
Figura 6. Árido fino en condición superficialmente seca.....	52
Figura 7. Eliminación de la humedad superficial del árido grueso.	53
Figura 8. Compactación del árido grueso por el método de varillado.....	55
Figura 9. Curva granulométrica combinada ajustada.	73
Figura 10. Mezcladora de hormigón, marca CENTURY.	78
Figura 11. Básculas.	78
Figura 12. Equipo para toma de asentamiento.	79
Figura 13. Equipo para contenido de aire a presión.	79
Figura 14. Termómetro de hormigón.	79
Figura 15. Equipo para tiempos de fraguado.....	80
Figura 16. Preparación de la mezcla de hormigón.....	81
Figura 17. Lectura del asentamiento inicial.....	82
Figura 18. Mezcla segregada.	83
Figura 19. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 210 kg/cm ² con la casa PROTEX. 86	
Figura 20. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 210 kg/cm ² con la casa BASF. 87	
Figura 21. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 210 kg/cm ² con la casa SIKA. .88	
Figura 22. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 240 kg/cm ² con la casa PROTEX. 89	
Figura 23. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 240 kg/cm ² con la casa BASF. 90	



Figura 24. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa SIKA. . 91

Figura 25. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa PROTEX.
92

Figura 26. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa BASF. 93

Figura 27. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa SIKA. .94

Figura 28. Perilla de control de velocidad..... 95

Figura 29. Cilindros recién sacados de la piscina, secados superficialmente, pesados y medidos. 96

Figura 30. Rotura del cilindro en la máquina de compresión..... 96

Figura 31. Preparación de la muestra, tiempos de fraguado. 99

Figura 32. Toma de lecturas de penetración para tiempos de fraguado..... 99

Figura 33. Ploteo automático de tiempos de fraguado para una resistencia de diseño de 210 kg/cm², con la casa de aditivos PROTEX..... 101

Figura 34. Ploteo automático de tiempos de fraguado para una resistencia de diseño de 210 kg/cm², con la casa de aditivos PROTEX..... 101

Figura 35. Proceso para determinar la densidad del hormigón..... 102

Figura 36. Proceso para determinar el contenido de aire..... 102

Figura 37. Representación gráfica de la pérdida de asentamiento de los diseños realizados con la casa PROTEX..... 106

Figura 38. Representación gráfica de la pérdida de trabajabilidad para la resistencia de diseño de 210 kg/cm². 107

Figura 39. Representación gráfica de la pérdida de trabajabilidad para la resistencia de diseño de 240 kg/cm². 109

Figura 40. Representación gráfica de la pérdida de trabajabilidad para la resistencia de diseño de 300 kg/cm². 110

Figura 41. Comparación de la resistencia a la compresión para la resistencia de diseño de 210 kg/cm²..... 113

Figura 42. Probetas porosas desmoldadas a las 48 horas. 114



Figura 43. Comparación de la resistencia a la compresión para la resistencia de diseño de 240 kg/cm²..... **115**

Figura 44. Comparación de la resistencia a la compresión para la resistencia de diseño de 300 kg/cm²..... **116**

Figura 45. Pérdida de asentamiento vs tiempos de fraguado, resistencia de diseño 210 kg/cm². **118**

Figura 46. Comparación de los precios totales de los hormigones por metro cúbico..... **123**



Índice de tablas

Tabla 1. Número de empresas en el sector de la construcción en Ecuador. Fuente: (<i>visualizador de estadísticas empresariales</i> , S. F.).....	22
Tabla 2. Requisitos físicos del cemento HOLCIM HE, (Holcim Ecuador s.a, 2015).....	45
Tabla 3. Límites granulométricos del árido fino, (INEN, 2011c).	48
Tabla 4. Análisis granulométrico del árido fino.	49
Tabla 5. Límites granulométricos del árido grueso, (INEN, 2011c).	50
Tabla 6. Análisis granulométrico del árido grueso.	50
Tabla 7. Densidades y absorción del árido fino.....	52
Tabla 8. Densidades y absorción del árido grueso.....	53
Tabla 9. Masa unitaria suelta y compactada del árido fino.	55
Tabla 10. Masa unitaria suelta y compactada del árido grueso.....	55
Tabla 11. Evaluación estadística de las resistencias a la compresión registradas en el año 2020. Fuente: Hormi Center Cia. Ltda.....	66
Tabla 12. Determinación de las relaciones agua/cemento para cada resistencia de diseño.	67
Tabla 13. Relaciones agua/cemento, para cada cantidad de cemento utilizada por la empresa.	68
Tabla 14. Porcentajes sugeridos de aditivos de acuerdo a las fichas técnicas.....	68
Tabla 15. Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos.....	69
Tabla 16. Límites de gradación recomendados para granulometrías continuas en porcentaje que pasa para distintos tamaños máximos. Fuente: (sánchez de guzmán, 2002)	70
Tabla 17. Módulos de finura de los áridos fino, grueso y curva de Fuller.....	71
Tabla 18. Proporcionamiento de los áridos, método módulos de finura.	72
Tabla 19. Proporcionamiento de los áridos, método gráfico.....	72
Tabla 20. Humedad y absorción de los áridos, ejemplo.	77



Tabla 21. Ejemplo de corrección por humedad. 77

Tabla 22. Proceso de mezclado. 81

Tabla 23. Diseño teórico de la mezcla de prueba, con ajuste de agua..... 84

Tabla 24. Asentamiento de la primera prueba en un periodo de dos horas. 84

Tabla 25. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa PROTEX. 84

Tabla 26. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa BASF. 86

Tabla 27. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa SIKA. 87

Tabla 28. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa PROTEX. 88

Tabla 29. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa BASF. 89

Tabla 30. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa SIKA. 90

Tabla 31. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa PROTEX. 91

Tabla 32. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa BASF. 92

Tabla 33. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa SIKA. 93

Tabla 34. Descripción del espécimen, consolidación y capas para elaboración de cilindros para resistencia, fuente: (INEN, 2017) 94

Tabla 35. Resistencia a la compresión de las mezclas de prueba realizadas. 97

Tabla 36. Toma de datos del ensayo de tiempos de fraguado para una resistencia de diseño de 210 kg/cm² con la casa de aditivos PROTEX..... 100



Tabla 37. Porcentajes de los aditivos de BASF, SIKA y PROTEX, que proporcionan los requerimientos solicitados por la empresa. 104

Tabla 38. Dosificaciones finales para las resistencias de diseño comerciales. 104

Tabla 39. Pérdida de asentamiento de los diseños realizados con la casa de aditivos PROTEX. 106

Tabla 40. Comparación de la pérdida de trabajabilidad para una resistencia de diseño de 210 kg/cm²..... 107

Tabla 41. Pérdida de trabajabilidad en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 210 kg/cm². 107

Tabla 42. Comparación de la pérdida de trabajabilidad para una resistencia de diseño de 240 kg/cm²..... 108

Tabla 43. Pérdida de trabajabilidad en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 240 kg/cm². 109

Tabla 44. Comparación de la pérdida de trabajabilidad para una resistencia de diseño de 300 kg/cm²..... 110

Tabla 45. Pérdida de trabajabilidad en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 300 kg/cm². 111

Tabla 46. Resistencias a la compresión con la casa de aditivo protex y porcentajes utilizados por la empresa..... 111

Tabla 47. Resistencias a la compresión para la resistencia de diseño de 210 kg/cm². ..112

Tabla 48. Resistencias a la compresión para la resistencia de diseño de 240 kg/cm². ..114

Tabla 49. Resistencias a la compresión para la resistencia de diseño de 300 kg/cm². ..115

Tabla 50. Tiempos de fraguado inicial y final para las resistencias de diseño de 210, 240 y 300 kg/cm². 117

Tabla 51. Relación entre asentamiento y tiempos de fraguado..... 117

Tabla 52. Peso unitario, rendimiento y porcentaje de aire para la resistencia de diseño de 210 kg/cm²..... 119



Tabla 53. Peso unitario, rendimiento y porcentaje de aire para la resistencia de diseño de 240 kg/cm²..... **119**

Tabla 54. Peso unitario, rendimiento y porcentaje de aire para la resistencia de diseño de 300 kg/cm²..... **120**

Tabla 55. Precios unitarios de los componentes del hormigón..... **120**

Tabla 56. Precio total de producción de los hormigones comerciales de la empresa Hormi Center. **121**

Tabla 57. Precio total de producción para los diseños de 210 kg/cm² de hormigones comerciales..... **121**

Tabla 58. Precio total de producción para los diseños de 240 kg/cm² de hormigones comerciales..... **122**

Tabla 59. Precio total de producción para los diseños de 300 kg/cm² de hormigones comerciales..... **122**



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Erika Viviana Briones Rodriguez en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Caracterización de materiales y diseño de hormigones comerciales bombeados para la empresa Hormi Center a partir de la adaptación del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 y Fuller, con el tipo de cemento HE de la casa cementera HOLCIM", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de febrero de 2022

Erika Viviana Briones Rodriguez

C.I: 0105564975



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Paúl Sebastián Mora Moscoso en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Caracterización de materiales y diseño de hormigones comerciales bombeados para la empresa Hormi Center a partir de la adaptación del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 y Fuller, con el tipo de cemento HE de la casa cementera HOLCIM", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de febrero del 2022

Paúl Sebastián Mora Moscoso

C.I: 0105513402



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Erika Viviana Briones Rodriguez, autora del trabajo de titulación "Caracterización de materiales y diseño de hormigones comerciales bombeados para la empresa Hormi Center a partir de la adaptación del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 y Fuller, con el tipo de cemento HE de la casa cementera HOLCIM", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 10 de febrero de 2022

Erika Viviana Briones Rodriguez

C.I: 0105564975



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Paúl Sebastián Mora Moscoso, autor del trabajo de titulación "Caracterización de materiales y diseño de hormigones comerciales bombeados para la empresa Hormi Center a partir de la adaptación del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 y Fuller, con el tipo de cemento HE de la casa cementera HOLCIM", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de febrero del 2022

Paúl Sebastián Mora Moscoso

C.I: 0105513402



Dedicatoria

Con todo mi corazón dedico este trabajo de titulación a mi familia, con un especial cariño a mis padres Carlos y María, quienes siempre me han apoyado en todas las etapas de mi vida y que gracias a ellos logro alcanzar una meta más. A mis hermanos Jonnathan y Melany, por todo el apoyo, aliento y ánimo que me han brindado a lo largo de mi carrera universitaria. Además, dedico este trabajo a Anthony y a mi sobrino Julián que me han llenado de felicidad y ánimo en los momentos difíciles.

Erika Briones

Quiero dedicar este trabajo de titulación a quien me acompaño cada paso, cada momento en este proceso de estudio a Dios, segundo a mi familia Luis, Yolanda y Paola personas que me impulsaron a salir adelante ante cada adversidad y por último a Mary y a mi abuelita Lucia quien desde el cielo intercede por mi caminar.

Paúl Mora



Agradecimientos

La elaboración de este trabajo de titulación no ha sido únicamente por el esfuerzo de los autores. Han sido varias las personas que han contribuido de manera importante en el desarrollo y la culminación del mismo. A todos ellos queremos expresarles nuestros más sinceros agradecimientos.

Primero a nuestras familias, por ser un apoyo incondicional a lo largo de la carrera y durante la realización de este trabajo de titulación.

A nuestras directoras, las ingenieras Diana Mora y Joselin García, por ayudarnos con críticas constructivas y sobre todo a la entrega brindada en la solución de problemas a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero José Luis Tepán y al señor Jhon Tandazo por brindarnos ayuda en el laboratorio de la empresa Hormi Center.



1. LINEAMIENTOS

1.1. Introducción

El desarrollo del presente trabajo de titulación tiene como objetivo analizar la factibilidad y la mejora de los diseños de hormigones premezclados comerciales con resistencias de 210 kg/cm², 240 kg/cm² y 300 kg/cm² para la planta Hormi Center Cia. Ltda., en términos de las propiedades físico mecánicas (asentamiento y resistencia), para lo cual se plantearon varios objetivos específicos, los mismos que cumplen un proceso para la obtención de las mezclas de hormigón, brevemente resumiendo, primeramente la caracterización del material, para luego en base a la metodología de ACI 211.1 y Fuller Thompson obtener de los diseños teóricos, y así posteriormente experimentar las mezclas obtenidas de forma teórica y finalmente realizar los ajustes de los diseños teóricos y las tabulaciones de las dosificaciones finales.

Es imprescindible para una empresa como Hormi Center Cia. Ltda. que provee de hormigón premezclado a gran parte del Austro ecuatoriano, sobre todo a las provincias de Azuay y Cañar, contar con hormigones que garanticen la calidad requerida por los clientes, es por esta razón que se parte del conocimiento que tiene la empresa sobre hormigones, para así llegar a las diversas propuestas, garantizando el cumplimiento de las propiedades físico mecánicas (asentamiento y resistencia).

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes históricos

Son varias las teorías que se mencionan por diversos autores sobre el origen del hormigón, sin embargo, se describirán las siguientes. Una de las teorías indica que en la época del Paleolítico y del Neolítico, las técnicas de construcción mejoraron de tal forma que el ser humano empezó a unir piedras para formar mampostería en seco, método que consistía en colocar una piedra sobre otra procurando que las uniones sean lo más prolijas posible para crear muros sin el uso de ningún tipo de conglomerante. Pero con el paso del tiempo y con el descubrimiento de instrumentos y la mezcla de productos que le permitían subsistir al hombre, desarrollaron un conglomerante que estaba formado por arcilla apisonada con canto rodado, el mismo que se colocaba entre capas de piedra conformando muros y servía



para tener una mejor distribución de esfuerzos y evitar roturas de las piedras (Nistal et al., 2012).

Otra de las teorías, explica que las primeras manifestaciones de la utilización de hormigón se encontraron “en las riberas del río Danubio en Yugoslavia” (Lemos Villarroel, 2010), donde se encontró “hormigón rudimentario” en el piso de las chozas, este estaba compuesto por la unión de caliza, arena, grava y agua. De acuerdo a ese estudio, se demostró que el hormigón existe desde el año 7500 A.C. (Lemos Villarroel, 2010).

Al establecerse las primeras civilizaciones durante la Edad Antigua (año 4000 A.C), se descubren nuevos materiales a utilizarse como conglomerantes, es así que, en Mesopotamia, se utilizaron breas de petróleo hasta la época en que los egipcios descubrieron la cal, que se vio reflejada en la construcción de la pirámide de Gizeh, “en donde los bloques de piedra de esta obra de cuarenta pisos fueron pegados con un mortero hecho de yeso calcinado impuro y arena” (Sánchez de Guzmán, 2002). En la época del Imperio Romano el uso del hormigón como elemento constructivo era alto, debido a la facilidad de conseguir cerca de Roma arenas volcánicas con propiedades cementicias, con las elaboraban un mortero mezclando piedras naturales con las arenas volcánicas. Este mortero tenía propiedades físicas similares a las de los hormigones que se utilizan en la actualidad, una de estas, la durabilidad, ya que con el paso de los siglos se ha presenciado que las estructuras romanas han sido duraderas, como el Panteón Romano, el Coliseo Romano, entre otras estructuras. (Nistal et al., 2012).

Desde la Edad Antigua hasta inicios de la edad contemporánea se concluye que no hubo avances en la industria del hormigón, se continuó manejando un mortero hecho a base de cal y arena que servía como conglomerante para unir las piedras o bloques, sin embargo, esta combinación no era buena y se catalogaba de mala calidad por: una incompleta cocción de la cal, descuido de la mano de obra y la carencia de tobas volcánicas (Sánchez de Guzmán, 2002).

El uso del hormigón disminuyó notablemente hasta el descubrimiento de John Smeaton, al cual se le encargó, por parte del Royal Society, la construcción del faro de Eddystone. Smeaton entendió que las propiedades hidráulicas de la cal blanca eran deficientes, es decir no endurecía bajo el agua sino más bien se lavaba, a comparación de la cal gris, que contenía impurezas de arcilla. Luego observó que la puzolana tenía superiores cualidades



hidráulicas que la cal gris, debido a la combinación de sus componentes de óxido de calcio (cal) y silicato de aluminio (arcilla). Así es como a Smeaton, se lo conoce como el padre de la ingeniería moderna por descubrir el mortero que permitió la elaboración del hormigón que conocemos en la actualidad (Nistal et al., 2012).

Luego de este descubrimiento y con el desarrollo de varios tipos de cementos hidráulicos y además, con la mejora de la calidad del mortero, empieza en 1824 Joseph Aspdin, “un constructor de Leeds (Inglaterra)” (Sánchez de Guzmán, 2002), a desarrollar el cemento Portland, “calcinando en un horno una mezcla de tres partes de piedra caliza por una parte de arcilla, la cual molió y pulverizó” (Sánchez de Guzmán, 2002), por medio de la cual obtuvo la patente del cemento Portland.

Después 20 años aproximadamente, en el año de 1845, Isaac Johnson mejora la fabricación del cemento por medio de “una mezcla de caliza y arcilla hasta formar el Clinker” (Sánchez de Guzmán, 2002), él descubrió que “la temperatura de calcinación debía elevarse hasta el máximo que pudiera lograrse en ese tiempo” (Sánchez de Guzmán, 2002), así describió de mejor forma sus experimentos a comparación de Aspdin.

Para utilizar al cemento en la industria de la construcción, los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis por medio de sus experimentos permitieron conseguir la producción cemento de calidad, que es el componente de mayor importancia dentro de la mezcla de hormigón (Sánchez de Guzmán, 2002).

El proporcionamiento de los materiales para las mezclas de hormigón antes del año de 1900, estaban preestablecidas empíricamente, “por ejemplo: se especificaban mezclas 1:3 por volumen suelto para pavimentos, 1:5 para losas, 1:4 para vigas, etc.” (Giraldo Bolívar, 1987). Lo cual fue permitido para esa época, porque el control de calidad del hormigón era deficiente. (Giraldo Bolívar, 1987)

A partir del siglo XIX una vez descubierto el cemento Portland, empieza a emplearse como material de construcción la mezcla de hormigón, compuesto por cemento, agua y áridos, y gracias a los estudios realizados por Feret, Fuller y Thompson, Abrams, entre otros, empiezan las nuevas técnicas modernas de diseño de las mezclas de hormigón (Giraldo Bolívar, 1987). Luego con el paso de los años se implementó el uso de aditivos químicos, porque era necesario utilizar a la mezcla del hormigón en diferentes aplicaciones prácticas.



Además, actualmente el control de calidad de las mezclas de hormigón en estado fresco y endurecido es obligatorio, por eso es importante resaltar hallazgos de ensayos que son utilizados actualmente para control de calidad. Uno de estos ensayos es el ensayo de asentamiento de cono de Abrams, que fue propuesto en el año de 1922 por la norma estadounidense, permite medir la trabajabilidad del hormigón. (Giraldo Bolívar, 1987)

A medida que la industria de la construcción y la tecnología crecían a pasos agigantados, cada vez eran requeridos volúmenes más grandes de hormigón, y así es como nace la idea del hormigón premezclado. El hormigón premezclado nace a partir de la primera central instalada en Hamburgo, Alemania en 1903 que funcionó hasta 1921 (López, 1972). El Ing. Juergen Hinrich Magens fue el primero en transportar un metro cúbico de concreto una distancia de 11 kilómetros, producido en una planta mezcladora estacionaria, que fue movilizado en un vehículo especial halado por caballos, producto que patentó con el nombre de concreto transportado, por parte de la oficina alemana de patentes (Sandoval, 2015). Sin embargo, la idea de transportar una mezcla de agregados, pegante y agua en estado fresco, hacia una obra nació del ingeniero inglés Deacon, pero el ingeniero alemán Hinrich convirtió a aquella idea en un hecho (Sandoval, 2015).

1.2.2. Antecedentes a nivel nacional y local

Dentro del ámbito de la construcción, en los últimos años el hormigón premezclado ha tenido una demanda alta, puesto que significa ahorro de tiempo y recursos para el constructor y sobre todo brinda la garantía del cumplimiento de los requisitos técnicos del mismo, a los menores costos posibles, es por esto que las empresas dedicadas a este campo buscan mejorar la calidad y precio de su producto en base a la mejora de materia prima, su respectivo control de calidad y el manejo de costos, en la tabla 1 se presentan los datos que indican claramente como el sector de la construcción va en crecimiento (*Visualizador de Estadísticas Empresariales, s. f.*).

Tabla 1. Número de empresas en el sector de la construcción en Ecuador. Fuente: (*Visualizador de Estadísticas Empresariales, s. f.*)

Año	Provincias		Total
	Azuay	Cañar	
2009	528	90	618
2010	801	119	920
2011	998	185	1183
2012	1104	238	1342



2013	1253	240	1493
2014	1332	242	1574
2015	1272	249	1521
2016	1279	221	1500
2017	1246	233	1479
2018	1262	250	1512
2019	1274	235	1509

La empresa Hormi Center Cia. Ltda. legalmente constituida con fecha 17 de marzo de 2012 bajo control de la Superintendencia de Compañías, ha servido a las provincias de Azuay y Cañar durante todos estos años, ofreciendo a sus clientes hormigones premezclados de acuerdo a sus requerimientos y a las exigencias necesarias en las obras en cuanto a resistencia, mediante la utilización de materia prima de calidad y pruebas de laboratorio que garantizan su alta calidad y su asequibilidad.

Además, la empresa Hormi Center desde su constitución ha participado en obras importantes como: centros de atención, edificio Gimnasio Taurus, nuevo mercado central, todas estas obras en la ciudad de Azogues, así también en la construcción del puente ubicado sobre el río Burgay. En la ciudad de Cuenca varios multifamiliares como el edificio Zeus, entre otros construidos en la zona de Misicata.

Hormi Center Cia. Ltda. es una de las empresas que aporta al sector de la construcción con la elaboración de hormigones premezclados, basados en las normativas NTE INEN y en el método de Fuller y ACI 211.1, procesos mediante los cuales, garantiza la resistencia y calidad de acuerdo a los requerimientos solicitados. Los hormigones ofrecidos por la empresa están diseñados y elaborados con áridos de las minas VIPESA y El Piedrero, junto con cemento HE de Holcim y con aditivos retardantes y plastificantes de PROTEX.

1.3. Definición del problema

Durante el período de realización del presente trabajo como parte del asesoramiento técnico en diseño de hormigones, en los meses de septiembre y octubre del año 2020, se observó que la empresa recibió una serie de reclamos debido a la trabajabilidad del producto entregado, lo que ocasionó pérdida de clientes y prestigio, teniendo entonces como reto la determinación de las causas y soluciones del problema lo antes posible.



1.4. Justificación

Para mejorar la trabajabilidad del hormigón, se explora, por medio de ensayos de laboratorio para determinar el comportamiento del mismo, con cada una de las casas de aditivos y con sus respectivos porcentajes de uso. Para la experimentación se seleccionaron dos aditivos de cada casa, uno de ellos cumpliendo con la función de plastificar a la mezcla, incrementando su asentamiento y evitando adicionar agua, y el otro brindando trabajabilidad al hormigón por un período de tiempo prolongado (retardo), de acuerdo al diseño realizado. Con la finalidad de brindar a los hormigones de la empresa Hormi Center, la calidad que los caracterizaba.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar la factibilidad y la mejora de los diseños de hormigones premezclados comerciales con resistencias de 210 kg/cm², 240 kg/cm² y 300 kg/cm² para la planta Hormi Center, en términos de las propiedades físico mecánicas (asentamiento y resistencia).

1.5.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar los áridos grueso y fino de las minas VIPESA y El Piedrero utilizados por la empresa.
2. Asegurar que la combinación de áridos sea la correcta, para que cumpla con las gradaciones ideales de Fuller Thompson en función del tamaño máximo nominal del árido grueso.
3. Elaborar los diseños teóricos para cada resistencia comercial de 210 kg/cm², 240 kg/cm² y 300 kg/cm², con cemento tipo HE de la casa cementera Holcim, partiendo de las dosificaciones proporcionadas por la empresa para el caso de diseños existentes y por medio del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 para los diseños nuevos.
4. Experimentar los diseños teóricos con diferentes porcentajes de aditivos (BASF, PROTEX y SIKA).



5. Realizar ajustes a los diseños teóricos mediante mezclas de prueba en el laboratorio, para efectuar los cambios que sean necesarios, con el objetivo de conseguir las características deseadas en el hormigón fresco y endurecido.
6. Tabular las dosificaciones finales de los diseños para cada resistencia con su respectiva combinación de aditivos.
7. Encontrar una mejora en las propiedades físico mecánicas (asentamiento y resistencia) mediante la comparación de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días y el asentamiento entre diseños existentes y diseños nuevos.
8. Determinar el precio por metro cúbico de cada diseño en base a precios unitarios de los materiales.

1.6. Alcance

En la presente investigación se elaboraron nueve diseños de hormigón distribuidos de la siguiente forma:

- Tres diseños nuevos con resistencia de 210 kg/cm²: uno con aditivo PROTEX, uno con aditivo BASF y uno con aditivo SIKA.
- Tres diseños nuevos con resistencia de 240 kg/cm²: uno con aditivo PROTEX, uno con aditivo BASF y uno con aditivo SIKA.
- Tres diseños nuevos con resistencia de 300 kg/cm²: uno con aditivo PROTEX, uno con aditivo BASF y uno con aditivo SIKA.

Cada diseño realizado contiene 4 cilindros, los cuales permiten ver su resistencia alcanzada en el tiempo, realizando la ruptura de los mismos de la siguiente forma: un cilindro a los 7 días, un cilindro a los 14 días y dos a los 28 días. Además, se obtuvieron los tiempos de fraguado inicial y final de cada uno de los diseños finales obtenidos, que cumplieron con anterioridad las propiedades físico mecánicas solicitadas por la empresa.

También se realizaron los ensayos de densidad, rendimiento y porcentaje de aire en el hormigón.

Los materiales utilizados son:

- Agregado Grueso, con tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ de la mina VIPESA.
- Agregado Fino de la mina de El Piedrero.
- Aditivos retardantes y plastificantes de las casas BASF, PROTEX y SIKA.



- Cemento tipo HE de la casa cementera Holcim.

Para realizar el diseño teórico de las mezclas en el presente trabajo, se adaptó el método de diseño de concreto según ACI 211.1 y el método de Fuller Thompson para obtener el porcentaje de los agregados grueso y fino.

Se obtiene la mejoría en el comportamiento del hormigón comparando los diseños existentes en la empresa Hormi Center con los diseños nuevos.

2. MARCO TEÓRICO

El hormigón es un material compuesto por la mezcla de ciertas proporciones de cemento, agregado fino, agregado grueso, aire, agua y opcionalmente aditivos, que inicialmente presenta una estructura moldeable y plástica, y que luego adquiere una consistencia dura con propiedades resistentes y aislantes.

Si bien el uso de los aditivos se puede considerar opcional, en la actualidad y de acuerdo a la técnica moderna de la construcción es un componente de uso normal y común a nivel mundial para la elaboración del hormigón. Con el estudio profundo que se ha dado al proceso de fraguado del cemento, se ha descubierto que con la adición de algunos productos químicos se obtenía una mejora notable de la calidad del hormigón, por medio de los efectos de fluidificación, plastificación y dispersión del cemento (Safranez, 1970).

En efecto, para conocer el comportamiento del producto resultante, es importante también entender el comportamiento de sus componentes y su interrelación basado en fichas y normas técnicas de los mismos.

2.1. Cemento

El cemento es uno de los componentes del hormigón de mayor trascendencia que el hombre ha producido. El cemento es un conglomerante que tiene la propiedad de endurecerse luego de ponerse en contacto con el agua, es una sustancia que tiene propiedades adhesivas sin importar cual sea su origen.

El cemento a ser utilizado para la elaboración de hormigón debe cumplir con los requisitos de las normas NTE INEN 152, NTE INEN 490 o NTE INEN 2380.



2.1.1. Definición

Según la norma NTE INEN 151 el cemento hidráulico es aquel que fragua y endurece por reacción química con agua y que aún es capaz de endurecer bajo el agua. Aquellos cementos hidráulicos que se componen de dos o más compuestos inorgánicos, son utilizados para mejorar las propiedades de resistencia del cemento (INEN, 2010f).

2.1.2. Tipos de cemento

De acuerdo a la norma NTE INEN 2380 el cemento hidráulico se clasifica en (INEN, 2011d):

- Tipo GU: Para construcción en general, no requiere propiedades especiales.
- Tipo HE: Alta resistencia inicial.
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación.

2.1.3. Composición química del cemento

El cemento resulta de la mezcla de caliza (CaCO_3) y arcillas, en variables proporciones, que posterior a fundirse y enfriarse da como resultado el Clinker.

El Clinker está compuesto por cuatro fases principales; silicato tricálcico (C_3S), β -silicato dicálcico ($\beta - \text{C}_2\text{S}$), aluminato tricálcico (C_3A) y solución sólida de ferrito (C_4AF) (Ochoa & Flores, 1994).

El silicato tricálcico es de gran importancia para conseguir resistencias elevadas, pero además necesita que el fraguado sea lento. Su mayor problema es que su comportamiento plástico es malo.

El β -silicato dicálcico al ser atacado lentamente por el agua tiene un fraguado lento, pero una vez que ha fraguado su resistencia es igual de elevada que en el silicato tricálcico.

El aluminato tricálcico al reaccionar rápidamente con el agua genera gran calor de fraguado, que se puede retardar al agregar yeso (CaSO_4). No tiene una resistencia elevada y además influye de forma desfavorable sobre el almacenaje del cemento.



La solución de ferrito de igual forma que el aluminato tricálcico, reacciona rápidamente con el agua, tiene una influencia favorable en la contracción, trabajabilidad y la estabilidad frente a los sulfatos.

Además, la cal libre (CaO), se encuentra en pequeñas cantidades en el Clinker del cemento.

Para la elaboración del cemento se pueden utilizar mezclas con diferentes proporciones de materias primas, pero de forma empírica. En la mayoría de los casos se utilizan silicatos, en donde se encuentran, (SiO_2), (Al_2O_3), (K_2O), como es el caso de las arcillas que dependiendo de la presencia de (Fe_2O_3), se define su color.

2.2. Áridos

Los áridos son aquellos elementos que ocupan alrededor del 75% del volumen total de la mezcla de hormigón, que se aglutinan con la pasta de cemento para formar una estructura resistente.

Si bien los áridos no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el agua y el cemento, al ocupar cerca del 75% del volumen total del hormigón, es de suma importancia que estos tengan propiedades idóneas, para obtener un producto con propiedades de resistencia y durabilidad de calidad.

Son materiales granulares que pueden ser de origen natural o artificial, además deben cumplir con requisitos para elaborar la mezcla de hormigón, los mismos que están fijados por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 872.

De acuerdo al tamaño de los áridos la Norma Técnica Ecuatoriana los clasifica en árido fino y en árido grueso.

Los áridos a ser utilizados para la elaboración de hormigón, al estar sujetos a humedecimiento, exposición prolongada a la humedad atmosférica o al contacto con terreno húmedo, no deben contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis del cemento, en una cantidad suficiente que cause expansión excesiva al hormigón. (INEN, 2011c)



2.2.1. Árido fino

Consiste de arena natural, arena elaborada o una mezcla de las dos. Árido que pasa libremente sin ser retenido en el tamiz No. 3/8 (9.5 mm) y que la mayor parte de partículas pasa el tamiz No. 4 (4.75 mm) y son retenidas en su mayoría en el tamiz No. 200 (75 μ m) o son las partículas que pasan el tamiz No. 4 y es retenido en el tamiz No. 200 (INEN, 2015).

El árido fino se gradúa de acuerdo a la NTE INEN 872. Debe estar libre de impurezas orgánicas perjudiciales, en caso de que al realizar el ensayo de impurezas produce un color más oscuro que el normalizado, entonces se debe rechazar.

2.2.2. Árido grueso

Consiste en grava, grava triturada, piedra triturada o una combinación de estos. El árido grueso es la porción de partículas retenidas sobre el tamiz No. 4 (4.75 mm), que cumple con los límites establecidos por la norma NTE INEN 872.

2.2.3. Humedad natural de los áridos

Cuantificar la cantidad de humedad total que existe en los áridos, es de suma importancia para realizar un buen diseño y posteriormente obtener una buena mezcla de hormigón. El método para determinar la humedad de los áridos se encuentra en la norma NTE INEN 862. El ensayo consiste en tomar una muestra normalizada del árido para luego secarla en el horno. El resultado se expresa como el porcentaje de la diferencia del agua evaporada respecto a la masa restante del árido seco.

2.2.4. Granulometría

Es una de las propiedades físicas más importantes de los áridos. Las gradaciones ideales permiten tener excelentes propiedades de trabajabilidad y resistencia a la mezcla de hormigón, en estado fresco y endurecido.

De acuerdo a la norma NTE INEN 696, se establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de los agregados fino y grueso.

Esta norma no establece el análisis granulométrico del material más fino que el tamiz No. 200. (INEN, 2011a)



2.2.5. Gravedad específica y absorción

Son parámetros indispensables para el diseño de las mezclas, porque permiten determinar el volumen que ocupa el conjunto. En las normas NTE INEN 856 y 857 se describen los procedimientos de los ensayos. Es un método utilizado para determinar la densidad de la porción sólida de las partículas de un árido y el volumen de poros cerrados, sin considerar el volumen de los vacíos cerrados entre las partículas del árido.

Además, la determinación del porcentaje de absorción que tiene un árido permite ajustar la cantidad de agua de mezclado en el diseño de la mezcla.

2.2.6. Masa unitaria (peso volumétrico)

Se diferencia de la densidad porque la unidad de volumen incluye el volumen de poros abiertos y cerrados de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas. Es de importancia para determinar el volumen del árido grueso, dentro del volumen unitario del hormigón (Crespo, 2018). El método utilizado para la determinación de este parámetro se encuentra en la norma NTE INEN 858.

2.3. Agua

El agua a ser empleada para los procesos de elaboración y tiempo de fraguado del hormigón debe cumplir ciertos criterios de calidad, ya que los químicos o impurezas que pueda tener afectaría a ciertas propiedades del hormigón como, el endurecimiento, la resistencia, causar manchas en la superficie del mismo luego de fraguar e inclusive dañar el acero de refuerzo causando corrosión. Por estas razones, se debe analizar la procedencia del agua de mezclado y procurar que cumpla con la norma NTE INEN 1108.

2.3.1. Agua de mezclado

Es el componente del hormigón que al entrar en contacto con el cemento brinda propiedades de fraguado y endurecimiento, con la finalidad de formar un sólido compacto con los agregados. Si la procedencia del agua de mezclado no cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 1108, la norma NTE INEN 1855 se impone condiciones que debe cumplir el agua para ser utilizada en la elaboración del hormigón.



Debe ser clara y de apariencia limpia, principalmente libre de cantidades perjudiciales de ácidos, aceites, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que podrían llegar a causar daño al hormigón o al acero de refuerzo, es por eso que el agua potable sería la adecuada para esta elaboración.

Son tres las funciones principales que cumple el agua de mezcla en el hormigón.

- 1) Permite la hidratación del cemento.
- 2) Proporciona las condiciones de manejabilidad de la mezcla para permitir la aplicación del hormigón en estado fresco.
- 3) Proveer a la estructura de vacíos necesarios en la pasta para que los productos de hidratación tengan el espacio suficiente para desarrollarse.

2.3.2. Agua de curado

El agua de curado, permite a la mezcla de hormigón durante el proceso de fraguado y el endurecimiento que no se deseeque y además permite la hidratación de la misma, con la finalidad de hidratar el cemento hidráulico, para conseguir el desarrollo de las propiedades de la mezcla.

Así como el agua utilizada para la mezcla del hormigón, el agua de curado debe cumplir con los mismos requisitos, es decir, ser clara y de apariencia limpia, libre de cualquier cantidad perjudicial de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan perjudicar las propiedades del hormigón y de su tiempo de fraguado.

2.4. Aditivos

El hormigón ha sido con el paso de los años uno de los beneficiados por el avance de la industria química, debido a la incorporación de materias plásticas al mismo. En la actualidad existen en el mercado un sin número de productos que permiten satisfacer las necesidades de los usuarios del hormigón.

Para formar una idea sobre la importancia de los aditivos en la técnica moderna de la construcción, se indica que por ejemplo en Alemania, más de un 60% de los hormigones se fabrican con adición de aditivos. En Estados Unidos el 80% de los hormigones son prefabricados, en donde en el 80% de los mismos se utilizan aditivos (Safranez, 1970).



Los aditivos permiten mejorar propiedades como la trabajabilidad y la resistencia, de aquellos hormigones que están bien diseñados y preparados, en caso de que su diseño no sea adecuado o su preparación sea deficiente, los aditivos no cumplirán el funcionamiento para el cual se incorporaron en la mezcla de hormigón.

2.4.1. Definición

Según la norma NTE INEN 1762, un aditivo es aquel “producto químico, que no sea cemento, árido o agua, utilizado como un ingrediente que se añade durante o antes de su mezclado para mejorar propiedades específicas del hormigón” (INEN, 2015).

2.4.2. Clasificación

- Por su naturaleza, los aditivos se clasifican en:

Aditivos minerales:

Aditivos Naturales

Cenizas volantes

Microsilice o sílica fume

Escoria de la producción de acero

Aditivos químicos

Plastificantes

Superplastificantes

Incorporadores de aire

Controladores de fraguado

- De acuerdo a la Norma Técnica Guatemalteca, esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C494-05, los aditivos se clasifican en:

Tipo A: Aditivos reductores de agua

Tipo B: Aditivos retardadores



Tipo C: Aditivos aceleradores

Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardadores

Tipo E: Aditivos reductores de agua y aceleradores

Tipo F: Aditivos reductores de agua de alto rango

Tipo G: Aditivos reductores de agua de alto rango y retardadores

Tipo S: Aditivos de desempeño específico

- De acuerdo al campo de acción, los aditivos se clasifican en:
 - a) Aditivos que modifican las características físicas y el contenido del aire
 - Fluidificantes o reductores de agua
 - Plastificantes o agentes de retención de agua
 - Agentes inclusores de aire
 - b) Aditivos que modifican el fraguado y el endurecimiento
 - Acelerantes
 - Retardadores
 - c) Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas y químicas
 - Anticongelantes
 - Hidrófugos de masa
 - d) Aditivos varios
 - Aditivos de cohesión
 - Agentes generadores de gases
 - Colorantes
 - Expansivos
 - Etc.

2.4.2.1. Reductores de agua o fluidificantes.

Permite reducir la relación agua/cemento, manteniendo la trabajabilidad del hormigón. Además, facilita la trabajabilidad de grandes masas de hormigón para ser colocado en obra, actuando por medio de procesos físico-químicos.



Son productos a base de jabones de resina, que permiten actuar en la pasta como un lubricante produciendo un efecto de cepillo en los granos. Al añadir un plastificante al agua de amasado, la parte activa del aditivo que está compuesta por hilos finos se concentran en toda la superficie de contacto. Un extremo del hilo repele el agua y sobresale de la misma, mientras que el otro extremo la absorbe y estando dentro del agua, la eleva hacia la superficie de los componentes de la mezcla, así es como aumenta la superficie humedecida y permite la disminución del agua necesaria para realizar la mezcla (Safranez, 1970). A este proceso se lo conoce como la disminución de la tensión superficial del agua, que al efectuarse libera energía.

A los hormigones les proporciona las siguientes características:

- Aumento de plasticidad en la mezcla.
- Reducción de la relación agua/cemento entre 5 a 15%
- Durante el transporte disminuyen la tendencia a segregación
- Mejor adherencia del hormigón a las armaduras
- Mejora la resistencia por la disminución de la relación agua/cemento
- Aumenta la durabilidad

Retrasan ligeramente el fraguado del hormigón en las dosis adecuadas, sin embargo, en dosis elevadas podría retrasar el tiempo de desencofrado causando un atraso para continuar con el resto de la obra.

Su utilización está inclinada hacia hormigones bombeados y premezclados, para estructuras densamente armadas, para hormigones vistos y para cualquier obra que necesite un hormigón de calidad. La dosificación de este aditivo viene sugerida por los fabricantes, para permitir obtener hormigones con fluidez inicial y buena resistencia final. (Rubio, 2007)

2.4.2.2. Plastificantes o agentes de retención de agua.

Aditivo que aumenta la consistencia de una mezcla y le hace más trabajable. La diferencia con los fluidificantes es que, estos trabajan mecánica y físicamente, permitiendo la retención de un porcentaje de agua.



2.4.2.3. Retardadores de fraguado.

Los plastificantes a más de permitir la reducción del agua de amasado, la dispersión y plastificación de la mezcla de hormigón, también aumentan el tiempo de fraguado, pero en algunos casos es necesario que este tiempo se aumente considerablemente y es ahí en donde actúan los aditivos retardadores, que también actúan como plastificantes, pero su principal función es retardar el tiempo de fraguado.

Los retardadores se añaden a la mezcla en cantidades muy pequeñas, por lo general entre el 0.2 al 0.6 % del peso del cemento y con esas dosificaciones brinda a la mezcla un aumento en el tiempo de trabajabilidad. Pero si por algún motivo la dosificación se aumenta, se produciría un efecto contrario, debido a que los retardadores al contener cloruro de calcio aumentaría el tiempo de fraguado en cantidades exageradas de dosificación.

Por lo general las resistencias de los hormigones pueden verse afectadas a edades tempranas, pero al retrasarse varias horas y hasta varios días la transformación del gel del cemento en capa cristalina, se facilita la reacción entre el cemento y el agua, efectuándose un fraguado completo, obteniéndose la mayor resistencia posible a edades de 28 o inclusive más días (Safranez, 1970).

Es recomendable tener en cuenta que como el retardante se añade al agua de amasado, también produce un efecto plastificante que permite además de retardar el tiempo de fraguado, la reducción de la relación agua/cemento.

2.4.3. Aplicaciones

Debido a la amplia gama de aditivos que existen en el mercado, su uso puede extenderse a todos los ámbitos de aplicación en hormigones prácticamente.

- Hormigones de alta resistencia.
- Hormigones autocompactantes.
- Hormigón visto.
- Prefabricados.
- Pilotes “in situ”
- Todos los hormigones que se requiera de alta calidad.

2.5. Propiedades del hormigón

A continuación, se describirá brevemente las propiedades del hormigón cuando éste se encuentra en estado fresco y en estado endurecido.

2.5.1. Estado fresco

La etapa del hormigón fresco empieza en el momento que el cemento hace contacto con el agua y conjuntamente con el resto de componentes del hormigón (áridos fino y grueso, aditivos), que al mezclarse forma una masa que posibilita su transporte, colocación y compactación.

La presencia de espacios vacíos en el hormigón endurecido, demuestra el mal manejo del hormigón en estado fresco, que a la larga presentará consecuencias en las zonas de fallas estructurales, disminuyendo notablemente la vida útil de la estructura.

2.5.1.1. Trabajabilidad.

Capacidad que tiene el hormigón fresco para deformarse sin producir la separación de los elementos que lo componen.

Antiguamente la trabajabilidad no era una propiedad que formaba parte de la calidad del hormigón, sino únicamente la resistencia, sin tener en cuenta las propiedades en su estado fresco. Sin embargo, en la actualidad la trabajabilidad es una propiedad que forma parte de la trilogía de la calidad del hormigón, representada en la figura 1 (Crespo, 2018).



Figura 1. Trilogía del hormigón, (Crespo, 2018).



Es común que la trabajabilidad se encuentre asociada con la humedad de la mezcla, es decir, una mezcla con alta humedad se diría que tiene alta trabajabilidad, caso contrario si la mezcla tiene baja humedad su trabajabilidad de igual forma sería baja.

No existe un método que hasta la fecha permita conocer directamente la trabajabilidad del hormigón, pero a lo largo de los años se han desarrollado métodos que han permitido determinarla de forma cuantitativa. Entre esos métodos uno de los más utilizados en la actualidad por su fácil aplicación, es el ensayo de asentamiento de cono de Abrams, desarrollado por el investigador norteamericano Duff Abrams en el siglo XX. (Crespo, 2018)

Este ensayo permite notar la consistencia de la mezcla por medio del conocido ensayo de asentamiento, cuya metodología está descrita en la norma NTE INEN 1578, basada en la norma ASTM C 143.

El ensayo se lo realiza como indica la norma, “Una muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de cono truncado y se compacta con una varilla”.(INEN, 2010g) Esta compactación se la realiza en tres capas de similar volumen. Luego se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Posterior se mide la distancia vertical entre el centro desplazado de la superficie superior del hormigón y la altura original que se puede obtener colocando cerca de la mezcla asentada el cono de Abrams de forma invertida y sobre él, se coloca la varilla de compactación. Así es como el valor obtenido se reporta como el asentamiento del hormigón.

Si al realizar el ensayo se corta el hormigón o se produce un desprendimiento, de debe eliminar el ensayo y realizarlo nuevamente.

Principales factores que afectan a la trabajabilidad:

- **Contenido de agua de mezclado**

Uno de los factores que influye mayormente en la trabajabilidad del hormigón en estado fresco es la cantidad de agua que se agregue a la mezcla. A pesar de las investigaciones realizadas hasta la actualidad, ninguna ha podido determinar una fórmula que permita conocer la cantidad adecuada de agua que se debe agregar a la mezcla para obtener una trabajabilidad deseada. Sin embargo, existen tablas que proporcionan información sobre la cantidad de agua que de acuerdo al tipo de árido se utilizan para realizar las primeras mezclas de prueba. Pero para obtener el contenido exacto de agua para un diseño de



hormigón determinado, se debe realizar un análisis de prueba y error hasta alcanzar el asentamiento requerido.

- **Fluidez de la pasta**

El agua de mezclado cumple dos funciones, una de ella es hidratar al cemento y la otra producir la pasta, la cual permite movilidad en estado plástico. La plasticidad de la mezcla depende de las proporciones de agua y cemento en la pasta y no solo del agua, y a su vez la pasta es la que influye notablemente en la trabajabilidad del hormigón.(Sánchez de Guzmán, 2002)

Como, por ejemplo, una pasta que contenga mucha agua y poco cemento, la cantidad excesiva de agua evaporable fluidifica la mezcla de tal forma que impide la segregación de los áridos. Por el contrario, si la pasta contiene mucho cemento y poca agua, será tan rígida que vuelve a la mezcla inmanejable al no poder lubricar a los áridos.

- **Contenido de aire**

Son dos las formas en las que el aire se presenta dentro de la mezcla de hormigón fresco; una de ellas es el “aire naturalmente atrapado”, el cual es eliminado cuando se compacta el hormigón al ser colocado en obra y la segunda es el aire incluido de manera intencional, el mismo que permite disminuir la relación agua/cemento, operación que se realiza por medio de aditivos “incluidores de aire”.

- **Gradación de los áridos**

Es ideal que los áridos contengan todos los tamaños de partículas, de tal forma que las partículas pequeñas ocupen el espacio que dejan las más grandes para disminuir la fricción en el interior de la mezcla de hormigón. Debe evitarse utilizar arenas muy finas o muy gruesas, las primeras porque necesitan mayor cantidad de agua de mezcla para conseguir una adecuada dosificación y las segundas debido a que se obtienen mezclas poco cohesivas y bastante ásperas.

- **Forma y textura de los áridos**

Desde el punto de vista de trabajabilidad, los áridos más adecuados, son aquellos que provienen de manera natural, ya que los obtenidos por proceso de trituración requieren mayor cantidad de arena, agua y cemento para obtener una trabajabilidad adecuada.



- **Relación pasta – áridos**

Para evitar que la mezcla sea granulosa y áspera, es de suma importancia que la relación pasta - áridos sea alta, de tal forma que permita a los áridos moverse libremente dentro de ella.

- **Relación arena – áridos**

Una mezcla que tenga bajo contenido de arena se vuelve difícil de manejar, trabajar y colocar, además con el principal inconveniente de que se produzca exudación y segregación por tener poca cohesión. Pero, por otro lado, cuando la cantidad de arena es excesiva, se presenta la necesidad de agregar agua, que de igual forma presenta una tendencia a la exudación y segregación.

Para áridos bien gradados, la experiencia ha demostrado que para mezclas normales el valor de relación arena – áridos puede ser de 0.38 (arenas finas) y 0.42 (arenas gruesas), mientras que para mezclas de consistencia húmeda (para bombeo) el valor de la relación puede estar entre 0.42 y 0.48. (Sánchez de Guzmán, 2002)

- **Aditivos**

Los aditivos permiten mejorar las condiciones de trabajo de una mezcla de hormigón en estado fresco, es por eso que los aditivos reductores de agua permiten aumentar la plasticidad de la mezcla, sin necesidad de variar el contenido de agua, manteniendo la relación agua-cemento.

2.5.1.2. Segregación.

La norma INEN NTE 1762 define a segregación como, “Separación no intencional de los constituyentes del hormigón o de las partículas de un agregado, que causa una falta de uniformidad en su distribución”. (INEN, 2015)

Entre algunas de las causas que producen segregación en la mezcla de hormigón están, la mala gradación de los áridos, el mal mezclado, transporte largo, colocación inadecuada de la mezcla y la sobrevibración. Generalmente la segregación se presenta de dos formas; la primera, en donde las partículas gruesas se separan por desplazamiento sobre la mezcla amontonada, esto ocurre en mezclas poco cohesivas o secas, y la segunda, es la



separación de pasta de la mezcla, esto ocurre en mezclas húmedas y con pasta muy diluida (Sánchez de Guzmán, 2002).

La probabilidad de segregación disminuye notablemente cuando se dan procedimientos adecuados de mezclado, transporte, colocación y consolidación del hormigón.

2.5.1.3. Exudación (sangrado).

Consisten en la aparición del agua de mezclado en la superficie del hormigón recién colocado en el proceso de fraguado.

La cantidad de agua de exudación y la velocidad en la que ésta llega a la superficie, tiene que ver con la evaporación, esto debido a que, si la velocidad de evaporación es menor que la velocidad de exudación, se forma en la superficie del hormigón recién colocado, una película de agua que aumenta la relación agua/cemento en la superficie. Pero si la velocidad de evaporación es mayor que la de exudación, entonces se pueden producir grietas de contracción plástica (Sánchez de Guzmán, 2002).

2.5.1.4. Temperatura.

Factor externo que afecta notablemente las propiedades del hormigón en estado fresco, principalmente la trabajabilidad y el contenido de aire. Las temperaturas elevadas provocan que el hormigón requiera mayor cantidad de agua de mezclado para obtener el asentamiento deseado sin la necesidad de colocar algún tipo de aditivo.

2.5.2. Estado endurecido

Una vez concluido el fraguado final de la mezcla de hormigón, se dice que éste se encuentra en estado endurecido. Las principales propiedades del hormigón en este estado son:

2.5.2.1. Densidad.

Se define como la relación entre la masa del hormigón y el volumen ocupado. Básicamente esta propiedad depende de los componentes del hormigón y de su proceso de compactación.

Un hormigón bien compactado tiene una densidad que oscila entre 2300 – 2500 kg/cm³.



2.5.2.2. Compacidad.

Es un valor que se encuentra relacionado directamente con la densidad, depende principalmente de la energía de compactación. Esta propiedad mejora la durabilidad de la estructura.

2.5.2.3. Resistencia.

La resistencia del hormigón está dada por las características físicas y químicas de sus componentes. Es una de las propiedades mecánicas más importantes del hormigón, el ensayo realizado para determinar la resistencia de especímenes cilíndricos de hormigón está descrita en la norma NTE INEN 2648.

El ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión a lo largo de la longitud del cilindro ensayado, hasta que ocurra la falla. Las probetas ensayadas están normalizadas de acuerdo a la norma NTE INEN 1576 y se ensayan en diferentes edades del hormigón, 7, 14 y 28 días (INEN, 2013b).

En hormigones normales la resistencia del hormigón está definida de acuerdo a la relación agua/cemento, para un conjunto de materiales y condiciones dadas. En general, la resistencia del hormigón dependerá del comportamiento de los áridos, de la pasta y de la zona de contacto entre los dos (Crespo, 2018).

Factores que afectan a la resistencia:

- **Contenido de cemento**

A medida que aumenta la cantidad de cemento en la mezcla de hormigón, entonces, aumenta la resistencia del mismo. Pero, si la relación agua/cemento es muy baja y la cantidad de cemento es excesiva, tiende a disminuir la resistencia del hormigón, este comportamiento puede ser debido al cambio de estado plástico a estado endurecido, al causar agrietamientos en la pasta producido por la obstrucción de los áridos y a su vez la disminución de adherencia entre la pasta y los áridos (Sánchez de Guzmán, 2002).

- **Relación agua/cemento y contenido de aire**

Con un adecuado grado de compactación, la relación agua/cemento es la más importante. Sin embargo, al existir una variedad amplia de áridos, es de gran importancia establecerla



relación entre la resistencia y la relación agua/cemento para un proyecto en específico. Además, si se agrega aire a la mezcla de hormigón, para mantener una misma resistencia se debería disminuir la relación agua/cemento, porque el aire dentro de la mezcla disminuye la resistencia del hormigón.

- **Características de los áridos**

Son tres las propiedades de los áridos, que influyen en la resistencia del hormigón. La primera es la granulometría, cuando un árido tiene una buena gradación permite al hormigón en estado fresco que se compacte de tal forma que queden la menor cantidad de espacios vacíos y en estado endurecido la máxima densidad y estas características influyen de buena manera en la obtención de una máxima resistencia. La segunda es la forma y la textura de los áridos, ya que aquellos áridos que tengan una superficie rugosa y una forma cúbica, permiten mejor adherencia con la pasta de cemento, aumentando la resistencia (Sánchez de Guzmán, 2002).

Y finalmente la tercera y la más importante, la resistencia y rigidez de las partículas del árido, porque áridos con baja resistencia se fracturarían mucho antes que la pasta de cemento y la falla no estaría dada por la mezcla de hormigón, sino por la falla del árido.

- **Tamaño máximo del árido grueso**

Hace años atrás se creía que mientras mayor era el tamaño máximo del árido, tenía un beneficio económico importante, dado que mientras menor era la superficie específica, entonces se utilizaba menos pasta de cemento y por ende menor cantidad de cemento. Sin embargo, en la actualidad y con las investigaciones realizadas para obtener hormigones de alta resistencia, se ha podido demostrar que mientras menor es el tamaño máximo del árido grueso, se consiguen mayores resistencias en los hormigones (Crespo, 2018).

- **Fraguado del hormigón**

La velocidad a la que endurece el hormigón, es otro de los factores que afecta a la resistencia del mismo. Es un valor arbitrario tomado durante el proceso de endurecimiento. El ensayo se lo realiza a partir de la norma ASTM C-403, método que consiste en medir la resistencia a la penetración que ofrece una muestra de hormigón que pasó el tamiz No.4 (mortero) colocada en un recipiente que tiene como dimensiones mínimas 15 cm de lateral y 15 cm de profundidad, muestra que se almacena a temperatura ambiente, para



posteriormente en intervalos regulares medir la resistencia a la penetración por agujas estándar (COGUANOR, 2013). Por medio de este método se obtienen los tiempos de fraguado inicial y final, al graficar la resistencia de penetración en función del tiempo transcurrido.

La temperatura, es la que afecta mayormente al tiempo de fraguado, definiendo si la adquisición de resistencia es más lenta o no, dependiendo si la mezcla adquiere o pierde calor de hidratación (Sánchez de Guzmán, 2002).

- **Edad del hormigón**

Por lo general, el hormigón empieza a adquirir resistencia a partir del fraguado final, la misma que aumenta conforme pasa el tiempo. Como la resistencia es variable con el tiempo, en las normas técnicas se ha establecido que la resistencia máxima de una mezcla de hormigón, se consigue a los 28 días a partir de su elaboración (Crespo, 2018).

- **Curado del hormigón**

Inmediatamente luego del fraguado inicial, el hormigón empieza a perder humedad en la superficie, acción que impediría la hidratación completa del cemento y por lo tanto la pérdida de resistencia final.

El curado es el proceso que permite hidratar el cemento, por medio de la saturación del hormigón, evitando la pérdida de humedad dentro de la mezcla. Es de suma importancia que esta saturación se realice antes de que el hormigón empiece a perder humedad, ya que en los primeros días es en donde se realizan las reacciones químicas relacionadas con la resistencia del hormigón, y es en donde se alcanza resistencias entre el 50 y 70% de la resistencia final (diseño) (Crespo, 2018).

- **Temperatura**

Es un factor externo que afecta a la resistencia del hormigón durante los procesos de fraguado y curado, ya que a elevadas temperaturas en el proceso de curado, acelera la resistencia temprana perjudicando la resistencia final del hormigón (Sánchez de Guzmán, 2002).



3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Antes de realizar los ensayos de los materiales utilizados para la elaboración de la mezcla de hormigón, es importante conocer sus propiedades para establecer la incidencia que estos representan en el mismo.

La mayoría de ensayos para caracterizar a los materiales se realizaron en el laboratorio de materiales y control de calidad de la planta Hormi Center, solo el ensayo de granulometría se realizó en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

3.1.1. *Cemento*

En el presente trabajo se utilizó el cemento Holcim Premium Tipo HE, fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380, que equivale a la Norma ASTM C 1157, norma que establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y su clasificación de acuerdo a sus propiedades físicas.

Este tipo de cemento se fabrica para obtener altas resistencias iniciales, producto compuesto de Clinker de cemento portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales. Además, es un cemento de desencofrado rápido y que produce altas resistencias tempranas, bastante parecidas a las del cemento portland tipo III (Holcim Ecuador S.A, 2015). El cemento Holcim tipo HE proporciona mezclas con resistencias altas en todas las edades.

Holcim Premium Tipo HE cuenta con el certificado de conformidad con el sello de calidad INEN, garantizando su excelencia. Además, cuenta con las certificaciones internacionales de calidad ISO 9001:2008, medio ambiente ISO 14001:2004 y seguridad y salud ocupacional OHSAS 18001:2007.

3.1.1.1. *Requisitos químicos*

La norma NTE INEN-2380 no especifica la composición química para el cemento, a pesar de eso, los constituyentes individuales para producirlo son analizados.



3.1.1.2. Requisitos físicos

Tabla 2. Requisitos físicos del cemento Holcim HE, (Holcim Ecuador S.A, 2015).

	NTE INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.04
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
no menos de, minutos	45	150
no más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %		3
Resistencia a la compresión, Mpa, mínimo		
1 día	12	14
3 días	24	25
7 días	-	32
28 días	-	40
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020	0.001

3.1.1.3. Almacenamiento

De acuerdo a la ficha técnica del cemento, se debe almacenar en ambientes ventilados, sin humedad y sin cambios bruscos de temperatura.

En el caso de cemento a granel se debe contar con silos de al menos 30 toneladas de capacidad.

3.1.2. Áridos

Los áridos grueso y fino utilizados en el presente trabajo, provienen de las minas VIPESA y El Piedrero respectivamente.

La planta de VIPESA produce el árido grueso triturado, mediante un proceso de trituración de dos etapas para la producción de diferentes lotes, para dar como resultados áridos de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ " de forma separada. El árido utilizado por la hormigonera comúnmente es el de $\frac{3}{4}$ " por ende es el utilizado para la realización del trabajo de titulación.

La calidad que presenten los áridos es de suma importancia, ya que para formar parte de la mezcla de hormigón deben ser partículas duras, resistentes, de textura y forma adecuada. Además, sin estar contaminados de limo, arcilla y otras materias orgánicas que resten calidad y resistencia al hormigón, es así que se debe cumplir lo establecido por la

norma NTE INEN 872 que fija los requisitos para los áridos que serán utilizados en la elaboración del hormigón.

Para obtener un producto final de calidad, el muestreo de los agregados es una operación fundamental. La norma NTE INEN 695 establece los procedimientos para obtener muestras de áridos finos y grueso para procesos de investigación o para procedimientos de control de calidad.

3.1.2.1. **Muestreo**

En la hormigonera se almacenan los áridos en pilas, en los stocks dentro de la planta. Para extraer una muestra de la pila de almacenamiento, se siguió las recomendaciones dadas en la norma NTE INEN 695, apéndice W, numeral 2.1, debido a que la empresa cuenta con una cargadora que permite mezclar el árido de forma mecánica. El numeral 2.1 establece lo siguiente, “En el muestro de material desde una pila es muy difícil asegurar muestras sin desviación, debido a la segregación que se produce frecuentemente cuando el material está en la pila, con las partículas más gruesas rodando hacia fuera de la base. Para árido grueso o mezcla de áridos grueso y fino, se debe hacer todos los esfuerzos necesarios para obtener los servicios de equipos mecánicos para preparar una pequeña pila de muestreo separada, compuesta por materiales extraídos desde distintos niveles y ubicaciones de la pila principal, luego se pueden combinar varias porciones para componer la muestra in situ. Si es necesario demostrar el grado de variabilidad existente dentro de la pila principal, se pueden extraer muestras separadas de diversas áreas de la pila.”(INEN, 2010d)

En la figura 2 se presenta la formación de una pila menor de material.



Figura 2. Formación de una pila menor de los áridos fino y grueso.

Para obtener la caracterización de los áridos, se realizó una reducción de las muestras obtenidas de la pila de almacenamiento para obtener muestras de ensayo, este proceso se realizó con las indicaciones dadas por la norma NTE INEN 2566, de tal forma que la cantidad de material sea suficiente y representativa del suministro total.

El procedimiento realizado es el descrito en el numeral 6.2.1.1 del método B de la norma (INEN, 2010e). La figura 3 muestra el cuarteo realizado a los áridos fino y grueso en el laboratorio de la empresa.



Figura 3. Proceso de cuarteo de los áridos fino y grueso.

3.1.2.2. *Humedad natural de los áridos*

La obtención de la humedad natural de los áridos, es un procedimiento que se realiza todos los días en laboratorio antes de realizar un diseño práctico de hormigón. El ensayo se realiza de acuerdo a lo establecido en la norma NTE INEN 862.

Consiste en tomar una muestra representativa del árido en estado natural, para posteriormente secar la muestra en un recipiente que se coloca ya sea en el horno, en una cocina o el microondas. Si la muestra se coloca en un horno normado, ésta se secará a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante (24 horas por lo general), posterior al secado, se pesa la muestra una vez que su temperatura sea manejable. De acuerdo al numeral 5.4.4 de la norma, dice que, “La muestra está completamente seca cuando un mayor tiempo de calor ocasiona, o puede ocasionar, una pérdida adicional de masa menor al 0.1%”(INEN, 2011b).

Se obtiene el porcentaje de humedad del árido, aplicando la ecuación 1 (INEN, 2011b).



$$P = \frac{100(W-D)}{D} \quad (1)$$

Donde:

P = contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje,

W = masa de la muestra original, g, y

D = masa de la muestra seca, g.

3.1.2.3. Granulometría

El análisis granulométrico distribuye la muestra en elementos del mismo tamaño de acuerdo a la abertura de los tamices. Además, es una de las propiedades más importantes de los áridos, ya que, de acuerdo a teorías de gradaciones ideales uno de sus objetivos principales, es brindar una mejor trabajabilidad en estado fresco y resistencia en estado endurecido a los hormigones.

En Ecuador, la norma NTE INEN 872 establece los requisitos granulométricos que deben cumplir los áridos que son utilizados para la elaboración del hormigón.

- **Análisis granulométrico del árido fino y módulo de finura**

Los límites granulométricos del árido fino, se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Límites granulométricos del árido fino, (INEN, 2011c).

Abertura del tamiz		Porcentaje que pasa	
No.	mm	Límite máximo	Límite mínimo
3/8"	9.5	100	100
No. 4	4.75	100	95
No. 8	2.36	100	80
No. 16	1.18	85	50
No. 30	600µm	60	25
No. 50	300µm	30	5
No. 50	150µm	10	0

Además, de acuerdo al numeral 5.1.2.2 de la norma, "El árido fino no debe tener más del 45% pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo de aquellos indicados en la tabla de los límites y su módulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1" (INEN, 2011c).

El ensayo se realizó bajo el procedimiento establecido en la norma NTE INEN 696. A continuación, en la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos del ensayo para el árido fino y en la figura 4 el cumplimiento de los límites granulométricos dados en la normativa.

Tabla 4. Análisis granulométrico del árido fino.

No. Tamiz	3"	1½"	¾"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200	Fondo	Total
Abertura (mm)	50.80	37.50	19.00	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.08	0.00	
P. Retenido (g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	63.0	124.7	109.1	99.7	55.9	13.4	0.3	466.2
P. Retenido corregido (g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	63.0	125.5	109.1	99.7	55.9	13.4	8.3	475.0
% Retenido	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	26.4	23.0	21.0	11.8	2.8	1.7	100.0
% Retenido acumulado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	39.7	62.7	83.7	95.4	98.3	100.0	
% Pasa acumulado	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	86.7	60.3	37.3	16.3	4.6	1.7	0.0	
Límites de gradación NTE INEN 872	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	85.0	60.0	30.0	10.0	0.0	0.0	
	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	80.0	50.0	25.0	5.0	0.0	0.0	0.0	

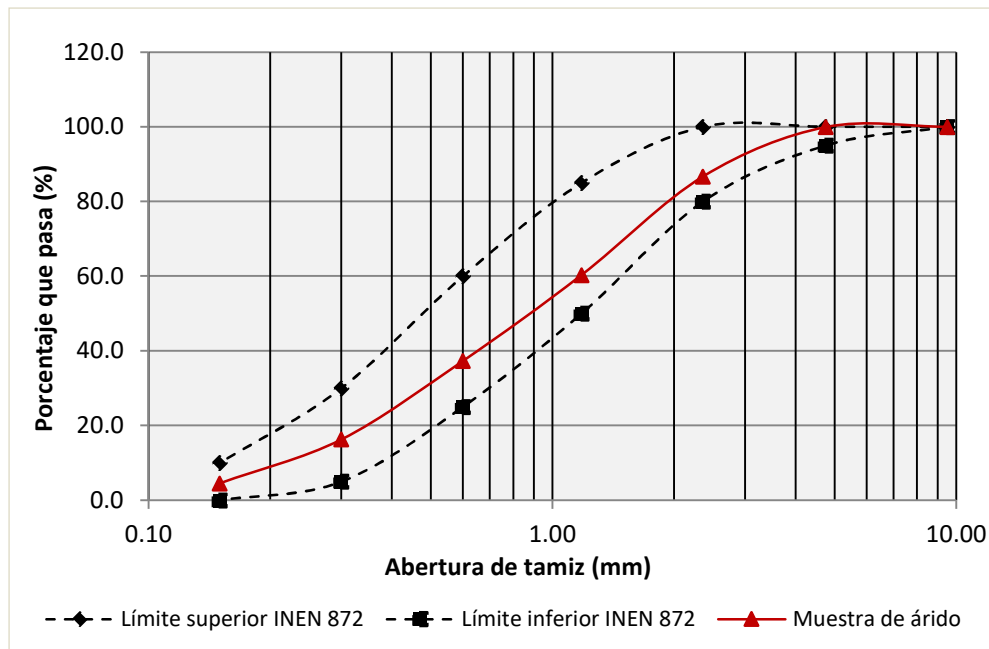


Figura 4. Curva granulométrica para el árido fino. Mina El Piedrero.

Como se puede ver en la figura 4, el árido fino empleado para el desarrollo del trabajo se encuentra dentro de los requerimientos granulométricos establecidos por la norma NTE INEN 872. Además, el módulo de finura tiene un valor de 2.95, que de acuerdo a los requerimientos de árido fino para la elaboración de hormigones, se encuentra entre 2.3 a 3.1.

- **Análisis granulométrico del árido grueso**

Los límites de gradación del árido grueso dependen del tamaño máximo nominal del árido (TMN). En la hormigonera se utiliza el árido de VIPESA que tiene un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ", es así que ese es el TMN utilizado para definir los límites de gradación de la tabla 5 de la norma NTE INEN 872, que se presenta a continuación.

Tabla 5. Límites granulométricos del árido grueso, (INEN, 2011c).

Abertura del tamiz		Porcentaje que pasa	
No.	mm	Límite máximo	Límite mínimo
1"	25.4	100	100
$\frac{3}{4}$ "	19	100	90
$\frac{1}{2}$ "	12.5		
$\frac{3}{8}$ "	9.5	55	20
No. 4	4.75	10	0
No. 8	2.36	5	0

Para el caso del árido grueso se presenta en la tabla 6 el resultado granulométrico, además se obtiene el módulo de finura, que según la norma NTE INEN 872 no existe un rango en los requerimientos para hormigones.

Tabla 6. Análisis granulométrico del árido grueso.

No. Tamiz	$\frac{1}{2}$ "	1"	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	N°4	N°8	Fondo	Total
Abertura (mm)	37.50	25.00	19.00	12.50	9.50	4.75	2.36	0.00	
Peso retenido (g)	0.0	0.0	8.0	3767.0	3691.0	2426.0	0.0	108.0	10000.0
Peso retenido corregido (g)	0.0	0.0	8.0	3767.0	3691.0	2426.0	0.0	108.0	10000.0
% Retenido	0.0	0.0	0.1	37.7	36.9	24.3	0.0	1.1	100.0
% Retenido acumulado	0.0	0.0	0.1	37.8	74.7	98.9	98.9	100.0	
% Pasa acumulado	100.0	100.0	99.9	62.3	25.3	1.1	1.1	0.0	
Límites de gradación	100.0	100.0	100.0	-	55.0	10.0	5.0	0.0	
NTE INEN 872 (TMN $\frac{3}{4}$)	100.0	100.0	90.0	-	20.0	0.0	0.0	0.0	

Como se puede ver en la figura 5, el árido grueso de VIPESA se encuentra dentro de los requerimientos granulométricos establecidos por la norma NTE INEN 872. Además, el módulo de finura tiene un valor de 6.74.

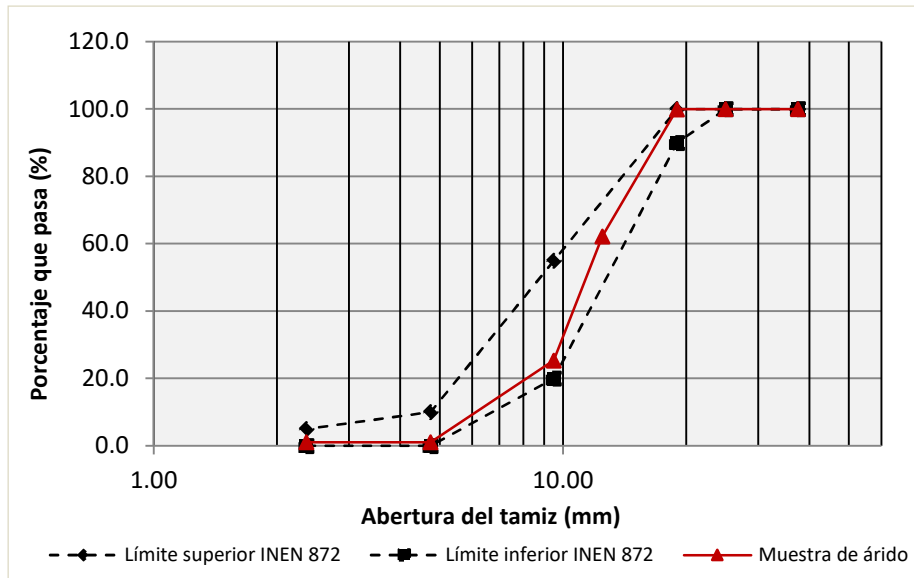


Figura 5. Curva granulométrica para el árido grueso. Mina VIPESA.

3.1.2.4. Absorción y gravedad específica

La absorción permite conocer la cantidad de agua neta que requiere la mezcla. Además, la gravedad específica es de especial importancia en los hormigones, pues permite determinar los volúmenes que ocupan en el conjunto.

- **Árido fino**

De acuerdo a la norma NTE INEN 856, se obtienen las propiedades de absorción y gravedad específica de los áridos finos. El procedimiento consiste en tomar una muestra de 1 kg obtenida a través del método indicado en la norma NTE INEN 2566, luego sumergirla en agua durante 24 horas aproximadamente, después de haberla secado hasta masa constante. Una vez saturada completamente la muestra por 24 horas, se procede a eliminar el exceso de agua evitando perder el material fino y se seca la muestra hasta que únicamente se haya eliminado el agua superficial de las partículas.

El ensayo para determinar la humedad superficial se describe en la norma NTE INEN 856. El método consiste en utilizar un molde metálico en forma de cono truncado y un compactador, para posteriormente colocar el árido parcialmente seco y con golpes a una elevación de 5 mm aproximadamente sobre la superficie del árido, acomodando el árido en cada golpe, hasta completar 25 golpes. Para posteriormente levantar el molde y determinar si la muestra está en condición superficialmente seca por medio de un análisis visual como se presenta en la figura 6, en donde si la muestra mantiene la forma del cono, quiere decir

que aún no está en esa condición, entonces se ensaya hasta que al levantar el molde el árido fino se desmorone ligeramente.(INEN, 2010a)



Figura 6. Árido fino en condición superficialmente seca.

Una vez que las partículas del árido fino se encuentran en un estado superficialmente seco, se realizan los ensayos para determinar la absorción y la gravedad específica del mismo.

El procedimiento empleado es el gravimétrico, como se describe en la norma NTE INEN 856, luego de llenar parcialmente al picnómetro con agua, se introduce $500 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ de árido fino saturado superficialmente seco, posteriormente se adiciona agua hasta que se ocupe el 90% de su capacidad. Finalmente, se agita de forma manual o mecánica y luego se llena con agua hasta la marca, eliminando las burbujas. Luego de pesar la muestra de agua con árido y el recipiente, se vacía todo el contenido para secarlo en el horno a una temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, para posteriormente determinar su masa (INEN, 2010a).

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para el árido fino.

Tabla 7. Densidades y absorción del árido fino.

Descripción	Valor
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	2.65
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	2.69
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	2.78
Densidad (SH), kg/m^3 =	2638.86
Densidad (SSS), kg/m^3 =	2687.23
Densidad aparente (SH), kg/m^3 =	2773.34
Absorción % =	1.80

- **Árido grueso**

Para obtener las propiedades de absorción y gravedad específica del árido grueso, se emplea la norma NTE INEN 857, norma en la que se describe el procedimiento del ensayo. Al igual que para el árido fino, se sumerge la muestra en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, luego se retira

la muestra del agua, se seca superficialmente y se determina su masa. Posteriormente por el método de desplazamiento de agua se determina el volumen de la muestra, para finalmente secar la muestra en el horno y determinar su masa (INEN, 2010b).

La norma establece que de acuerdo al tamaño máximo del árido grueso se toma la muestra mínima para realizar el ensayo, para el caso del árido ensayado, el TMN es de $\frac{3}{4}$ ", por lo tanto, se pesan 3 kg de muestra.

Como parte del ensayo, la muestra se seca superficialmente, colocando al árido extraído del agua sobre un paño absorbente para frotarlo hasta que sea eliminada toda la lámina visible de agua. En la figura 7 se observa el procedimiento de esta parte del ensayo.



Figura 7. Eliminación de la humedad superficial del árido grueso.

Una vez determinada la masa del árido saturado superficialmente seco, se realiza el ensayo de desplazamiento en agua a una temperatura de $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Se remueve todo el aire atrapado y se procede a determinar la masa mediante la agitación del recipiente a la vez que se sumerge.

En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos para el árido grueso.

Tabla 8. Densidades y absorción del árido grueso.

Descripción	Valor
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	2.53
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	2.57
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	2.63
Densidad (SH), kg/m^3 =	2528.31
Densidad (SSS), kg/m^3 =	2566.81
Densidad aparente (SH), kg/m^3 =	2629.71
Absorción % =	1.52



3.1.2.5. **Peso volumétrico**

La masa unitaria o peso volumétrico es “Masa de una unidad de volumen correspondiente al árido total, en el cual se incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas”(INEN, 2010h).

Propiedad importante dentro del diseño de la mezcla de hormigón. El procedimiento del ensayo está descrito en la norma NTE INEN 858. De acuerdo a esta norma, se coloca el árido en un recipiente cilíndrico de metal, se compacta y se calcula la masa unitaria del árido mediante la ecuación 2 (INEN, 2010c).

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad (2)$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

G = masa del árido más el molde, kg

T = masa del molde, kg

V = volumen del molde, m³

La compactación del árido dentro del molde cilíndrico se puede realizar por medio de tres procedimientos, de acuerdo a la norma NTE INEN 858:

- a) **Por varillado**, en tres capas aproximadamente iguales se realiza el proceso, llenando primero la tercera parte del molde y nivelando la superficie, se compacta la capa con 25 golpes bien distribuidos con la varilla de compactación y luego se repite el proceso en las dos capas faltantes.
- b) **Por sacudidas**, se coloca el molde sobre una base firme, llenar el molde en tres capas aproximadamente iguales, levantar los lados opuestos del molde alternativamente unos 50 mm y permitiendo que el molde caiga de tal manera que el golpe sea seco y fuerte. El procedimiento se lo realiza hasta que se completen 50 veces, dejando caer al molde 25 veces de cada lado.
- c) **Por paladas**, llenar el molde por medio de un cucharón o pala, descargar al árido desde una altura no mayor a 50 mm por encima de la parte superior del molde.

En la figura 8 se presenta el procedimiento utilizado para la compactación del árido para el trabajo de titulación.



Figura 8. Compactación del árido grueso por el método de varillado.

Los resultados se muestran en las tablas 9 y 10, que corresponden al árido fino de la mina El Piedrero y al árido grueso de la mina VIPESA respectivamente, cada ensayo se realizó tres veces para finalmente obtener un promedio en los resultados presentados.

Tabla 9. Masa unitaria suelta y compactada del árido fino.

Descripción	Valor
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m ³	1799.24
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m ³	1591.42

Tabla 10. Masa unitaria suelta y compactada del árido grueso.

Descripción	Valor
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m ³	1573.81
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m ³	1439.41

3.1.3. Aditivos

En el presente trabajo se hizo uso de aditivos de las casas: PROTEX, SIKA y BASF, de cada casa de aditivos se utilizó dos aditivos, un plastificante y un retardante. De la casa de aditivos PROTEX, se usó el plastificante MegaKrete R5 y el retardante ProKrete R. Así también, de la casa de aditivos SIKA, se hizo uso del plastificante Sika ViscoFlow-55 y del plastificante ligeramente retardador Plastiment TM-42, y además de la casa de aditivos BASF se usó el plastificante MasterGlenium 7954 y el retardante MasterPolyheed 939. Para conocer de forma más exacta a cada uno de los aditivos a continuación, serán descritos individualmente.



3.1.3.1. **MegaKrete R5**

Agente dispersante de mezclas con cemento, fabricado a base de resinas sintéticas, principalmente seleccionadas para producir un aditivo multifuncional para hormigón (Induprotex, 2020b). Al ser un agente reológico, permite que el hormigón sea trabajable por un tiempo igual o mayor a dos horas, dependiendo del diseño de la mezcla.

- **Características.**

- **Aspecto:** Líquido.
- **Color:** Café.
- **Presentación:** Tanque metálico de 209 litros ISO, Tanque de 1000 litros, Granel (Tanqueros de 2000, 4000, o 10000 litros).
- **Olor:** Característico de resinas sintéticas.
- **Punto de ebullición:** 100 °C
- **PH (1:10):** 7.0 – 9.0
- **Solubilidad en agua:** Miscible.
- **Almacenamiento:** En un recipiente limpio y libre de óxido o en su envase original bien cerrado puede almacenarse durante 24 meses. La recirculación de este producto durante 5 minutos cada 4 horas al día es recomendable pero estrictamente necesaria (Induprotex, 2020b, p. 5).
- **Densidad:** 1.20 kg/l

- **Beneficios.**

Según la ficha técnica del plastificante MegaKrete R5, a continuación, se presentan algunos de los beneficios que proporciona este aditivo a las mezclas de hormigón en estado fresco y endurecido.

- Permite obtener relaciones agua/cemento mínimas.
- Mejora la fluidez del hormigón/mortero, utilizando cantidades mínimas de agua en una mezcla determinada.
- Se reduce la cantidad de cemento sin afectar la resistencia del hormigón.
- Incrementa resistencias a todas las edades, principalmente a edades tempranas.
- Reduce la segregación y exudación de las mezclas, además mantiene trabajable a la mezcla por tiempos prolongados.



- También reduce la fisuración por contracción térmica y produce concretos menos permeables.
- Mejora la bombeabilidad de las mezclas y la sensibilidad al vibrado.

- **Dosificación.**

MegaKrete R5 se utiliza en dosis de 0.6% a 2.0% del peso de cemento, la dosis sugerida por la casa de aditivo es de 1% por peso de cemento, porcentaje que equivale a 12 centímetros cúbicos por cada kilo de cemento. Debe ser introducido dentro de la mezcla en combinación con el agua de amasado del agua de amasado.

Funciona como reductor de agua, permitiendo a una mezcla con 4 a 8 centímetros de asentamiento llevarlo a un rango de 16 a 20 centímetros, sin añadir agua. También permite al hormigón recuperar la fluidez sin añadir agua y sin alterar los tiempos de fraguado. Consecuentemente, permite reducir la cantidad de cemento, ya que al reducir la cantidad de agua la relación agua/cemento es mucho menor, obteniendo resistencias tempranas altas y con esto la reducción del cemento para una resistencia de diseño dada.

3.1.3.2. ProKrete R

Agente reductor de agua de rango medio con retardo, compuesto de sales lignosulfónicas purificadas en combinación de ácidos hidrocarboxílicos purificados. Una de sus principales características es retardar el tiempo normal del fraguado del hormigón en estado plástico, permitiendo un mayor tiempo de trabajabilidad o transportación. Sin embargo, exceder el uso de ProKrete R puede provocar que los tiempos de fraguado se vean excesivamente prolongados (Induprotex, 2020a).

- **Características.**

- **Aspecto:** Líquido.
- **Color:** Café.
- **Presentación:** Tanque metálico de 209 litros ISO, Tanque de 1000 litros, Granel (Tanqueros de 2000, 4000, o 10000 litros).
- **Olor:** Característico de resinas lignosulfónicas.
- **Punto de ebullición:** 100 °C
- **PH (1:10):** 7.0 – 9.0
- **Solubilidad en agua:** Miscible.



- **Almacenamiento:** En un recipiente limpio y libre de óxido o en su envase original bien cerrado puede almacenarse durante 24 meses. La recirculación de este producto durante 5 minutos cada 4 horas al día es recomendable pero estrictamente necesaria (Induprotex, 2020b, p. 5).
- **Densidad:** 1.25 kg/l
 - **Beneficios.**

Según la ficha técnica del retardante ProKrete R, a continuación, se presentan algunos de los beneficios que proporciona este aditivo a las mezclas de hormigón en estado fresco y endurecido.

- Aumento de la trabajabilidad, mejora la bombeabilidad de las mezclas y la sensibilidad al vibrado.
 - Reducción a la segregación y mejores acabados.
 - Provee de un control en el tiempo de fraguado.
 - Incremento de la impermeabilidad y de las resistencias del hormigón.
 - Reducción de la fisuración e incremento de la durabilidad.
 - Mejor apariencia final y homogeneidad en el color del hormigón.
- **Dosificación.**

ProKrete R se utiliza en dosis de 0.2% a 0.8% del peso de cemento, además es compatible con aditivos inclusores de aire o agentes inclusores de aire. Debe ser introducido en la mezcla de hormigón a través del agua de amasado.

3.1.3.3. Sika ViscoFlow – 55

Es un aditivo que permite mantener la manejabilidad del hormigón, diseñado para cumplir la norma ASTM C 494 tipo F. Su base química son los policarboxilatos (SIKA, 2016b).

Al no contener cloruros o cualquier otro ingrediente que promueva la corrosión del acero, es adecuado para uso en hormigón armado y estructuras de hormigón pretensado.

- **Características.**
 - **Aspecto:** Líquido.
 - **Color:** Café.
 - **Presentación:** Tambores de 200 kg, IBC 1000 litros, al granel bajo pedido.



- **Olor:** dulce
- **Punto de ebullición:** Sin datos disponibles.
- **PH:** 5.5
- **Solubilidad en agua:** Sin datos disponibles.
- **Almacenamiento:** Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.
- **Densidad:** 1.11 kg/l
- **Beneficios.**
 - Compatible con otros aditivos.
 - Mantiene la manejabilidad por un tiempo prolongado.
 - Mantiene el asentamiento sin retardos del fraguado con el rápido desarrollo de resistencias.
 - Asentamiento y plasticidad del hormigón constantes durante horas.
- **Dosificación.**

La dosis recomendada para el hormigón es de 0.6% a 1.6% en peso de cemento. Sika ViscoFlow – 55 se añade al agua de amasado o directamente a la mezcla de concreto. Para aprovechar la característica de mejorar la trabajabilidad no se debe mezclar un tiempo inferior a 60 segundos.

Para evitar el exceso de agua en el hormigón, la dosificación final debe comenzar sólo después de 2/3 del tiempo de mezclado.

3.1.3.4. Sika Plastiment TM 42

Plastificante ligeramente retardador de hormigones elaborados en climas fríos, base química de polímeros. Está diseñado para cumplir con la norma ASTM C 494 tipo D. Puede ser utilizado de tres formas, como plastificante, para incrementar el asentamiento de una mezcla normal de hormigón, sin adicionar más agua, como reductor de agua, permitiendo una reducción de hasta un 15% del agua de amasado y también como economizador de cemento, porque al incrementar las resistencias de una mezcla en el estado endurecido, se puede reducir la cantidad de cemento para una resistencia de diseño dada (SIKA, 2016a).

- **Características.**
 - **Aspecto:** Líquido.



- **Color:** Marrón.
- **Presentación:** Tambores de 230 kg, IBC 1000 Kg.
- **Olor:** inodoro.
- **Punto de ebullición:** Sin datos disponibles.
- **PH:** Sin datos disponibles.
- **Solubilidad en agua:** Sin datos disponibles.
- **Almacenamiento:** 24 meses en su envase original bien cerrado, en lugar fresco bajo techo.
- **Densidad:** 1.20 kg/l
- **Beneficios.**
 - Permite reducir el agua de la mezcla y produce retardo de fraguado.
 - Facilita el transporte y bombeo de la mezcla a medianas distancias.
 - Aumenta la manejabilidad e incrementa la resistencia a todas las edades.
 - Al no contener cloruros o cualquier otro ingrediente que promueva la corrosión del acero, es adecuado para uso en hormigón armado y estructuras de hormigón pretensado.
- **Dosificación.**

La dosificación varía entre 0.2% y 0.5% del peso del cemento, sin embargo, se pueden utilizar dosificaciones de hasta el 0.7%, para dosificaciones mayores es importante consultar al Departamento Técnico de Sika. Se agrega al agua de amasado o directamente a la mezcla.

3.1.3.5. MasterGlenium 7954

Es un aditivo reductor de agua de alto rango basado en Policarboxilatos. Permite producir mezclas de concreto con diferentes niveles de trabajabilidad y retención de asentamientos. Elaborado bajo los requisitos de la norma ASTM C 494 tipo A, reductores de agua y tipo F, aditivos reductores de agua de alto rango (BASF Ecuatoriana S.A, 2020).

- **Características.**
 - **Aspecto:** Líquido.
 - **Color:** Pardo.
 - **Presentación:** Tambores de 208 litros, IBC de 1000 litros y a granel.



- **Olor:** Característico.
- **Punto de ebullición:** No determinado.
- **PH:** 6.0
- **Solubilidad en agua:** Sin datos disponibles.
- **Almacenamiento:** Debe almacenarse a temperaturas por encima de 2 °C. Si se almacena a temperaturas por encima de 43 °C se puede requerir recirculación. La vida útil del aditivo es de 12 meses como mínimo, si se mantiene en su envase original cerrado y almacenado en un sitio fresco y seco.
- **Densidad:** 1.10 kg/l
- **Beneficios.**
 - Contenido de agua reducido para un nivel dado de trabajabilidad.
 - Reología controlada.
 - Reducción de agua de tipo lineal en todo el rango de dosificación.
 - Se obtiene concretos cohesivos y sin segregación.
- **Dosificación.**

La dosis recomendada es de 0.15% a 1.2% del peso de cemento, para la mayoría de mezclas de concreto. Se puede modificar las dosis recomendadas dependiendo de si existen variaciones en los materiales del hormigón, en esos casos se recomienda contactar al representante local de BASF.

Para mayor tiempo de trabajabilidad se recomienda añadir el aditivo al agua de mezcla inicial.

3.1.3.6. MasterPolyheed 939

Aditivo retardante plastificante de rango medio, cumple con los requisitos de la norma ASTM C 494 tipo D, que produce un concreto de alta calidad con aspecto uniforme, a la vez que retarda el fraguado para facilitar las operaciones de transporte, colocación y acabado (BASF-Master Builders Solutions Ecuador S.A, 2020).

- **Características.**
 - **Aspecto:** Líquido.
 - **Color:** Café oscuro.
 - **Presentación:** IBC de 1230 Kg.



- **Olor:** Característico.
- **Punto de ebullición:** No determinado.
- **PH:** 9.0
- **Solubilidad en agua:** Sin datos disponibles.
- **Almacenamiento:** Puede conservarse sin deterioro alguno, en su envase original, cerrado correctamente, en un lugar fresco hasta por 12 meses, a partir de la fecha de fabricación.
- **Densidad:** 1.23 kg/l
- **Beneficios.**
 - Mejora la trabajabilidad y la resistencia a la compresión.
 - Reduce la segregación.
 - Retardo medio a moderado de acuerdo a la dosificación usada.
 - Características de acabado superiores.
- **Dosificación.**

Se recomienda usar el aditivo en una dosificación entre el 0.2% hasta el 0.6% del peso de cemento para la mayoría de las mezclas de hormigón. Se puede modificar las dosis recomendadas dependiendo de si existen variaciones en los materiales del hormigón, en esos casos se recomienda contactar al representante local de BASF.

Se adiciona el producto al concreto con la última porción del agua de amasado.

3.2. METODOLOGÍA

El proceso para diseñar una mezcla de hormigón consiste en seleccionar los componentes a utilizarse y además sus respectivas cantidades, con el objetivo de que la mezcla sea lo más económica posible y que cuente con las proporciones adecuadas de cada componente para cumplir con propiedades como; trabajabilidad aceptable en estado fresco, resistencia, durabilidad y apariencia adecuada en estado endurecido.

3.2.1. Etapa 1: Determinación teórica de las proporciones de la mezcla de hormigón.

La elaboración de las mezclas de prueba se realizó por medio del método 211.1 del Instituto Americano del Concreto (ACI, s. f.), que a pesar de que existen diversos métodos de diseño en la actualidad, sigue siendo el más utilizado y de mayor difusión. Sin embargo, al ser un



método empírico en el que la granulometría de los áridos prácticamente no se considera para el diseño de las mezclas, y que además cuenta con la limitante de que los áridos deben estar gradados como se especifica en la norma ASTM C-33, la norma equivalente es la NTE INEN 872, se diseña conjuntamente con el método de Fuller, que permite “conformar una granulometría conjunta del material que se ajuste aproximadamente a una curva típica tomada como referencia y obtenida experimentalmente por medio de ensayos sobre trabajabilidad y peso unitario máximo del hormigón” (Giraldo Bolívar, 1987).

A pesar de que se utilizan sólo dos áridos (grava y arena) para la elaboración de la mezcla de hormigón, una de las ventajas del método de Fuller, es que permite combinar varios agregados para obtener de esta forma la granulometría más ajustada a la típica.

La estimación de las cantidades necesarias de cada uno de los componentes de la mezcla, se determinaron en una hoja de cálculo, elaborada por los autores, que parte de una resistencia requerida a la compresión, dependiendo del diseño requerido éstas pueden variar entre 210 kg/cm², 240 kg/cm² y 300 kg/cm².

3.2.1.1. Selección de asentamiento

El asentamiento al estar relacionado con la trabajabilidad, es una propiedad importante del hormigón en estado fresco, ya que permite transportar, colocar y dar el acabado necesario al hormigón. Es un parámetro que depende del tipo de elemento que se pretende construir, del sistema de colocación y de la forma de compactación; el asentamiento seleccionado es aquel con el que el hormigón cuenta antes de ser colocado en obra, pero cuando se trata de hormigones que van a ser transportados, la selección del asentamiento inicial depende del tiempo de transporte, ya que el hormigón durante su transporte va perdiendo trabajabilidad debido al endurecimiento y por ende disminuye su asentamiento.

El asentamiento sugerido para colocar en obra por medio de un sistema de bombeo de acuerdo al ACI 211.1 está entre 100 – 150 mm medido en cono de Abrams (Sánchez de Guzmán, 2002). Pero el asentamiento inicial escogido para el desarrollo del presente trabajo está entre 220 y 230 mm, para evitar una excesiva utilización de plastificante cuando se obtenga el diseño final de la mezcla y, además, porque de acuerdo a los diseños realizados anteriormente en la empresa, para mantener la trabajabilidad de la mezcla durante un periodo de dos horas, el asentamiento inicial para las proporciones de aditivos utilizados variaba entre 210 a 220 mm.



3.2.1.2. Selección del tamaño máximo del agregado

Debido a que los áridos utilizados por la empresa Hormi Center Cia cuentan con un tamaño máximo establecido, el tamaño máximo del árido se encuentra condicionado y ya descrito anteriormente, correspondiente a un árido de 3/4".

3.2.1.3. Estimación del contenido de aire

En el proceso de mezclado del hormigón, el aire queda atrapado naturalmente dentro de la mezcla. El comité 211.1 del ACI indica por medio de una tabla, las cantidades aproximadas de aire que se pueden esperar en un hormigón sin aire añadido, para el presente trabajo se estima aproximadamente un 2% de contenido de aire naturalmente atrapado, haciendo referencia a un tamaño máximo nominal del agregado de 3/4". Para un metro cúbico, en volumen equivale a 0.02 m³.

Para comprobar el porcentaje de aire, se obtendrá el valor en cada diseño final, es decir, en los nueve diseños, con los aditivos de las casas de BASF, SIKA y PROTEX, para cada resistencia de diseño de 210 kg/cm², 240 kg/cm² y 300 kg/cm² respectivamente, por medio del ensayo de contenido de aire del hormigón recién mezclado por el método de presión descrito en la norma NTG 41017 h7 equivalente a la norma ASTM C 231.

3.2.1.4. Estimación del contenido de agua de mezclado

Para obtener una determinada trabajabilidad en una mezcla de hormigón, la cantidad de agua necesaria depende de cada tipo de material, y por esta razón hasta la fecha no se ha desarrollado una fórmula que permita conocer de forma exacta la cantidad de agua que se debe colocar a una mezcla de hormigón, sin realizar diferentes pruebas para poder corregir la cantidad inicial calculada. Por tal motivo, el método más común para determinar el requerimiento de agua en un hormigón o mortero, es el procedimiento de prueba y error, que consiste en la preparación y evaluación de mezclas de prueba con los materiales que se van a utilizar en la construcción.

La primera mezcla de prueba se parte de tablas dadas por el ACI 211.1, que están en función del asentamiento y del tamaño máximo del árido, de ecuaciones empíricas o de ábacos. Para el presente trabajo, las cantidades de agua se calcularon por medio de la ecuación 3 utilizada para hormigón sin aire incluido, desarrollada por los investigadores Jerath y Kabbani, obtenidas a partir de la tabla que relaciona el asentamiento y el tamaño



máximo de árido con la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón del método ACI 211.1, en un artículo publicado por el Journal ACI entre los meses de julio y agosto en el año de 1983 (Giraldo Bolívar, 1987).

$$Agua (Kgf) = 218.80 \left(\frac{asentamiento (mm)^{0.1}}{tamaño\ máximo (mm)^{0.18}} \right) \quad (3)$$

Para un tamaño del árido de 19 mm y un asentamiento de 220 mm, la cantidad de agua necesaria para la mezcla inicial será de 221 kg por metro cúbico de hormigón aproximadamente. Valor que se ajusta de acuerdo a la humedad y absorción de los áridos utilizados. El agua utilizada para el presente trabajo se adquiere del río Deleg a la que la empresa ha realizado ensayos para determinar sus características para realizar los hormigones en la planta.

3.2.1.5. Determinación de la resistencia de diseño

La resistencia de diseño f'_{cr} , debe ser lo suficientemente alta para evitar que los resultados de pruebas de resistencia, den valores por debajo a los de la resistencia a la compresión especificada del hormigón f'_c (Sánchez de Guzmán, 2002). Esta resistencia se determina en base a un análisis estadístico de un conjunto de pruebas consecutivas, con la finalidad de cuantificar la variación de dispersión del conjunto de datos utilizados para el análisis (Crespo, 2018).

El código ACI 318-83, que es el utilizado para llevar el control de los datos, recomienda:

- La probabilidad de obtener resultados por debajo de $f'_c - 35 \text{ kg/cm}^2$ debe ser menor del 1%, (cuando el resultado de resistencia es el promedio obtenido al fallar dos probetas de hormigón).

$$f'_{cr} = f'_c - 35 + (2.33\sigma) \quad (4)$$

Donde:

f'_{cr} = resistencia crítica a la compresión

f'_c = resistencia a la compresión

σ = desviación estándar

- La probabilidad de tener resultados de resistencia por debajo de f'_c debe ser menor del 1% (cuando el resultado es el promedio de tres ensayos de cilindros).



$$f'_{cr} = f'_{c} + 1.34\sigma \quad (5)$$

De las ecuaciones 4 y 5 se recomienda escoger el valor mayor a partir de cada recomendación.

Para el desarrollo de este trabajo, ese incremento de resistencia se determina a través de la desviación estándar, obtenida por medio de los valores de resistencias de la producción que se obtuvo para una resistencia especificada durante el año 2020. En la tabla 11 se presenta la evaluación estadística de los datos de resistencia a compresión registrados en el año 2020 y el valor de la resistencia crítica para cada una de las resistencias de diseño especificadas.

Tabla 11. Evaluación estadística de las resistencias a la compresión registradas en el año 2020.
Fuente: Hormi Center Cia. Ltda.

Descripción	Valor		
Resistencia de diseño especificada f'_{c} (kg/cm ²)	210.0	240.0	300.0
Número de muestras	135.0	291.0	38.0
Valor promedio de resistencia(kg/cm ²)	230.5	271.6	341.2
Valor máximo de resistencia (kg/cm ²)	331.2	423.3	428.2
Valor mínimo de resistencia (kg/cm ²)	168.9	167.6	225.7
Desviación estándar (kg/cm ²)	29.8	40.3	46.8
Coefficiente de variación (%)	12.9	14.8	13.7
Resistencia crítica f'_{cr} (kg/cm²)	250.0	299.0	374.0

3.2.1.6. Selección de la relación agua-cemento

El método ACI utiliza una hipótesis de la regla de Abrams, que indica la dependencia de la resistencia de la mezcla de hormigón que con la relación agua/cemento (Giraldo Bolívar, 1987). Pero se han dado con el paso de los años variaciones a los valores dados por la ley de Abrams, es así que en la ciudad de Medellín se han publicado las siguientes fórmulas que, además, son las utilizadas para obtener la relación agua/cemento inicial en el caso de diseños de mezclas de hormigón sin aditivos.

$$f'_{cr} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{985}{14.3^{A/C}} \quad \text{Solingral} \quad (6)$$

$$f'_{cr} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{605}{9.5^{A/C}} \quad \text{U. Nal 1980} \quad (7)$$

$$f'_{cr} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{552.69}{4.86^{A/C}} \quad \text{U. Nal 1986} \quad (8)$$

Donde:



f'_{cr} = resistencia crítica a la compresión

A/C = relación agua/cemento

Con las ecuaciones 6, 7 y 8, se obtienen los valores de las relaciones agua cemento para cada una de las resistencias críticas obtenidas en el punto anterior, las mismas que se presentan en la tabla 12 de acuerdo a cada resistencia de diseño especificada en esta investigación. De la tabla presentada, la relación agua/cemento escogida para cada diseño, es la que representa la mayor relación de las tres fórmulas aplicadas, además, debe tomarse en cuenta que “en la práctica no es aconsejable bajar la relación por debajo de 0.40 ya que el cemento para su hidratación requiere como mínimo esta relación, pero tampoco se recomienda valores mayores a 0.60, por durabilidad.”(Giraldo Bolívar, 1987)

Tabla 12. Determinación de las relaciones agua/cemento para cada resistencia de diseño.

Descripción	Valores		
Resistencia especificada f'_{c} (kg/cm ²)	210.0	240.0	300.0
Resistencia crítica f'_{cr} (kg/cm ²)	250.0	299.0	374.0
Solingral (A/C)	0.52	0.45	0.36
U. Nal 1980 (A/C)	0.39	0.31	0.21
U. Nal 1986 (A/C)	0.50	0.39	0.25
Relación agua cemento escogida (A/C)	0.52	0.45	0.40

En esta investigación, no se utilizan las relaciones agua/cemento determinadas en la tabla 12, porque se toma como dato de inicio para el diseño, la cantidad de cemento que utiliza la empresa en diseños anteriores de hormigones, para cumplir con el objetivo: elaborar los diseños teóricos para cada resistencia comercial, partiendo de las dosificaciones proporcionadas por la empresa para el caso de diseños existentes y por medio del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 para los diseños nuevos.

3.2.1.7. Cálculo del contenido de cemento

Por medio de la relación agua/cemento se puede determinar la cantidad de cemento que se necesita por cada metro cúbico de volumen de hormigón. Con la ecuación 10 se obtiene dicha cantidad.

$$\left(\frac{A}{C}\right) = \frac{\text{Cantidad de agua (A),kg}}{\text{Cantidad de cemento (C),kg}} \quad (9)$$

$$\text{Cantidad de cemento (C), kg} = \frac{\text{Cantidad de agua (A),kg}}{(A/C)} \quad (10)$$

Sin embargo, como se mencionó en el punto anterior, la cantidad de cemento utilizada para realizar la prueba inicial de la mezcla de hormigón se obtiene a partir de la información proporcionada de los diseños anteriores de la empresa, cantidades que se presentan en la tabla 13 para cada una de las resistencias especificadas.

Tabla 13. Relaciones agua/cemento, para cada cantidad de cemento utilizada por la empresa.

Resistencia especificada $f'c$ (kg/cm²)	Cantidad de agua/m³ de hormigón, kg	Cantidad de cemento/m³ de hormigón, kg	Relación A/C
210	221	276	0.80
240	221	294	0.75
300	221	331	0.67

Aunque la recomendación de Giraldo Bolívar es que el rango de la relación agua/cemento esté entre 0.40 y 0.60, los valores de la relación A/C de la tabla 13 se obtienen únicamente para la prueba inicial de las mezclas de hormigón y poder realizar los ajustes de la cantidad de agua.

3.2.1.8. Porcentaje de aditivos

Las casas de aditivos BASF, SIKA y PROTEX, en cada una de sus fichas técnicas sugieren un rango de porcentajes en los que pueden ser utilizados sus aditivos, en la tabla 14 se presenta una recopilación del rango de porcentajes de uso de los aditivos plastificantes y retardantes utilizados en esta investigación.

Tabla 14. Porcentajes sugeridos de aditivos de acuerdo a las fichas técnicas.

Nombre del aditivo	Casa del aditivo	Descripción	Rango de porcentaje
MegaKrete R5	PROTEX	Plastificante	0.60% a 2.00%
ProKrete R	PROTEX	Retardante	0.20% a 0.80%
Sika ViscoFlow - 55	SIKA	Plastificante	0.60% a 1.60%
Plastiment TM 42	SIKA	Retardante	0.20% a 0.70%
MasterGlenium 7954	BASF	Plastificante	0.15% a 1.20%
MasterPolyheed 939	BASF	Retardante	0.20% a 0.60%

3.2.1.9. Estimación de las proporciones de los agregados

A pesar de que los agregados cumplen con los límites granulométricos dados en la norma NTE INEN 872, para determinar las proporciones de los áridos grueso y fino, se utiliza el procedimiento dado por Fuller y Thompson en el año de 1907, que “consiste en combinar los áridos de tal forma, que la granulometría del conjunto se adapte lo más cercanamente



posible a la “curva ideal” definida por la ecuación 11 (Sánchez de Guzmán, 2002). El método de Fuller y Thompson permite encontrar la proporción más favorable entre los áridos disponibles (grueso y fino) para realizar el diseño de la mezcla de hormigón.

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (11)$$

Donde:

P= porcentaje de material que pasa por el tamiz de abertura d.

D= tamaño máximo del árido

Variando el tamaño máximo del árido (D) y la abertura del tamiz (d), se pueden obtener las curvas de Fuller para diferentes áridos, en la tabla 15 se presentan los valores correspondientes a las curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos (D).

Tabla 15. Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos.

Tamiz		Tamaño máximo mm (pulg)						
mm	pulg	76.1 (3")	50.8 (2")	38.1 (1 ½")	25.4 (1")	19 (¾")	12.7 (½")	9.51 (⅜")
76.1	3"	100						
50.8	2"	81.6	100					
38.1	1 ½"	70.7	86.6	100				
25.4	1"	57.8	70.7	81.6	100			
19	¾"	50.0	61.2	70.7	86.6	100		
12.7	½"	40.9	50.0	57.8	70.7	81.6	100	
9.51	⅜"	35.4	43.3	50.0	61.2	70.7	87.2	100
4.76	No. 4	25.0	30.6	35.0	43.3	50.0	61.2	70.8
2.38	No. 8	17.7	21.6	25.4	30.6	35.4	43.3	50.0
1.19	No. 16	12.5	15.3	17.7	21.6	25.0	30.6	35.4
0.595	No. 30	8.8	10.8	12.5	15.3	17.7	21.6	25.0
0.297	No. 50	6.2	7.7	8.8	10.8	12.5	15.3	17.8
0.149	No.100	4.4	5.4	6.2	7.7	8.8	10.8	12.6

Fuller y Thompson, cumplían su análisis de “granulometría ideal” cuando esta permitía obtener la máxima densidad y por ende la mayor resistencia (Sánchez de Guzmán, 2002). Sin embargo, la ecuación 11 da como resultado mezclas con poca cantidad de material fino, material necesario para brindar buena trabajabilidad a la mezcla de hormigón.

Aunque las “curvas ideales” son imposibles de reproducir en la práctica y además teniendo presente que un hormigón de excelente calidad puede necesitar varias gradaciones de áridos que afectarían a la economía del mismo, es importante que con los materiales que se disponen para la elaboración del hormigón, se procure asemejar la combinación de las gradaciones a uno de los diferentes tipos de “curvas ideales”, o que los áridos combinados

se ajusten a los límites de granulometría que se presentan en la tabla 16 (Sánchez de Guzmán, 2002).

Tabla 16. Límites de gradación recomendados para granulometrías continuas en porcentaje que pasa para distintos tamaños máximos. Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2002)

Tamiz		Tamaño máximo															
Pulg	mm.	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
		76.1 mm	64.9 mm	50.8 mm	38.1 mm	25.4 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm								
3"	76.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2 ½"	64	94	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2"	50.8	87	80	92	88	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1 ½"	38.1	78	68	83	75	90	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1"	25.4	68	55	72	60	78	68	87	80	100	100	100	100	100	100	100	100
¾"	19	62	47	65	51	71	58	78	68	90	85	100	100	100	100	100	100
½"	12.7	53	37	57	41	62	47	68	55	78	68	90	85	100	100	100	100
3/8"	9.5	48	32	51	35	56	40	62	47	71	58	78	68	90	85	100	100
No. 4	4.76	38	22	40	24	44	27	48	32	56	40	71	58	71	58	78	68
No. 8	2.36	30	15	32	16	34	18	38	22	44	27	56	40	55	40	61	45
No. 16	1.18	23	10	25	11	27	13	30	15	34	18	44	27	44	27	48	32
No. 30	600μ	18	7	20	8	21	9	23	10	27	13	34	18	34	19	38	22
No. 50	300μ	14	4	15	5	17	8	18	7	21	9	27	13	27	13	30	15
No. 100	150μ	11	3	12	4	13	4	14	6	17	6	21	9	21	9	23	10

Son dos los métodos utilizados para determinar las proporciones de los áridos por el método de Fuller y Thompson, el primero es el método por módulos de finura y el segundo es el método gráfico.

- **Método por los módulos de finura**

Es un procedimiento matemático, que se basa en obtener los módulos de finura de los áridos, para el caso de estudio son dos los áridos disponibles (árido fino y árido grueso) y con las ecuaciones 12 y 13, se determina la combinación de los áridos a utilizar (Giraldo Bolívar, 1987).

$$t_1 + t_2 = 100 \quad (12)$$

$$MFF_2 = \frac{MF_1 \times t_1 + MF_2 \times t_2}{t_1 + t_2} \quad (13)$$

Donde:

t_1 = porcentaje de árido fino.



t_2 = porcentaje de árido grueso.

MF_1 = módulo de finura del árido fino.

MF_2 = módulo de finura del árido grueso.

MF_2 = módulo de finura de la curva de Fuller para un tamaño máximo establecido.

Anteriormente se obtuvieron los módulos de finura de los áridos disponibles, además de la tabla 15 se obtiene los valores de la curva de Fuller para el árido de VIPESA que tiene un tamaño máximo nominal de 3/4", por medio de la cual se obtiene el módulo de finura de la curva de Fuller. En la tabla 17 se presenta los valores de las curvas que se utilizaron para determinar los módulos de finura para determinar el porcentaje de áridos a utilizar en la mezcla de hormigón.

Tabla 17. Módulos de finura de los áridos fino, grueso y curva de Fuller.

Abertura tamiz	% Pasa		Curva de Fuller
	Arena	Grava	
3"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00
3/4"	100.00	99.92	100.00
3/8"	100.00	25.34	70.65
No. 4	99.96	1.10	49.93
No. 8	86.70	0.00	35.35
No. 16	60.29	0.00	24.99
No. 30	37.32	0.00	17.60
No. 50	16.33	0.00	12.49
No. 100	4.56	0.00	8.84
M. finura	2.95	6.74	4.80

Aplicando las ecuaciones 14 y 15, se obtienen las proporciones de los áridos grueso y fino para realizar la mezcla de hormigón.

$$t_1 = 100 \frac{(MF_2 - MF_2)}{MF_2 - MF_1} \quad (14)$$

$$t_2 = 100 - t_1 \quad (15)$$

En la tabla 18 se presentan los porcentajes obtenidos por medio del método de módulos de finura.

Tabla 18. Proporcionamiento de los áridos, método módulos de finura.

Descripción	Valor
Módulo de finura del árido fino (MF1) =	2.95
Módulo de finura del árido grueso (MF2) =	6.74
Módulo de finura de la curva de Fuller para el tamaño máximo de 3/4" (MFF2) =	4.80
Porcentaje de árido fino (t1) =	51%
Porcentaje de árido grueso (t2) =	49%

- **Método gráfico**

Se basa en ajustar lo más posible la curva granulométrica combinada a la curva de referencia. "Se dibuja la granulometría de los agregados a mezclar en una misma hoja de papel semilogarítmico en donde en el eje de las abscisas se coloca el tamaño de la abertura del tamiz y en el eje de las ordenadas los porcentajes que pasan acumulados. Luego con rectas se unen los tamaños máximos y mínimos de los agregados consecutivos. El punto donde estas rectas interceptan la curva de Fuller representa en el eje de las abscisas el porcentaje en volumen del agregado a combinar."(Giraldo Bolívar, 1987)

El método descrito anteriormente se realiza de forma manual, pero la estimación de las proporciones de los áridos para encontrar la curva granulométrica combinada hasta que se ajuste a los límites del tamaño máximo del árido grueso de 3/4", se realizó en una hoja de cálculo, elaborada por los autores, el método utilizado consiste en graficar los límites granulométricos para el tamaño máximo nominal de 3/4", obtenidos de la tabla 17, luego iterando los porcentajes de los áridos fino y grueso mientras la suma de los porcentajes sea igual al 100%, se obtiene la curva granulométrica combinada que calce dentro de los límites escogidos y esos serán las proporciones utilizadas para el diseño de la mezcla de hormigón.

Las proporciones obtenidas se presentan en la tabla 19 y se grafican en la figura 9 para ilustrar la curva granulométrica dentro de los límites máximos y mínimos.

Tabla 19. Proporcionamiento de los áridos, método gráfico.

Abertura tamiz		% Pasa		Curva combinada	Especificación	
pulg	mm	Arena 55%	Grava 45%		Límite superior	Límite inferior
3"	76.10	100.00	100.00	100.00	100	100
2 ½"	64.00	100.00	100.00	100.00	100	100
2"	50.80	100.00	100.00	100.00	100	100
1 ½"	38.10	100.00	100.00	100.00	100	100

1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100
¾"	19.10	100.00	99.92	99.96	100	100
½"	12.70	100.00	62.25	83.01	90	85
3/8"	9.50	100.00	25.34	66.40	78	68
No. 4	4.76	99.96	1.10	55.47	71	58
No. 8	2.36	86.70	0.00	47.69	56	40
No. 16	1.18	60.29	0.00	33.16	44	27
No. 30	0.60	37.32	0.00	20.53	34	18
No. 50	0.30	16.33	0.00	8.98	27	13
No. 100	0.15	4.56	0.00	2.51	21	9

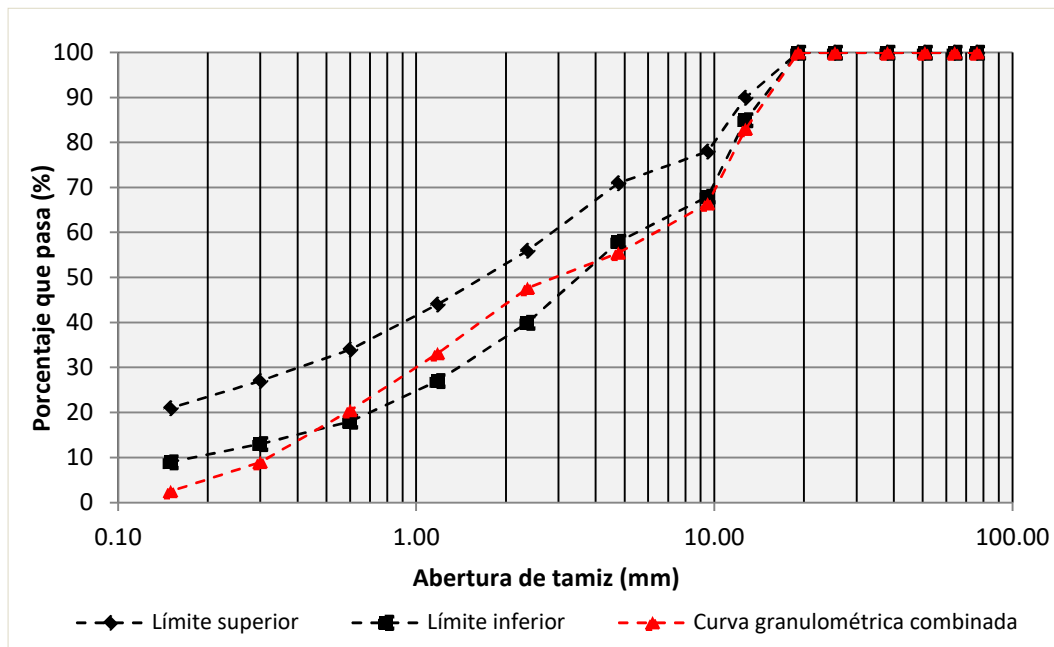


Figura 9. Curva granulométrica combinada ajustada.

La curva granulométrica combinada se aproxima al límite inferior para evitar el exceso de árido fino, ya que, al ajustar la curva a un punto medio entre los dos límites, el porcentaje de árido fino aumenta significativamente.

Una vez determinadas las proporciones de los áridos fino y grueso, se obtiene el volumen absoluto y el peso seco de los áridos, por metro cúbico de hormigón, volumen que se determina con la ecuación 16.

$$V_r = 1.0 - (V_c + V_a + V_{ar} + V_{ad}) \quad (16)$$

Donde:



V_r = Volumen absoluto de los áridos, en m^3/m^3

V_c = Volumen absoluto del cemento, en m^3/m^3

V_a = Volumen absoluto del agua, en m^3/m^3

V_{ar} = Volumen absoluto del contenido de aire, en m^3/m^3

V_{ad} = Volumen absoluto de los aditivos, en m^3/m^3

Luego de obtener el volumen absoluto de los áridos se obtiene el peso seco, con la ecuación 17.

$$P_s = V_r G_a \quad (17)$$

Donde:

P_s = Peso seco de los agregados, en kg/m^3

V_r = Volumen absoluto de los áridos, en m^3/m^3

G_a = Peso específico aparente de la mezcla de los dos áridos, calculado de acuerdo a la ecuación 18.

$$G_a = \frac{(G_{ag}G_{al})}{G_{ag}n + G_{al}m} \quad (18)$$

Donde:

G_{ag}, G_{al} = Peso específico aparente de los áridos grueso y fino respectivamente, en kg/m^3

n = Proporción de árido fino en la mezcla de áridos expresada en tanto por uno.

m = Proporción de árido grueso en la mezcla de áridos expresada en tanto por uno.

Para determinar los pesos secos de los áridos se emplea las ecuaciones 19 y 20.

$$P_{sg} = P_r m \quad (19)$$

$$P_{sf} = P_r n \quad (20)$$

Donde:

P_{sg}, P_{sf} = Peso seco de los áridos grueso y fino respectivamente, en kg/m^3



Finalmente, el volumen de cada árido en la mezcla de hormigón se determina con las ecuaciones 21 y 22.

$$V_{ag} = \frac{P_{ag}}{G_{ag}} \quad (21)$$

$$V_{af} = \frac{P_{af}}{G_{af}} \quad (22)$$

Donde:

V_{ag}, V_{af} = Volumen absoluto de los áridos grueso y fino respectivamente, en m^3/m^3

La hoja de cálculo elaborada por los autores, primero estima las cantidades para un volumen unitario, para el caso de análisis 1 m^3 , luego para ensayar en el laboratorio proporciona las cantidades que se van a utilizar en cada lote de hormigón (batch). El laboratorio de la empresa Hormi Center, cuenta con una concretera CENTURY que tiene una capacidad de 120 litros, sin embargo, la cantidad de hormigón que se prepara es 0.02 m^3 en cada prueba, considerando que se realizarán ensayos de asentamiento en el cono de Abrams al finalizar el tiempo de mezclado y a partir de ahí cada 30 minutos durante un periodo de dos horas, además, se elaborarán cuatro cilindros de 10 x 15 cm a partir de esa cantidad de hormigón y también se consideran las pérdidas de material al realizar los ensayos y la cantidad que se queda dentro de la concretera al vaciar la misma en las bandejas.

3.2.1.10. Ajuste por humedad de los agregados

De acuerdo a las condiciones de humedad y absorción de los áridos puede suceder dos condiciones: que los áridos contengan una fina película de agua en la superficie que aumenta el contenido de agua de mezclado, incrementando la relación agua/cemento y una trabajabilidad superior a la esperada en el diseño, o, que los áridos absorban el agua de mezclado disminuyendo la relación agua/cemento, incrementando la resistencia del hormigón, pero afectando notablemente a la manejabilidad de la mezcla. Por estas razones, se determinan los porcentajes de absorción y de humedad de los áridos fino y grueso, con la finalidad de realizar el ajuste del agua de mezclado y que no afecte la relación agua/cemento de la mezcla diseñada.



Es así que para determinar la cantidad faltante o sobrante de agua de mezclado “respecto de la condición de saturado superficialmente seco”(Sánchez de Guzmán, 2002), se utiliza la ecuación 23.

$$A_c = A - P_{sf} \times \left(\frac{H_{nf}}{100} - \frac{CA_f}{100} \right) - P_{sg} \times \left(\frac{H_{ng}}{100} - \frac{CA_g}{100} \right) \quad (23)$$

Donde:

A_c = Cantidad de agua corregida respecto a la condición SSS.

A = Cantidad de agua sin corregir.

P_{sf} = Peso seco del árido fino.

H_{nf} = Humedad natural del árido fino, expresada en porcentaje.

CA_f = Capacidad de absorción del árido fino, expresado en porcentaje.

P_{sg} = Peso seco del árido grueso.

H_{ng} = Humedad natural del árido grueso, expresada en porcentaje.

CA_g = Capacidad de absorción del árido grueso, expresado en porcentaje.

Si el porcentaje de humedad es igual al porcentaje de capacidad de absorción en un árido, el agua de mezcla calculada no necesita ningún ajuste, pero en caso de que el porcentaje de humedad sea mayor al porcentaje de capacidad de absorción, significa que el árido tiene humedad libre que se aportaría a la mezcla, por lo tanto, se debe restar del agua de mezclado, finalmente si el porcentaje de humedad es menor al porcentaje de capacidad de absorción, el árido necesita agua adicional para saturarse y por ende absorbe el agua de mezclado, entonces debe aumentarse ésta cantidad al agua de mezcla.

El peso de los áridos en la hoja de cálculo realizada por los autores, está calculado en estado seco, pero al encontrarse estos naturalmente en estado húmedo, se determina la humedad natural de los áridos, para proceder a la corrección del peso de estado seco a estado húmedo. El peso húmedo de los áridos se determina con la ecuación 24.

$$P_h = P_s \times \left(1 + \frac{H}{100} \right) \quad (24)$$

Donde:



P_h = Peso húmedo del árido.

P_s = Peso seco del árido.

H = Porcentaje de humedad del árido.

En la tabla 21 se muestra un ejemplo de corrección por humedad de una parte del cálculo realizado para determinar la cantidad de agua corregida por humedad y además los pesos de los áridos en estado húmedo, utilizando los valores de humedad correspondientes a un momento específico de los áridos, justo antes de realizar los ensayos, y absorción de la tabla 20.

Tabla 20. Humedad y absorción de los áridos, ejemplo.

Árido	Humedad (%)	Absorción (%)
Fino	6.38%	1.80%
Grueso	1.83%	1.52%

Tabla 21. Ejemplo de corrección por humedad.

A/C =		0.80		BATCH (m ³) =		0.02	
Material	Porcentaje (%)	Cantidad (kg)	Volumen (m ³)	Corrección humedad (kg)	Peso/m ³ de hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (kg)	
Cemento		276.00	0.09		276.00	5.52	
Agua		221.00	0.22	174.64	174.64	3.49	
Arena		959.04	0.36	1020.23	1020.23	20.40	
Grava		784.67	0.31	799.03	799.03	15.98	
MegaKrete R5	0.40%	1.10	0.0009		1.10	22.08	
ProKrete R	0.30%	0.83	0.0006		0.83	16.56	
Aire	2.00%		0.02				
Volumen de áridos (m³) =			0.67	Peso unitario=	2271.84	kg/m³	

3.2.2. Etapa 2: Ensayos en el hormigón

3.2.2.1. Elaboración de las mezclas

Al concluir con el proceso de diseño teórico, se realizan los ensayos de las mezclas para determinar las propiedades físico-mecánicas de asentamiento y resistencia. Antes de elaborar las mezclas de hormigón, se deben realizar los siguientes pasos que se describen a continuación:

- I. Disponer y alistar todas las herramientas, equipos y moldes a ser utilizados en la elaboración de las mezclas de hormigón, los mismos que deberán encontrarse en buen estado.
- II. Almacenar el cemento en un lugar libre de humedad y seco, con la finalidad de evitar endurecimiento en el mismo. De preferencia extraer el cemento del silo minutos antes de empezar con los ensayos.
- III. Presidir de un lugar que permita almacenar a los áridos, sin generar cambio en sus características originales antes de realizar la mezcla.
- IV. Contar con la cantidad suficiente de agua para la elaboración de las mezclas y para asear las herramientas, equipos, moldes, etc.
- V. Presidir de un lugar adecuado para elaborar y almacenar las muestras, sin exponerlas a condiciones extremas que pueden alterar sus propiedades.

Se debe disponer como mínimo con las siguientes herramientas y equipos para empezar con los ensayos de mezclas de hormigón:

- Mezcladora de hormigón motorizada de tambor giratorio, una mezcladora inclinable o una batea giratoria.



Figura 10. Mezcladora de hormigón, marca CENTURY.

- Báscula con exactitud dentro del 0.3% de la carga de cada ensayo.



Figura 11. Básculas.

- Equipo para medir asentamiento.



Figura 12. Equipo para toma de asentamiento.

- Bandejas para toma y mezclas de prueba.
- Equipo para medir el contenido de aire.



Figura 13. Equipo para contenido de aire a presión.

- Medidor de temperatura.



Figura 14. Termómetro de hormigón.

- Baldes industriales para pesaje de los materiales.
- Moldes cilíndricos de 10 x 20 cm.
- Cuchareta, bailejo, llana metálica, combo de goma y varilla.

Para los ensayos de tiempo de fraguado, además de necesitar las herramientas y equipos enlistados anteriormente, se utilizarán los siguientes equipos y herramientas:

- Equipo para determinar tiempos de fraguado.



Figura 15. Equipo para tiempos de fraguado.

- Tamiz No. 4.
- Moldes cúbicos de 15 x 15 x 15 cm.
- Pipeta, termómetro, varilla y combo de goma.

Se tomó como guía al proceso descrito en la norma NTE INEN 3124 para realizar el proceso de mezclado, respetando los tiempos de mezclado y reposo de la mezcla de hormigón (INEN, 2017). El proceso de mezclado se realizó de acuerdo a lo descrito a continuación:

- i. Pesaje de los áridos, agua, aditivos y cemento.
- ii. Se extrae del balde de agua de diseño una cantidad para limpiar los recipientes que contienen el aditivo y así evitar pérdidas en el diseño.
- iii. Se colocó primero el árido grueso y se prendió la concretera.
- iv. Se colocó como segundo el árido fino.
- v. Con la concretera combinando a los áridos, se agrega una cantidad de agua de diseño del balde para hidratar a los áridos.
- vi. Se coloca el cemento y cuando entra en contacto con los áridos hidratados se empieza a correr el tiempo de mezcla.
- vii. Luego de transcurrir un minuto de mezclado aproximadamente, se agrega el aditivo retardante y se enjuaga el recipiente con el agua de diseño separada al inicio del ensayo.

- viii. Enseguida de agregar el retardante, se coloca el aditivo plastificante bajo el mismo procedimiento del retardante.
- ix. Si sobra agua de diseño que se retiró al inicio del ensayo, se agrega luego de colocar los dos aditivos y se mezcla el hormigón hasta que transcurran tres minutos luego del contacto del cemento con los áridos hidratados.
- x. Se dejó reposar al hormigón durante un minuto y luego se mezcló durante dos minutos más.

Tabla 22. Proceso de mezclado.

Diseño de mezcla	Casa de aditivos		
	PROTEX	BASF	SIKA
Tiempo de mezclado (min)	6	6	6
Tiempo de mezclado inicial (min)	3	3	3
Tiempo de reposo (min)	1	1	1
Tiempo de mezclado final (min)	2	2	2
Pesaje de aditivos (recipiente)	Probeta de 100 ml	Probeta de 100 ml	Probeta de 100 ml
Dilución de los aditivos antes de agregar a la mezcla	Hasta llenar la probeta de 100 ml	No se diluye	No se diluye
Adición del aditivo retardante	Se agrega luego de transcurrir un minuto de mezclado aprox.	Se agrega luego de transcurrir un minuto de mezclado aprox.	Se agrega luego de transcurrir un minuto de mezclado aprox.
Adición del aditivo plastificante	Se agrega inmediatamente luego del retardante	Se agrega inmediatamente luego del retardante	Se agrega inmediatamente luego del retardante

Una vez concluido el mezclado del hormigón, se toma el primer asentamiento inmediatamente y luego, se descarga la muestra en una bandeja limpia para continuar con los ensayos necesarios para determinar las propiedades de trabajabilidad y resistencia. En la figura 16 se presenta parte del proceso de preparación de la mezcla de hormigón.



Figura 16. Preparación de la mezcla de hormigón.

3.2.2.2. *Trabajabilidad de las mezclas*

La finalidad de controlar el asentamiento en un periodo de dos horas, es para determinar cuantitativamente la pérdida de trabajabilidad que sufre el hormigón mientras es transportado, es por eso que en el laboratorio, se mide el asentamiento de las mezclas de prueba cada treinta minutos, tomados a partir del instante de la medición del asentamiento inicial y durante un periodo de dos horas, si la muestra lo permite, porque si el asentamiento disminuye más allá de los requerimientos solicitados por la empresa (1.5 a 2 cm cada 30 minutos), se descarta la muestra para realizar las correcciones necesarias en el porcentaje de aditivo utilizado, ya que una vez obtenida la relación agua/cemento que dé como resultado la resistencia de diseño requerida, sólo se varía el porcentaje de aditivo para conseguir la trabajabilidad solicitada por la empresa para los diseños realizados en laboratorio.

La empresa requería diseños que pierdan entre 1.5 a 2 cm de asentamiento cada media hora partiendo de asentamientos iniciales que varían entre 22 a 23 cm (figura 17), se debía conseguir asentamientos finales entre 15 a 18 cm aproximadamente, una vez concluido el periodo de dos horas.



Figura 17. Lectura del asentamiento inicial.

Para conseguir los requerimientos solicitados, se realizarán mezclas de prueba por medio del método de prueba y error, con variaciones iterativas del porcentaje de aditivo, hasta conseguir los porcentajes adecuados de plastificante y retardante, partiendo de la muestra de prueba con el porcentaje de aditivos que originalmente utiliza la empresa, que es 0.30% del retardante ProKrete y 0.40% del plastificante MegaKrete de la casa de aditivos PROTEX.

El asentamiento inicial es medido una vez concluida la mezcla de los componentes en la concretera, los siguientes asentamientos se toman en periodos de treinta minutos, siempre mezclando el hormigón de forma manual de 3 a 5 minutos antes de medir el asentamiento.

A continuación, se presenta como ejemplo el procedimiento realizado para obtener el porcentaje de aditivos que permitió obtener una pérdida de asentamiento progresivo en un periodo de dos horas, el diseño pertenece a una resistencia de 210 kg/cm² con la casa de aditivo PROTEX y los diferentes porcentajes de aditivo que se emplearon para conseguir los requerimientos solicitados por la empresa.

En laboratorio se ensaya un volumen de 0.02 m³ y además antes de realizar el pesaje de los materiales se obtiene la humedad de los áridos para realizar las respectivas correcciones y proceder con los ensayos. Es así que en la tabla 21 se presentan las cantidades de la primera mezcla de prueba realizada para la resistencia mencionada anteriormente, y el porcentaje de aditivos es el utilizado por la empresa para sus hormigones comerciales.

Una vez ensayada la primera mezcla de prueba, como se puede ver en la figura 18 la mezcla segregó por el alto contenido de agua.



Figura 18. Mezcla segregada.

Se continúa ensayando con el método de prueba y error, con el mismo porcentaje de aditivos hasta encontrar la relación agua/cemento que permita obtener una mezcla pastosa, sin segregación y que además dé como asentamiento inicial el asentamiento de diseño. En la tabla 23 se presenta el diseño teórico que permite obtener las características mencionadas anteriormente, disminuyendo la cantidad de agua y también la relación agua/cemento.

Tabla 23. Diseño teórico de la mezcla de prueba, con ajuste de agua.

A/C =		0.66		BATCH (m ³) =		0.02	
Material	Porcentaje (%)	Cantidad (kg)	Volumen (m ³)	Corrección humedad (kg)	Peso/m ³ de hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (kg)	
Cemento		276.00	0.09		276.00	5.52	
Agua		181.00	0.22	131.86	131.86	2.64	
Arena		1016.67	0.38	1081.54	1081.54	21.63	
Grava		831.82	0.32	847.05	847.05	16.94	
MegaKrete R5	0.40%	1.10	0.0009		1.10	22.08	
ProKrete R	0.30%	0.83	0.0006		0.83	16.56	
Aire	2.00%		0.02				
Volumen de áridos (m³) =			0.67	Peso unitario=	2338.38	kg/m³	

Se ensaya el diseño teórico y se toma el asentamiento inicial y luego cada treinta minutos se toma el asentamiento, sin embargo, como se presenta en la tabla 24 el asentamiento decreció significativamente en los primeros treinta minutos y por tal motivo se descarta el proporcionamiento ensayado.

Tabla 24. Asentamiento de la primera prueba en un periodo de dos horas.

	Hora	Δ Tiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	12:15	-	215
Asentamiento 2	12:45	30	110
Asentamiento 3	x	x	x
Asentamiento 4	x	x	x
Asentamiento 5	x	x	x

A partir de esta mezcla se procede a realizar mezclas sucesivas con variación de aditivo, de acuerdo al método de prueba y error analizando los asentamientos obtenidos para aumentar o disminuir la cantidad de aditivo empleado inicialmente, hasta obtener un comportamiento de la mezcla de hormigón con pérdida de asentamiento progresivo en un periodo de dos horas, evitando la segregación de la pasta de cemento.

En la tabla 25 se presenta las lecturas de los asentamientos de las mezclas de prueba para una resistencia de diseño de 210 kg/cm² con la casa de aditivo PROTEX y los diferentes porcentajes de aditivo que se emplearon para conseguir los requerimientos solicitados por la empresa.

Tabla 25. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa PROTEX.

Fecha:	30 de marzo del 2021	Fecha:	30 de marzo del 2021
--------	----------------------	--------	----------------------



Diseño 210 kg/cm ² (PROTEX)	Muestra N°:	2	Muestra N°:	3		
	Relación A/C:	0.66	Relación A/C:	0.66		
	% MegaKrete R5	0.40%	% MegaKrete R5	0.60%		
	% ProKrete R	0.30%	% ProKrete R	0.45%		
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	12:15	0	215	13:00	0	220
Asentamiento 2	12:45	30	110	13:30	30	120
Asentamiento 3	x	x	x	x	x	x
Asentamiento 4	x	x	x	x	x	x
Asentamiento 5	x	x	x	x	x	x
	Fecha:	30 de marzo del 2021	Fecha:	31 de marzo del 2021		
Diseño 210 kg/cm ² (PROTEX)	Muestra N°:	4	Muestra N°:	5		
	Relación A/C:	0.66	Relación A/C:	0.66		
	% MegaKrete R5	0.70%	% MegaKrete R5	1.00%		
	% ProKrete R	0.45%	% ProKrete R	0.45%		
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	15:00	0	220	11:53	0	225
Asentamiento 2	15:30	30	185	12:23	30	90
Asentamiento 3	16:00	60	95	x	x	x
Asentamiento 4	x	x	x	x	x	x
Asentamiento 5	x	x	x	x	x	x
	Fecha:	31 de marzo del 2021	Fecha:	10 de abril del 2021		
Diseño 210 kg/cm ² (PROTEX)	Muestra N°:	6	Muestra N°:	7		
	Relación A/C:	0.66	Relación A/C:	0.66		
	% MegaKrete R5	1.10%	% MegaKrete R5	1.10%		
	% ProKrete R	0.60%	% ProKrete R	0.80%		
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	15:18	0	230	10:15	0	235
Asentamiento 2	15:48	30	200	10:45	30	190
Asentamiento 3	16:18	60	90	11:15	60	120
Asentamiento 4	x	x	x	11:45	90	65
Asentamiento 5	x	x	x	12:15	120	40
	Fecha:	22 de abril del 2021	Fecha:	11 de mayo del 2021		
Diseño 210 kg/cm ² (PROTEX)	Muestra N°:	8	Muestra N°:	9		
	Relación A/C:	0.66	Relación A/C:	0.66		
	% MegaKrete R5	1.00%	% MegaKrete R5	0.80%		
	% ProKrete R	0.80%	% ProKrete R	0.80%		
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	14:33	0	230	11:40	0	220
Asentamiento 2	15:03	30	185	12:10	30	190
Asentamiento 3	15:33	60	170	12:40	60	175
Asentamiento 4	16:03	90	165	13:10	90	170
Asentamiento 5	16:33	120	160	13:40	120	170

En la figura 19 se presenta gráficamente la variación de los asentamientos de acuerdo a las proporciones de aditivos utilizados.

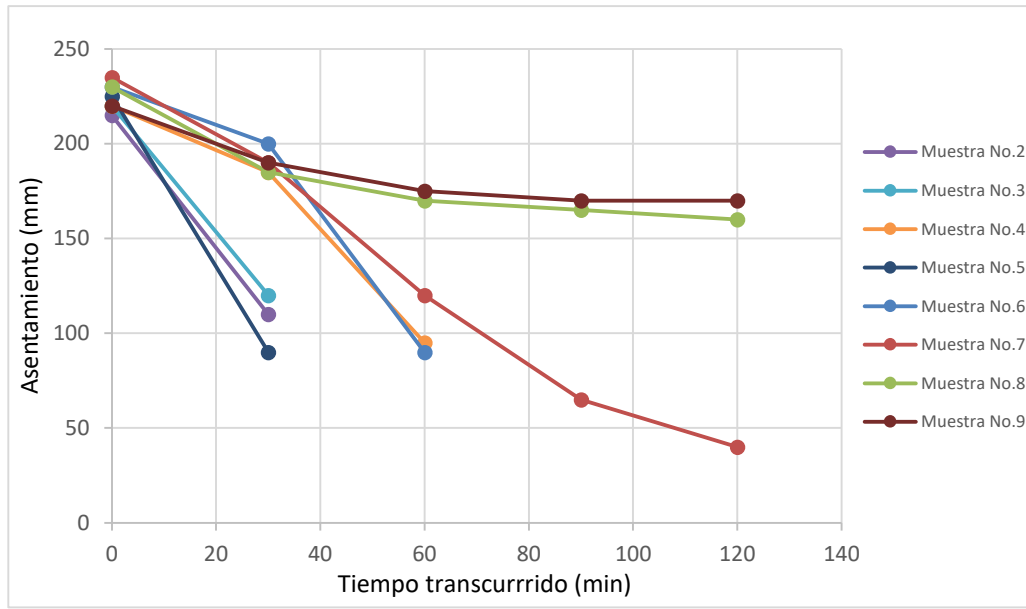


Figura 19. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa PROTEX.

Análogamente al procedimiento realizado para las mezclas de hormigón para la resistencia de diseño de 210 kg/cm² con la casa de aditivo PROTEX, en la tabla 26 se presentan los ensayos realizados para encontrar el diseño con el aditivo BASF, que cumpla con los requerimientos de asentamiento solicitados por la empresa.

Tabla 26. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa BASF.

	Fecha:	30 de marzo del 2021		Fecha:	31 de marzo del 2021	
Diseño 210 kg/cm² (BASF)	Muestra N°:	1		Muestra N°:	2	
	Relación A/C:	0.66		Relación A/C:	0.66	
	% MasterGlenium 7954	0.40%		% MasterGlenium 7954	0.50%	
	% MaterPolyheed 939	0.30%		% MaterPolyheed 939	0.35%	
		Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)
Asentamiento 1	15:25	0	220	12:58	0	235
Asentamiento 2	15:55	30	195	13:28	30	225
Asentamiento 3	16:25	60	160	13:58	60	220
Asentamiento 4	x	x	x	14:28	90	185
Asentamiento 5	x	x	x	14:58	120	175
	Fecha:	22 de abril del 2021		Fecha:	11 de mayo del 2021	
Diseño 210 kg/cm² (BASF)	Muestra N°:	3		Muestra N°:	4	
	Relación A/C:	0.66		Relación A/C:	0.66	
	% MasterGlenium 7954	0.45%		% MasterGlenium 7954	0.40%	
	% MaterPolyheed 939	0.35%		% MaterPolyheed 939	0.38%	
		Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)

Asentamiento 1	12:58	0	225	11:20	0	210
Asentamiento 2	13:28	30	210	11:50	30	200
Asentamiento 3	13:58	60	195	12:20	60	195
Asentamiento 4	14:28	90	180	12:50	90	185
Asentamiento 5	14:58	120	160	13:20	120	175

Así mismo, en la figura 20 se presenta gráficamente la variación de los asentamientos de acuerdo a las proporciones de aditivos utilizados.

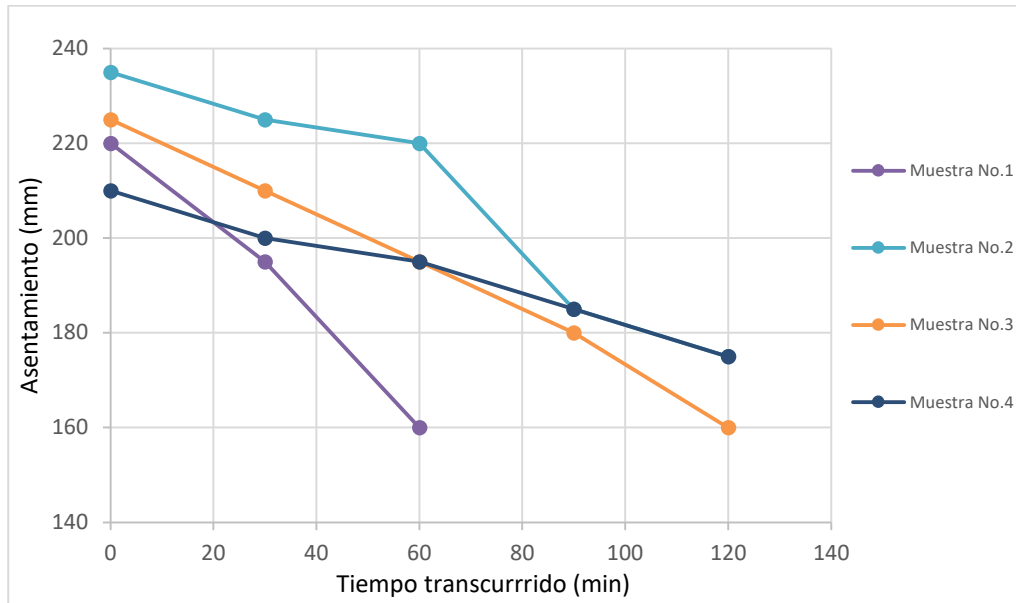


Figura 20. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa BASF.

Finalmente, para la resistencia de diseño de 210 kg/cm², en la tabla 27 se presentan los ensayos realizados con la casa de aditivos SIKA.

Tabla 27. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa SIKA.

	Fecha: 31 de marzo del 2021			Fecha: 22 de abril del 2021		
	Muestra N°:	Relación A/C:	% Sika ViscoFlow-55	Muestra N°:	Relación A/C:	% Sika ViscoFlow-55
Diseño 210 kg/cm² (SIKA)	1	0.66	1.00%	2	0.66	0.70%
		% Plastiment TM 42	0.35%		% Plastiment TM 42	0.35%
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	13:24	0	235	12:49	0	225
Asentamiento 2	13:54	30	225	13:19	30	210
Asentamiento 3	14:24	60	210	13:49	60	200
Asentamiento 4	14:54	90	205	14:19	90	190
Asentamiento 5	15:24	120	195	14:49	120	175

Además, en la figura 21 se presenta gráficamente la variación de los asentamientos de acuerdo a las proporciones de aditivos utilizados.

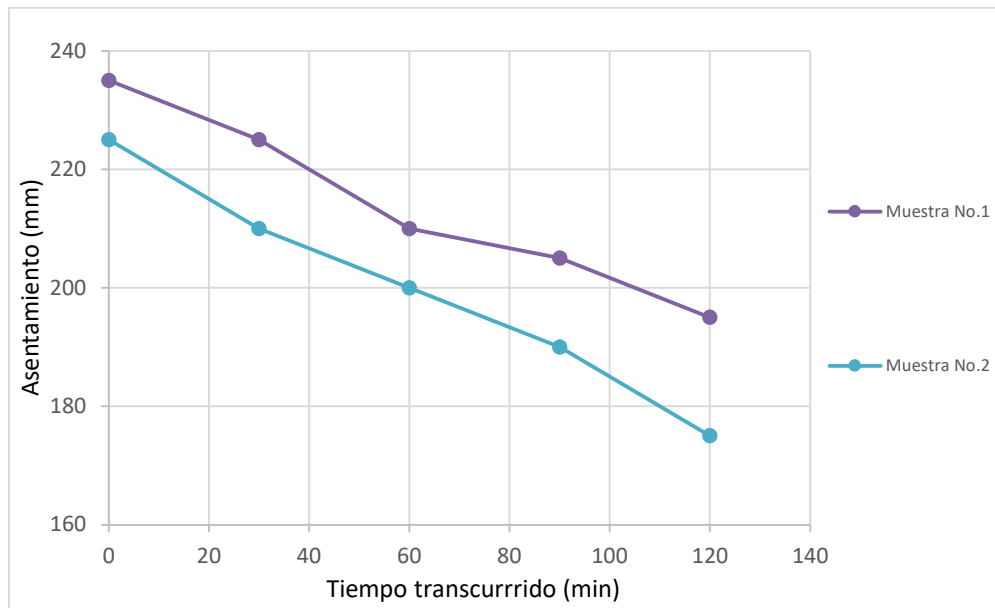


Figura 21. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 210 kg/cm² con la casa SIKA.

Para los ensayos realizados con la casa de aditivos PROTEX y para una resistencia de diseño de 240 kg/cm², las muestras 1 y 2 se segregaron, por el alto contenido de agua y por el alto contenido de aditivo retardante respectivamente. En la tabla 28 se presenta las lecturas de los asentamientos de las mezclas de prueba realizadas en las que se pudo realizar las lecturas del asentamiento.

Tabla 28. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa PROTEX.

	Fecha: 27 de abril del 2021			Fecha: 13 de mayo del 2021				
	Muestra N°:	Relación A/C:	% MegaKrete R5	% ProKrete R	Muestra N°:	Relación A/C:	% MegaKrete R5	% ProKrete R
Diseño 240 kg/cm ² (PROTEX)	3	0.64	0.65%	0.80%	4	0.64	0.60%	0.80%
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)		
Asentamiento 1	13:28	0	230	12:25	0	220		
Asentamiento 2	13:58	30	210	12:55	30	210		
Asentamiento 3	14:28	60	185	13:25	60	190		
Asentamiento 4	14:58	90	175	13:55	90	170		
Asentamiento 5	15:28	120	170	14:25	120	165		

En la figura 22 se presenta gráficamente la variación de los asentamientos de acuerdo a las proporciones de aditivos utilizados de PROTEX.

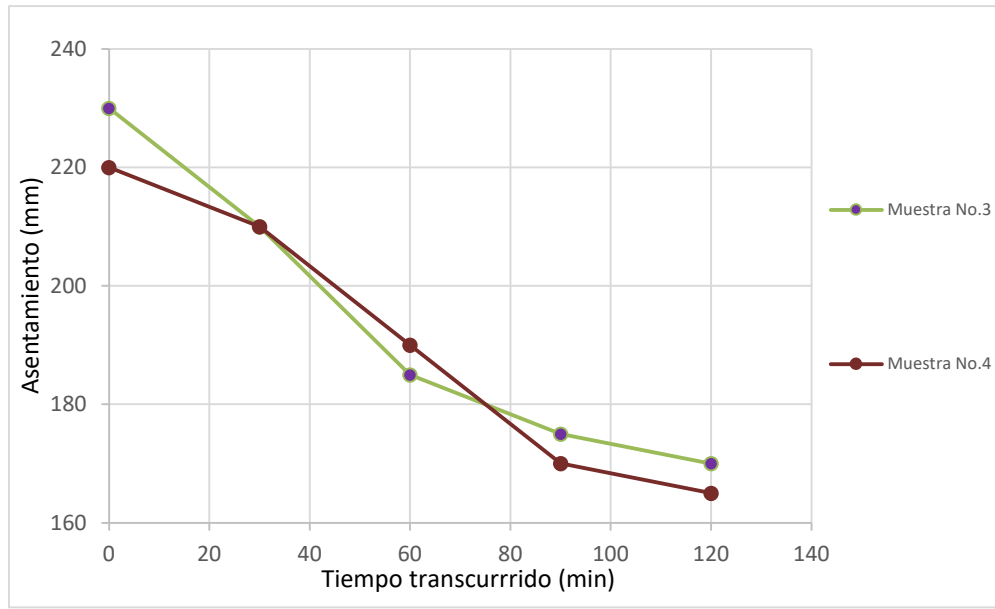


Figura 22. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa PROTEX.

De igual forma para la resistencia de diseño de 240 kg/cm², en la tabla 29 se presentan las mezclas realizadas con la casa de aditivos BASF.

Tabla 29. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa BASF.

		Fecha:	07 de abril del 2021	Fecha:	27 de abril del 2021	
	Muestra N°:		1	Muestra N°:	2	
Diseño 210 kg/cm² (BASF)	Relación A/C:		0.62	Relación A/C:	0.64	
	% MasterGlenium 7954		0.45%	% MasterGlenium 7954	0.38%	
	% MasterPolyheed 939		0.35%	% MasterPolyheed 939	0.35%	
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	13:50	0	220	13:05	0	220
Asentamiento 2	14:20	30	200	13:35	30	205
Asentamiento 3	14:50	60	195	14:05	60	190
Asentamiento 4	15:20	90	175	14:35	90	185
Asentamiento 5	15:50	120	170	15:05	120	170

En la figura 23 se presenta la variación de los asentamientos de acuerdo a las proporciones de aditivos utilizados.

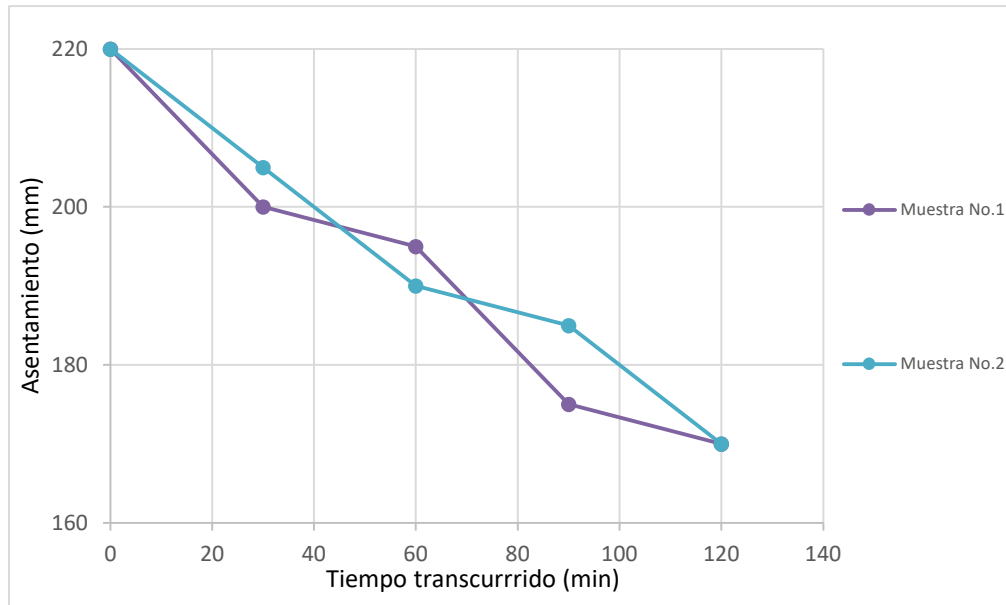


Figura 23. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa BASF.

Como tercer aditivo utilizado para la resistencia de diseño de 240 kg/cm², en la tabla 30 se presentan las mezclas de prueba realizadas con la casa de aditivos SIKA.

Tabla 30. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa SIKA.

		Fecha:	07 de abril del 2021	Fecha:	27 de abril del 2021	
Diseño 240 kg/cm² (SIKA)	Muestra N°:		1	Muestra N°:	2	
	Relación A/C:		0.62	Relación A/C:	0.64	
	% Sika ViscoFlow-55		1.00%	% Sika ViscoFlow-55	0.60%	
	% Plastiment TM 42		0.30%	% Plastiment TM 42	0.30%	
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	14:17	0	220	12:03	0	225
Asentamiento 2	14:47	30	215	12:33	30	215
Asentamiento 3	15:17	60	215	13:03	60	195
Asentamiento 4	15:47	90	210	13:33	90	185
Asentamiento 5	16:17	120	210	14:03	120	65
		Fecha:	13 de mayo del 2021			
Diseño 240 kg/cm² (SIKA)	Muestra N°:		3			
	Relación A/C:		0.64			
	% Sika ViscoFlow-55		0.60%			
	% Plastiment TM 42		0.45%			
	Hora	Δ Tiempo (min)	Lectura (mm)			
Asentamiento 1	12:10	0	220			
Asentamiento 2	12:40	30	205			
Asentamiento 3	13:10	60	190			

Asentamiento 4	13:40	90	180
Asentamiento 5	14:10	120	170

Se presenta gráficamente en la figura 24, la variación de los asentamientos de acuerdo a las proporciones de aditivos utilizados.

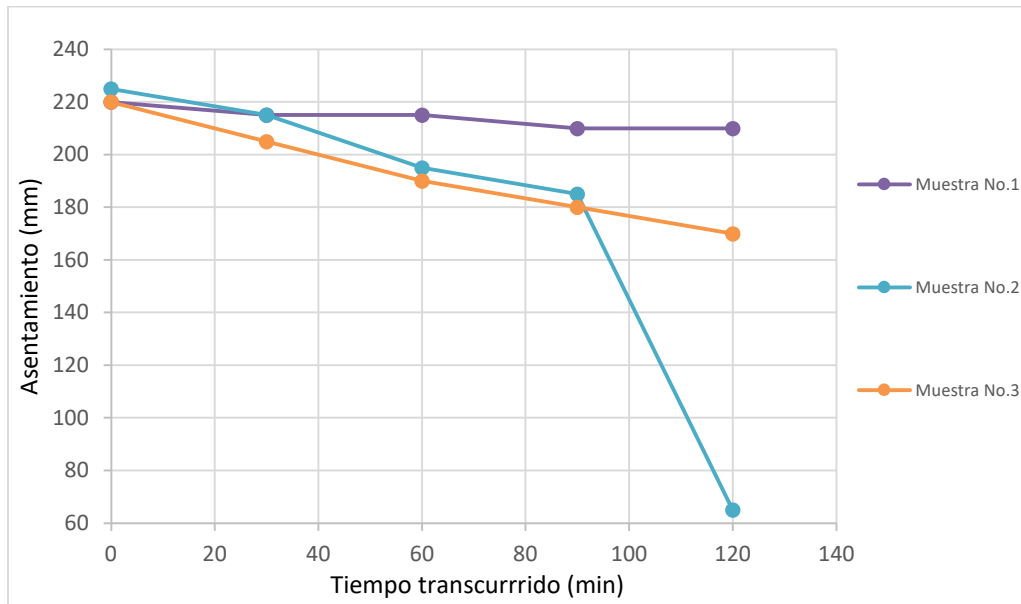


Figura 24. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 240 kg/cm² con la casa SIKA.

La tercera resistencia de diseño comercial es la de 300 kg/cm², la cual al ser ensayada con los aditivos de PROTEX, la muestra 1 segregó por el alto contenido de aditivo. En la tabla 31 se presenta las lecturas de los asentamientos de las demás mezclas de prueba realizadas.

Tabla 31. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa PROTEX.

	Fecha: 15 de abril del 2021			Fecha: 06 de mayo del 2021				
	Muestra N°:	Relación A/C:	% MegaKrete R5	% ProKrete R	Muestra N°:	Relación A/C:	% MegaKrete R5	% ProKrete R
Diseño 300 kg/cm² (PROTEX)	2	0.57	0.70%	0.80%	3	0.56	0.55%	0.80%
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)		Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	
Asentamiento 1	13:38	0	260		13:40	0	220	
Asentamiento 2	14:08	30	230		14:10	30	210	
Asentamiento 3	14:38	60	205		14:40	60	200	
Asentamiento 4	15:08	90	180		15:10	90	190	
Asentamiento 5	15:38	120	170		15:40	120	140	

En la figura 19 se presenta la variación de los asentamientos de acuerdo a las proporciones de aditivos utilizados de PROTEX.

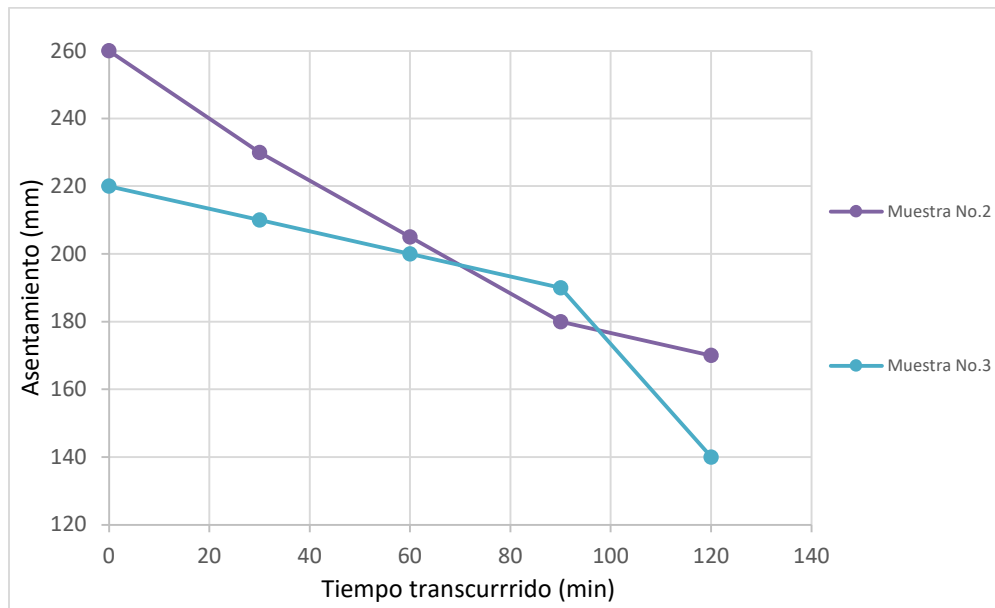


Figura 25. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa PROTEX.

En la tabla 32 se presentan los asentamientos de las mezclas de prueba realizadas con los aditivos de la casa de BASF para la resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Tabla 32. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa BASF.

	Fecha: 15 de abril del 2021			Fecha: 06 de mayo del 2021		
	Muestra N°:	Relación A/C:	% MasterGlenium 7954	Muestra N°:	Relación A/C:	% MasterGlenium 7954
Diseño 300 kg/cm² (BASF)	1	0.57	0.45%	2	0.56	0.34%
			% MasterPolyheed 939			% MasterPolyheed 939
			0.35%			0.35%
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	14:15	0	245	13:25	0	220
Asentamiento 2	14:45	30	235	13:55	30	210
Asentamiento 3	15:15	60	220	14:25	60	200
Asentamiento 4	15:45	90	215	14:55	90	190
Asentamiento 5	16:15	120	210	15:25	120	190

Así mismo, en la figura 26 se presenta la pérdida de asentamiento que se puede ver cuantitativamente en la tabla 32.

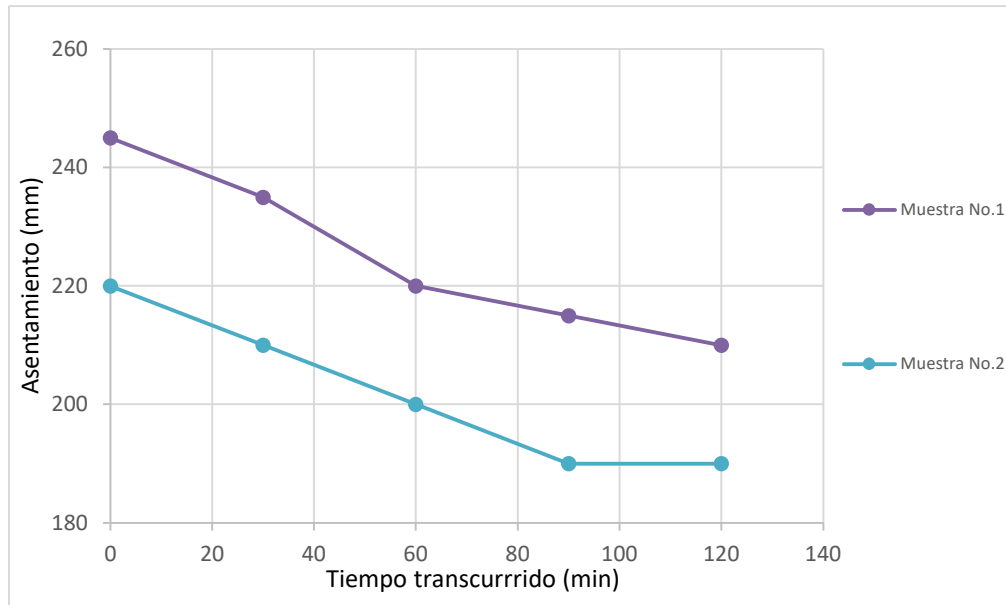


Figura 26. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa BASF.

Finalmente, en la tabla 33 se presentan los asentamientos de las mezclas realizadas para la resistencia de diseño de 300 kg/cm², con la casa de aditivos SIKA.

Tabla 33. Lecturas de asentamientos de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa SIKA.

	Fecha: 15 de abril del 2021			Fecha: 06 de mayo del 2021		
	Muestra N°:			Muestra N°:		
Diseño 300 kg/cm² (SIKA)	Relación A/C:	0.57		Relación A/C:	0.56	
	% Sika ViscoFlow-55	0.80%		% Sika ViscoFlow-55	0.70%	
	% Plastiment TM 42	0.30%		% Plastiment TM 42	0.30%	
	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)	Hora	ΔTiempo (min)	Lectura (mm)
Asentamiento 1	12:18	0	225	12:42	0	225
Asentamiento 2	12:48	30	220	13:12	30	210
Asentamiento 3	13:18	60	205	13:42	60	195
Asentamiento 4	13:48	90	200	14:12	90	190
Asentamiento 5	14:18	120	195	14:42	120	185

Por último, en la figura 27 se presenta la pérdida de asentamientos de cada mezcla de prueba con la casa de aditivos SIKA para la resistencia de 300 kg/cm².

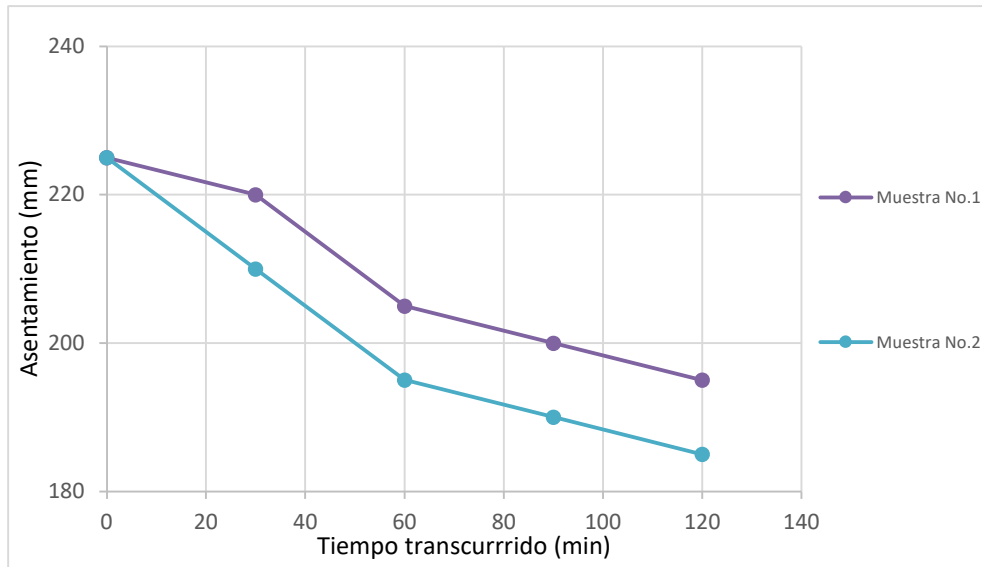


Figura 27. Pérdida de trabajabilidad de las mezclas para 300 kg/cm² con la casa SIKA.

3.2.2.3. Elaboración de cilindros para resistencia

Al concluir los ensayos de asentamiento se procede a colocar el hormigón en los moldes cilíndricos de 10 x 20 cm con ayuda de una cuchareta y se continua con su elaboración de acuerdo al procedimiento descrito en la norma NTE INEN 3124. La norma define de acuerdo a las dimensiones del molde se dividen el número de capas de compactación y también la cantidad de golpes que se debe dar en cada capa (INEN, 2017). Según las dimensiones del molde, en la tabla 34 se presentan el número de capas y de golpes con los que se deben elaborar los cilindros de prueba para el trabajo de titulación que se está realizando.

Tabla 34. Descripción del espécimen, consolidación y capas para elaboración de cilindros para resistencia, Fuente: (INEN, 2017)

Tamaño de espécimen diámetro (mm)	Modo de consolidación	Número de capas de igual profundidad
75 a 100	varillado	2
Tamaño de espécimen diámetro (mm)	Diámetro de la varilla (mm)	Número de golpes/capa
75 hasta < 150	10 ± 2 (3/8 ± 1/16)	25

Para determinar la resistencia se elaboran cuatro cilindros, con la finalidad de realizar la ruptura de un cilindro a los 7 días, un cilindro a los 14 días y dos cilindros a los 28 días, no se toman más muestras debido a que la empresa no cuenta con suficientes cilindros para tomar dos muestras para cada edad, que sería lo ideal para el trabajo de titulación y además realizar el control de calidad de los hormigones elaborados por parte de la empresa diariamente.

3.2.2.4. Curado de las muestras

Luego de elaborar los cilindros, se guardan en el interior del laboratorio de control y calidad, que es un lugar fresco y con temperatura promedio de 20 °C. Al día siguiente se desmoldan y se colocan en una pileta de curado que se encuentra junto al laboratorio hasta la fecha de su ensayo de ruptura, las probetas que contenían un porcentaje alto de retardante PROTEX, fueron desmoldadas a las 48 horas de ser elaboradas porque superficialmente a las 24 horas se encontraban en estado fresco y fue imposible desmoldarlas.

3.2.2.5. Ensayos de rotura

Al pasar los 7, 14 y 28 días de la elaboración de las muestras se procede a la rotura de los mismos, mediante el ensayo de resistencia a la compresión de acuerdo a lo descrito en la norma NTE INEN 1573.

Las muestras a ser ensayadas deben encontrarse en condición húmeda, es decir recién sacados de la piscina de curado y únicamente secados con una toalla superficialmente, antes de la rotura se determina el diámetro, la altura y el peso de cada muestra para obtención de área y densidad respectivamente.

En la rotura de las muestras se debe asegurar que esté bien colocado el espécimen dentro de los bloques de carga, además que el indicador de carga se encuentre encerado. La empresa Hormi Center cuenta con una prensa de compresión hidráulica manual, en donde la velocidad de carga es controlada por el operador, por medio de una perilla que se presenta en la figura 28 para que la velocidad se mantenga dentro del rango especificado en la norma.



Figura 28. Perilla de control de velocidad.

Luego de que la muestra ha sido fracturada, se registra la carga máxima en kN o en MPa reportada en el tablero digital de la prensa, para su cálculo de resistencia.

En las figuras 29 y 30, se presentan parte del proceso de la rotura de los cilindros.



Figura 29. Cilindros recién sacados de la piscina, secados superficialmente, pesados y medidos.



Figura 30. Rotura del cilindro en la máquina de compresión.

Se elaboraron cuatro cilindros, con la finalidad de realizar la ruptura de un cilindro a los 7 días, un cilindro a los 14 días y dos cilindros a los 28 días. Luego de extraer las probetas de la piscina de curado, se realiza la ruptura de las mismas para determinar la resistencia a la compresión.

Para determinar la resistencia a la compresión, se divide la máxima carga registrada en el ensayo para el área de la sección transversal del cilindro, como se presenta en la ecuación 25.

$$f'c = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (25)$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a compresión del hormigón, kg/cm^2

P = Carga máxima a la compresión, kg

D = Diámetro promedio de la sección transversal, cm



Las probetas para determinar la resistencia a la compresión no se tomaron únicamente de las mezclas que presentaron los requerimientos solicitados por la empresa, sino además se realizaron la ruptura de cilindros de las mezclas que no dieron los asentamientos solicitados, con la finalidad de verificar que relación agua/cemento si sea la adecuada para superar la resistencia de diseño, en la tabla 35 se presentan todas las resistencias a la compresión obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 35. Resistencia a la compresión de las mezclas de prueba realizadas.

Descripción	Diseño	7 DIAS	Resistencia (Mpa)	%	14 DIAS	Resistencia (Mpa)	%	28 DIAS	Resistencia (Mpa)	%
BASF A/C=0.66	210	07/04/2021	21.862	99%	14/04/2021	30.824	138%	28/04/2021	33.571	151%
BASF A/C=0.66	210							28/04/2021	31.475	144%
SIKA A/C=0.66	210	07/04/2021	24.431	113%	14/04/2021	27.711	127%	28/04/2021	31.225	143%
SIKA A/C=0.66	210							28/04/2021	30.835	144%
BASF A/C=0.62	240	14/04/2021	31.210	125%	21/04/2021	38.262	150%	05/05/2021	38.491	151%
BASF A/C=0.62	240							05/05/2021	39.987	157%
SIKA A/C=0.62	240	14/04/2021	23.773	95%	21/04/2021	26.196	105%	05/05/2021	26.94	108%
SIKA A/C=0.62	240							05/05/2021	29.91	115%
PROTEX A/C=0.66	210	17/04/2021	25.238	113%	24/04/2021	32.519	149%	08/05/2021	38.536	176%
PROTEX A/C=0.66	210							08/05/2021	37.892	170%
BASF A/C=0.57	300	22/04/2021	30.084	95%	29/04/2021	33.154	106%	13/05/2021	38.073	122%
BASF A/C=0.57	300							13/05/2021	40.844	128%
SIKA A/C=0.57	300	22/04/2021	33.398	107%	29/04/2021	35.835	117%	13/05/2021	40.894	129%
SIKA A/C=0.57	300							13/05/2021	41.551	131%
PROTEX A/C=0.57	300	22/04/2021	35.374	113%	29/04/2021	40.262	132%	13/05/2021	48.27	155%
PROTEX A/C=0.57	300							13/05/2021	46.57	149%
BASF A/C=0.66	210	29/04/2021	20.591	92%	06/05/2021	23.478	107%	20/05/2021	29.636	136%
BASF A/C=0.66	210							20/05/2021	28.328	127%
SIKA A/C=0.66	210	29/04/2021	20.641	96%	06/05/2021	25.968	119%	20/05/2021	31.048	139%
SIKA A/C=0.66	210							20/05/2021	30.319	142%
PROTEX A/C=0.66	210	29/04/2021	25.654	117%	06/05/2021	32.795	150%	20/05/2021	35.814	164%
PROTEX A/C=0.66	210							20/05/2021	35.321	156%
PROTEX-HC A/C=0.66	210	29/04/2021	24.975	112%	06/05/2021	31.013	139%	20/05/2021	36.091	159%
PROTEX-HC A/C=0.66	210							20/05/2021	34.952	157%
BASF A/C=0.64	240	04/05/2021	21.279	85%	11/05/2021	28.852	116%	25/05/2021	33.309	136%
BASF A/C=0.64	240							25/05/2021	34.718	136%
SIKA A/C=0.64	240	04/05/2021	22.255	89%	11/05/2021	29.146	117%	25/05/2021	31.066	127%
SIKA A/C=0.64	240							25/05/2021	31.542	126%
PROTEX A/C=0.64	240	04/05/2021	24.167	97%	11/05/2021	31.152	120%	25/05/2021	36.814	150%
PROTEX A/C=0.64	240							25/05/2021	34.05	136%
BASF A/C=0.56	300	13/05/2021	31.713	104%	20/05/2021	37.406	118%	03/06/2021	41.987	135%
BASF A/C=0.56	300							03/06/2021	43.132	138%



SIKA A/C=0.56	300	13/05/2021	33.729	104%	20/05/2021	38.501	121%	03/06/2021	39.424	126%
SIKA A/C=0.56	300							03/06/2021	42.717	137%
PROTEX A/C=0.56	300	13/05/2021	30.290	97%	20/05/2021	33.701	106%	03/06/2021	41.325	130%
PROTEX A/C=0.56	300							03/06/2021	41.432	133%
BASF A/C=0.66	210	18/05/2021	22.613	102%	25/05/2021	26.225	120%	08/06/2021	30.613	140%
BASF A/C=0.66	210							08/06/2021	30.992	142%
PROTEX A/C=0.66	210	18/05/2021	25.759	118%	25/05/2021	31.139	143%	08/06/2021	33.14	152%
PROTEX A/C=0.66	210							08/06/2021	36.572	167%
PROTEX-HC A/C=0.64	240	18/05/2021	28.148	113%	25/05/2021	34.844	140%	08/06/2021	39.9	160%
PROTEX-HC A/C=0.64	240							08/06/2021	39.887	160%
SIKA A/C=0.64	240	20/05/2021	22.665	91%	27/05/2021	27.965	112%	10/06/2021	32.855	132%
SIKA A/C=0.64	240							10/06/2021	32.412	127%
PROTEX A/C=0.64	240	20/05/2021	23.231	93%	27/05/2021	30.835	123%	10/06/2021	33.79	135%
PROTEX A/C=0.64	240							10/06/2021	32.947	132%
PROTEX-HC A/C=0.56	300	20/05/2021	31.540	101%	27/05/2021	36.276	116%	10/06/2021	42.907	137%
PROTEX-HC A/C=0.56	300							10/06/2021	43.957	141%

3.2.2.6. *Ensayos de tiempos de fraguado*

El ensayo de tiempos de fraguado se optó realizar, debido a que la mezcla con los aditivos de la casa PROTEX presentó retardo en su fraguado, consecuencia del alto porcentaje de retardante colocado para evitar la caída de asentamiento durante el periodo de dos horas, este ensayo se rige a la normativa guatemalteca NTG 41017 que es equivalente a la norma ASTM C 403.

Se extrae una muestra de hormigón recién mezclado, la cantidad suficiente para llenar un molde de 15x15x15 cm pero que no haya sido usada para la toma de contenido de aire o de asentamiento, dicha muestra se tamiza con ayuda del tamiz No.4 para separar el agregado grueso y que reste únicamente la muestra de mortero para colocar en el molde.

Al mortero obtenido se coloca en el molde siguiendo todas las especificaciones que indica la normativa, al pasar seis horas del contacto del agua con el cemento, se toma una lectura inicial, sin embargo, esto varía dependiendo la resistencia y el aditivo que se usa en dicha mezcla, como la norma sugiere, “para mezclas convencionales de concreto en el laboratorio a temperaturas de 20 a 25 °C, se hace el ensayo inicial de penetración después de transcurrido un tiempo de 3 a 4 horas después del contacto inicial entre el cemento y el agua. Para mezclas de concreto con retardantes o temperaturas más bajas que las de laboratorio, el ensayo inicial puede ser diferido hasta después de transcurrido un tiempo de 4 a 6 horas.” (COGUANOR, 2013)

Para las lecturas de los tiempos de fraguado entre las principales cosas que se debe tomar en cuenta son: no debe existir presencia de agua de exudación, se digita la temperatura de la mezcla y la aguja debe penetrar la mezcla hasta la señal indicada.

En las figuras 31 y 32 se presenta parte del proceso del ensayo de tiempos de fraguado.



Figura 31. Preparación de la muestra, tiempos de fraguado.



Figura 32. Toma de lecturas de penetración para tiempos de fraguado.

Los tiempos de fraguado inicial y final, se determinan en base a un ensayo de endurecimiento del mortero de hormigón, por medio de agujas que permiten determinar la resistencia a la penetración conforme transcurre el tiempo.

El tiempo de fraguado inicial, es el que se determina a una resistencia de 3.5 MPa (500 psi), análogamente el tiempo de fraguado final se determina a una resistencia a la penetración de 28 MPa (4000 psi). En la norma se plantean varios métodos para el ploteo de los resultados, sin embargo, los métodos utilizados en este trabajo son:

- **Ploteo en computadora:**

Los tiempos de fraguado se obtienen por medio de un análisis de regresión lineal, se convierten los resultados de tiempo transcurrido y resistencia a la penetración a sus respectivos logaritmos y se grafican en la ordenada el logaritmo de la resistencia a la



penetración y en la abscisa el logaritmo del tiempo transcurrido. La ecuación obtenida de la regresión lineal se presenta como la ecuación 26.

$$\text{Log}(PR) = a + b \text{Log}(t) \quad (26)$$

Donde:

PR = Resistencia a la penetración

t = Tiempo transcurrido

a y b = Constantes de regresión

- **Ploteo de ajuste manual**

Este método es utilizado cuando el valor de R^2 del ajuste de regresión lineal es menor a 0.98. Al igual que en el método computarizado, se grafica en la ordenada los valores de la resistencia a la penetración y en la abscisa los valores del tiempo transcurrido, luego de forma manual se ajusta una curva uniforme a través de los datos obtenidos. A pesar de que el método implica un trazado manual, se utilizó una hoja de cálculo en Excel para realizar este procedimiento.

En la tabla 36 se presentan los datos tomados para el ensayo de tiempos de fraguado de la mezcla de prueba realizada con los aditivos de la casa PROTEX con 0.80 % de MegaKrete R5 y con 0.80 % de ProKrete R, para una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y que, anteriormente cumplió con los requerimientos de trabajabilidad y resistencia solicitados por la empresa.

Tabla 36. Toma de datos del ensayo de tiempos de fraguado para una resistencia de diseño de 210 kg/cm² con la casa de aditivos PROTEX.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	16:07	21:26:00	1.000	91.2	91.2	19.7
2	16:10	21:29:00	0.500	41.7	83.4	19.7
3	19:54	25:13:00	0.250	41.5	166.0	19.0
4	21:48	27:07:00	0.100	59.9	599.0	18.0
5	23:09	28:28:00	0.050	47.3	946.0	17.7
6	01:22	30:41:00	0.025	51.7	2068.0	17.6
7	03:02	32:21:00	0.025	113.9	4556.0	17.7

Luego de procesar los datos se plotea el resultado para determinar los tiempos de fraguado inicial y final respectivamente, en la figura 33 se presenta el ploteo automático descrito anteriormente para el ejemplo mostrado.

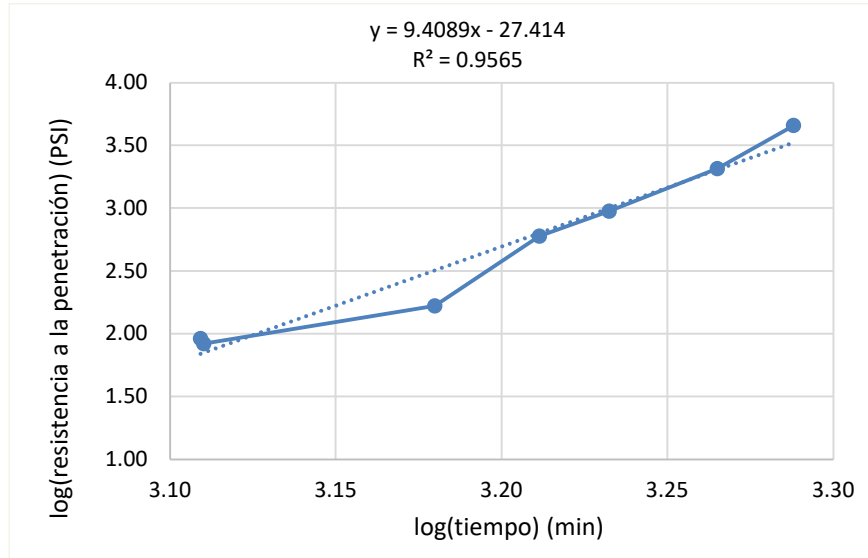


Figura 33. Ploteo automático de tiempos de fraguado para una resistencia de diseño de 210 kg/cm², con la casa de aditivos PROTEX.

Una vez obtenida la ecuación de la regresión lineal se obtienen los resultados de los tiempos de fraguado, pero en este caso como el valor de R^2 es menor a 0.98, se realiza el ploteo manual presentado en la figura 34.

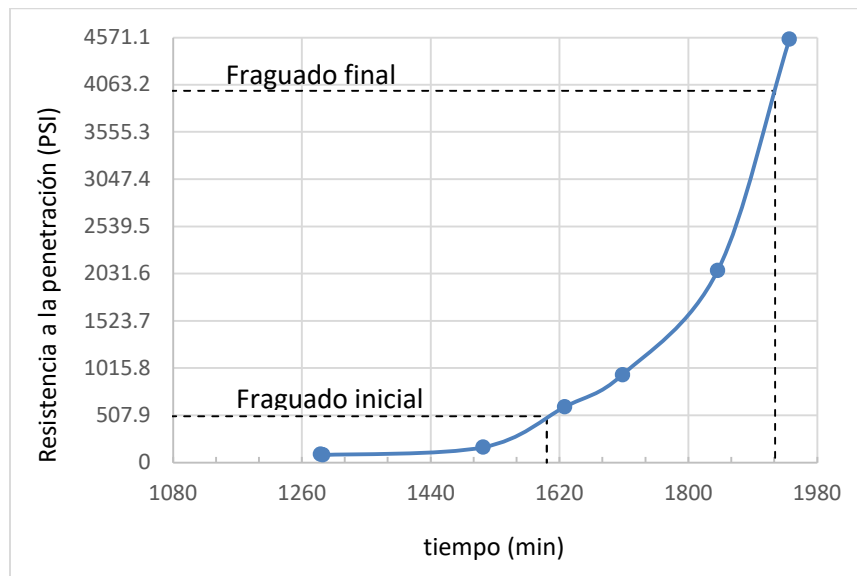


Figura 34. Ploteo automático de tiempos de fraguado para una resistencia de diseño de 210 kg/cm², con la casa de aditivos PROTEX.

De igual manera para cada uno de los diseños finales obtenidos para cada resistencia de diseño comercial, utilizando las tres casas de aditivos (BASF, SIKA y PROTEX), se repite el procedimiento, en el ANEXO 3 se puede visualizar las tablas y gráficas obtenidas.

3.2.2.7. *Ensayos de contenido de aire y densidad del hormigón*

Finalizado el proceso de mezclado del hormigón, este se llena en el recipiente de medición en tres capas, en cada capa se introduce 25 veces la varilla de compactación y se golpea con el martillo de goma de 10 a 15 veces para eliminar cualquier presencia de aire (INEN, 2013a), finalmente se enrasa la superficie del hormigón siguiendo las recomendaciones tal como lo indica la norma NTE INEN 1579.

Cumpliendo el llenado del recipiente de medición, se procede a pesar y este valor permite conocer la densidad del hormigón en estado fresco (figura 35), continuamente se realiza el ensayo de contenido de aire que esta especificado en la norma NTG 41017 h7.

Luego de concluir la consolidación del hormigón, se enrasa la superficie superior deslizando la regla enrasadora como se puede ver en la figura 36 (COGUANOR, 2015)

Es muy importante considerar la limpieza del recipiente de medición una vez que ha finalizado el ensayo ya que las válvulas por donde ingresa el agua pueden obstruirse y resulta ser muy costoso la reparación de las mismas.



Figura 35. Proceso para determinar la densidad del hormigón.



Figura 36. Proceso para determinar el contenido de aire.



4. RESULTADOS

4.1. Materiales y proporciones

Para determinar el diseño adecuado que permita obtener las características físico mecánicas de resistencia y trabajabilidad solicitadas por la empresa, se analiza los resultados obtenidos de los ensayos de los áridos, las relaciones agua/cemento para cada resistencia de diseño y también, la comparación con cada resultado obtenido de las mezclas de prueba para el hormigón en estado fresco y endurecido.

En cuanto a los ensayos realizados en los áridos, el ensayo de granulometría se considera satisfactorio, puesto que el árido fino y el árido grueso cumplen con los requerimientos granulométricos establecidos en la norma NTE INEN 872, además, el árido fino tiene un módulo de finura de 2.95 considerado favorable dentro del rango establecido para hormigones de buen desempeño.

Se utilizó el método gráfico de Fuller Thompson para determinar las proporciones de los áridos, porque permite encontrar la proporción más favorable entre los áridos utilizados para realizar el diseño de la mezcla de hormigón. De forma gráfica se evaluaron las proporciones de los áridos, ajustando la curva granulométrica combinada hasta que se encuentre dentro de los límites de las curvas granulométricas ideales de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido grueso y, además, considerando un ajuste al límite inferior para evitar el exceso de árido fino en la mezcla, obteniendo como mejor relación de árido fino y grueso del 55% y 45% respectivamente, ya que cuando se ajustaba la curva granulométrica combinada a un punto medio entre los límites, la proporción del árido fino aumentaba significativamente, generando una mezcla con alto contenido de finos, provocando segregación en la misma.

Respecto a los diseños de las mezclas de prueba realizados para obtener las propiedades físico-mecánicas solicitadas por la empresa, se realizaron ajustes a la cantidad de agua de mezcla, ajustando las proporciones de los aditivos de PROTEX respecto a los diseños con los que contaba la empresa, obteniendo relaciones agua/cemento de: 0.66 para la resistencia de diseño de 210 kg/cm², 0.64 para la resistencia de diseño de 240 kg/cm² y 0.56 para la resistencia de diseño de 300 kg/cm². Aunque se realizaron las mezclas de prueba con diferentes casas de aditivos, las relaciones agua/cemento se mantuvieron en cada mezcla de prueba y únicamente se varió el porcentaje de aditivo para obtener la trabajabilidad solicitada por la empresa.

En la tabla 37 se presenta los resultados de los porcentajes utilizados de cada uno de los aditivos de las casas de BASF, SIKA y PROTEX, para cada resistencia de diseño realizada, para que cumpla con los requerimientos solicitados por la empresa.

Tabla 37. Porcentajes de los aditivos de BASF, SIKA y PROTEX, que proporcionan los requerimientos solicitados por la empresa.

Resistencia de diseño 210 kg/cm ²			
Nombre del aditivo	Casa del aditivo	Descripción	Porcentaje
MegaKrete R5	PROTEX	Plastificante	0.80%
ProKrete R	PROTEX	Retardante	0.80%
Sika ViscoFlow - 55	SIKA	Plastificante	0.70%
Plastiment TM 42	SIKA	Retardante	0.35%
MasterGlenium 7954	BASF	Plastificante	0.40%
MasterPolyheed 939	BASF	Retardante	0.38%
Resistencia de diseño 240 kg/cm ²			
Nombre del aditivo	Casa del aditivo	Descripción	Porcentaje
MegaKrete R5	PROTEX	Plastificante	0.60%
ProKrete R	PROTEX	Retardante	0.80%
Sika ViscoFlow - 55	SIKA	Plastificante	0.60%
Plastiment TM 42	SIKA	Retardante	0.45%
MasterGlenium 7954	BASF	Plastificante	0.38%
MasterPolyheed 939	BASF	Retardante	0.35%
Resistencia de diseño 300 kg/cm ²			
Nombre del aditivo	Casa del aditivo	Descripción	Porcentaje
MegaKrete R5	PROTEX	Plastificante	0.55%
ProKrete R	PROTEX	Retardante	0.80%
Sika ViscoFlow - 55	SIKA	Plastificante	0.70%
Plastiment TM 42	SIKA	Retardante	0.30%
MasterGlenium 7954	BASF	Plastificante	0.34%
MasterPolyheed 939	BASF	Retardante	0.35%

Así también, en la tabla 38, se presentan las dosificaciones finales de cada una de las resistencias de diseño realizadas con las diferentes casas de aditivos.

Tabla 38. Dosificaciones finales para las resistencias de diseño comerciales.

Resistencia de diseño	Relación A/C							
	Material	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Plastificante (kg)	Retardante (kg)	Aire (%)
210 kg/cm ²	PROTEX HC	276.0	181.0	1016.7	831.8	1.10	0.83	2.0%
	BASF	276.0	181.0	1016.3	831.5	1.10	1.05	2.0%
	SIKA	276.0	181.0	1015.3	830.7	1.93	0.97	2.0%
	PROTEX	276.0	181.0	1013.8	829.5	2.21	2.21	2.0%



		Relación A/C						
		0.64						
Resistencia de diseño 240 kg/cm ²	Material	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Plastificante (kg)	Retardante (kg)	Aire (%)
	PROTEX HC	283.0	181.0	1013.3	829.0	1.13	0.85	2.0%
	BASF	283.0	181.0	1013.0	828.8	1.08	0.99	2.0%
	SIKA	283.0	181.0	1011.9	827.9	1.70	1.27	2.0%
	PROTEX	283.0	181.0	1011.0	827.2	1.70	2.26	2.0%
		Relación A/C						
		0.56						
Resistencia de diseño 300 kg/cm ²	Material	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Plastificante (kg)	Retardante (kg)	Aire (%)
	PROTEX HC	331.0	186.0	982.7	804.0	1.32	0.99	2.0%
	BASF	331.0	186.0	982.5	803.9	1.13	1.16	2.0%
	SIKA	331.0	186.0	981.2	802.8	2.32	0.99	2.0%
	PROTEX	331.0	186.0	980.2	802.0	1.82	2.65	2.0%

4.2. Pérdida de trabajabilidad

La intención de realizar el ensayo, es para evaluar la pérdida de trabajabilidad de las mezclas de hormigón con el paso del tiempo, se realizó el ensayo para cada uno de los diseños con los aditivos de las casas de PROTEX, SIKA y BASF.

Son varios los factores que influyen en la pérdida de trabajabilidad, sin embargo, los principales son: docilidad inicial, cantidad de cemento, cantidad de agua y cantidad de aditivo retardante. Además de estos, existen también factores ambientales tales como: temperatura, humedad y velocidad del viento. Se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos que tuvieron un comportamiento aceptable respecto a los requerimientos dados por la empresa, en un periodo de dos horas.

4.2.1. Pérdida de trabajabilidad de los diseños con el aditivo PROTEX para el porcentaje de aditivo utilizado por la empresa.

Para determinar el comportamiento que presentan los diseños de hormigón comerciales de la empresa Hormi Center Cia. Ltda. se rediseñaron los mismos con el porcentaje de aditivo utilizado por la empresa.

Cada diseño se realizó con un porcentaje de 0.40 % de aditivo MegaKrete y con un porcentaje de 0.30 % de aditivo ProKrete de la casa PROTEX. En la tabla 39 se presentan los asentamientos obtenidos en un periodo de dos horas y, además, en la figura 37 la representación gráfica de la pérdida de trabajabilidad.

Tabla 39. Pérdida de asentamiento de los diseños realizados con la casa de aditivos PROTEX.

Tiempo transcurrido (minutos)			0	30	60	90	120
Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Cantidad de cemento (kg)	Cantidad de agua (kg)	Lectura (mm)	Lectura (mm)	Lectura (mm)	Lectura (mm)	Lectura (mm)
210	276	181	225	130	70	45	25
240	283	181	210	175	110	70	40
300	331	186	210	185	165	100	75

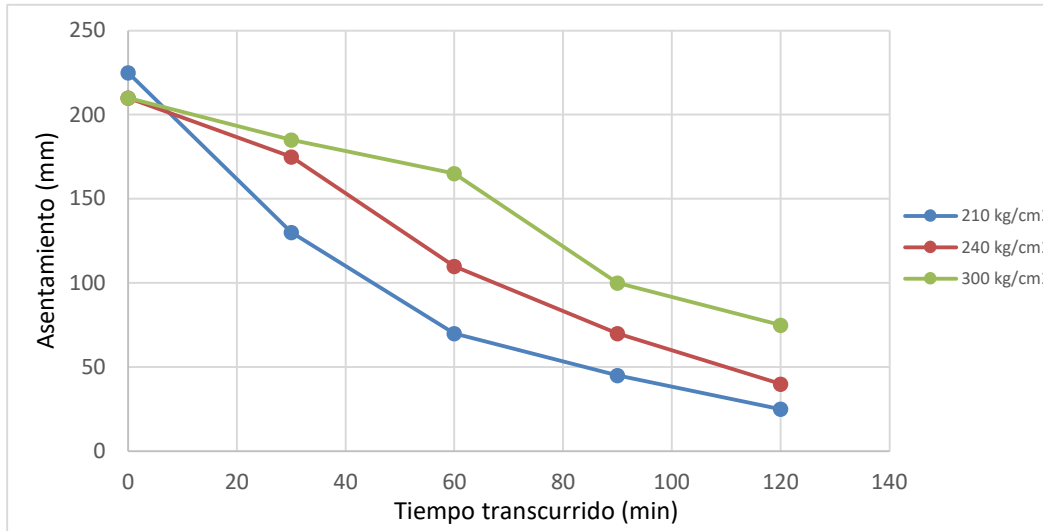


Figura 37. Representación gráfica de la pérdida de asentamiento de los diseños realizados con la casa PROTEX.

En la figura 37 se muestra que el retardante de la casa PROTEX no mantiene la trabajabilidad del hormigón durante dos horas con el porcentaje que se está usando, aunque cuando se utiliza mayor cantidad de cemento, como es el caso de la resistencia de diseño de 300 kg/cm² mejora el comportamiento del aditivo en la mezcla de hormigón, sin embargo, no lo suficiente para cumplir los requerimientos solicitados por la empresa.

4.2.2. Comparación de la pérdida de trabajabilidad entre los aditivos de las diferentes casas para una misma resistencia de diseño.

De cada casa de aditivos utilizada, se obtiene el diseño que presentó la trabajabilidad solicitada por la empresa para una resistencia de diseño de 210 kg/cm². En la tabla 40 se presentan los porcentajes de cada aditivo y los asentamientos obtenidos en un periodo de dos horas, en conjunto con el resultado de los asentamientos con los porcentajes de aditivos que utiliza la empresa, que son 0.40 % de MegaKrete y 0.30 % de ProKrete, aditivos de la casa PROTEX.

Tabla 40. Comparación de la pérdida de trabajabilidad para una resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Relación A/C		0.66							
Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA		PROTEX		
Porcentaje de aditivo	MegaKrete R5	0.80%	MasterGlenium 7954	0.40%	Sika ViscoFlow-55	0.70%	MegaKrete R5	0.40%	
	ProKrete R	0.80%	MasterPolyheed 939	0.38%	Plastiment TM 42	0.35%	ProKrete R	0.30%	
	Δ Tiempo (min)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)
Asentamiento 1	0	11:40	220	11:20	210	12:49	225	15:06	225
Asentamiento 2	30	12:10	190	11:50	200	13:19	210	15:36	130
Asentamiento 3	60	12:40	175	12:20	195	13:49	200	16:06	70
Asentamiento 4	90	13:10	170	12:50	185	14:19	190	16:36	45
Asentamiento 5	120	13:40	170	13:20	175	14:49	175	17:06	25

También se presenta de forma gráfica en la figura 38 la comparación de la pérdida de asentamiento de casa diseño representando cuantitativamente en la tabla 40.

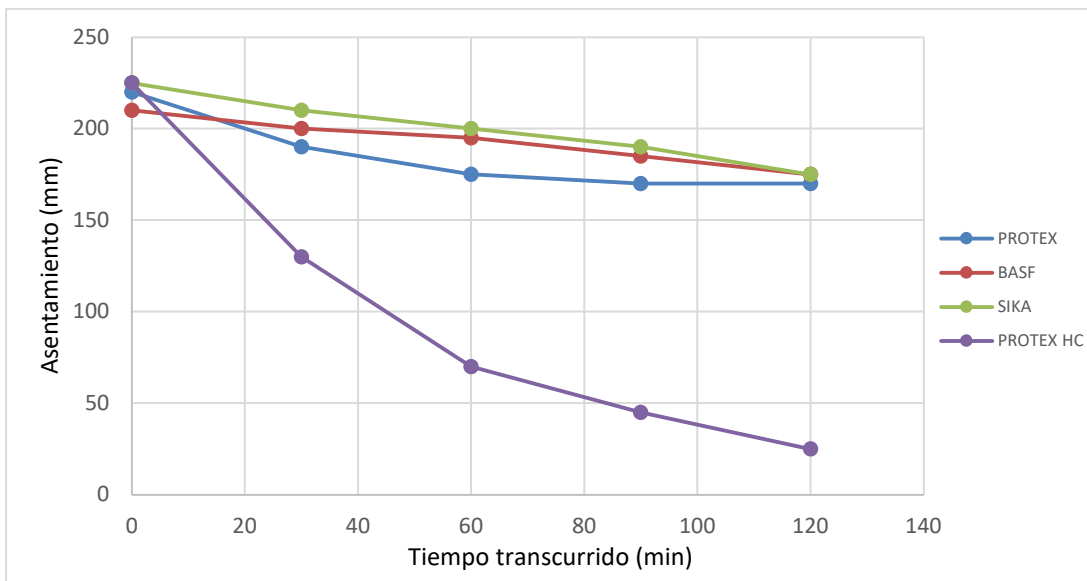


Figura 38. Representación gráfica de la pérdida de trabajabilidad para la resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Y finalmente en la tabla 41 se encuentra cuantitativamente una representación de los milímetros que pierde cada diseño en un periodo de dos horas.

Tabla 41. Pérdida de trabajabilidad en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA		PROTEX	
Porcentaje de aditivo	MegaKrete R5	0.80%	MasterGlenium 7954	0.40%	Sika ViscoFlow-55	0.70%	MegaKrete R5	0.40%

	ProKrete R	0.80%	MasterPolyheed 939	0.38%	Plastiment TM 42	0.35%	ProKrete R	0.30%
Asentamiento inicial (mm)	220		210		225		225	
Asentamiento final (mm)	170		175		175		25	
Diferencia (mm)	50		35		50		200	

Se ensayó con los aditivos de la casa PROTEX hasta obtener la trabajabilidad solicitada por la empresa en la mezcla de hormigón, se ensayó con el máximo porcentaje de retardante sugerido por la casa del aditivo, en este caso 0.80 %. Los aditivos de BASF y SIKA cumplen con los requisitos solicitados por la empresa para la pérdida de trabajabilidad y realizando el ajuste del porcentaje de retardante de PROTEX, también se cumple con el objetivo.

De igual forma, en la tabla 42 se presentan los resultados de los asentamientos de las mezclas de prueba para una resistencia de diseño de 240 kg/cm².

Tabla 42. Comparación de la pérdida de trabajabilidad para una resistencia de diseño de 240 kg/cm².

Relación A/C		0.64							
Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA		PROTEX		
Porcentaje de aditivo	MegaKrete R5	0.60%	MasterGlenium 7954	0.38%	Sika ViscoFlow-55	0.60%	MegaKrete R5	0.40%	
	ProKrete R	0.80%	MasterPolyheed 939	0.35%	Plastiment TM 42	0.45%	ProKrete R	0.30%	
	Δ Tiempo (min)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)
Asentamiento 1	0	12:25	220	13:05	220	12:10	220	12:55	210
Asentamiento 2	30	12:55	210	13:35	205	12:40	205	13:25	175
Asentamiento 3	60	13:25	190	14:05	190	13:10	190	13:55	110
Asentamiento 4	90	13:55	170	14:35	185	13:40	180	14:25	70
Asentamiento 5	120	14:25	165	15:05	170	14:10	170	14:55	40

También se presenta de forma gráfica en la figura 39 la comparación de la pérdida de asentamiento de casa diseño representando cuantitativamente en la tabla 42.

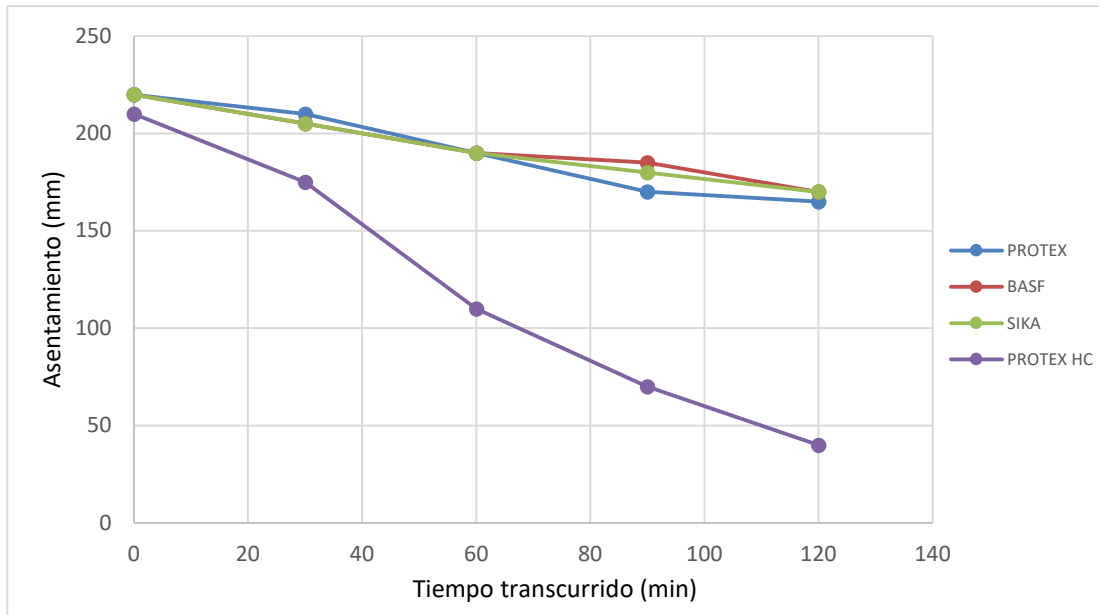


Figura 39. Representación gráfica de la pérdida de trabajabilidad para la resistencia de diseño de 240 kg/cm^2 .

Además, en la tabla 43 se encuentra cuantitativamente una representación de los milímetros que pierde cada diseño en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 240 kg/cm^2 .

Tabla 43. Pérdida de trabajabilidad en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 240 kg/cm^2 .

Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA		PROTEX	
Porcentaje de aditivo	MegaKrete R5	0.60%	MasterGlenium 7954	0.38%	Sika ViscoFlow-55	0.60%	MegaKrete R5	0.40%
	ProKrete R	0.80%	MasterPolyheed 939	0.35%	Plastiment TM 42	0.45%	ProKrete R	0.30%
Asentamiento inicial (mm)	220		220		220		210	
Asentamiento final (mm)	165		170		170		40	
Diferencia (mm)	55		50		50		170	

En cuanto a los resultados obtenidos para una resistencia de diseño de 240 kg/cm^2 , con las casas de aditivos BASF y SIKA, se cumplen los requerimientos solicitados por la empresa para la pérdida de trabajabilidad y de igual forma que para el diseño de 210 kg/cm^2 , ajustando el porcentaje de retardante al máximo sugerido por la casa PROTEX también cumple con este requerimiento.

Finalmente, en la tabla 44 se presentan los resultados de los asentamientos de las mezclas de prueba para una resistencia de diseño de 300 kg/cm² con la utilización de los aditivos de PROTEX, BASF y SIKA.

Tabla 44. Comparación de la pérdida de trabajabilidad para una resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Relación A/C		0.56							
Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA		PROTEX		
Porcentaje de aditivo	MegaKrete R5	0.55%	MasterGlenium 7954	0.34%	Sika ViscoFlow-55	0.70%	MegaKrete R5	0.40%	
	ProKrete R	0.80%	MasterPolyheed 939	0.35%	Plastiment TM 42	0.30%	ProKrete R	0.30%	
	Δ Tiempo (min)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)	Hora	Lectura (mm)
Asentamiento 1	0	13:40	220	13:25	220	12:42	225	12:37	210
Asentamiento 2	30	14:10	210	13:55	210	13:12	210	13:07	185
Asentamiento 3	60	14:40	200	14:25	200	13:42	195	13:37	165
Asentamiento 4	90	15:10	190	14:55	190	14:12	190	14:07	100
Asentamiento 5	120	15:40	140	15:25	190	14:42	185	14:37	75

También se presenta de forma gráfica en la figura 40 la pérdida de asentamiento de cada diseño realizado respecto al diseño con los porcentajes de los aditivos de PROTEX que utiliza la empresa.

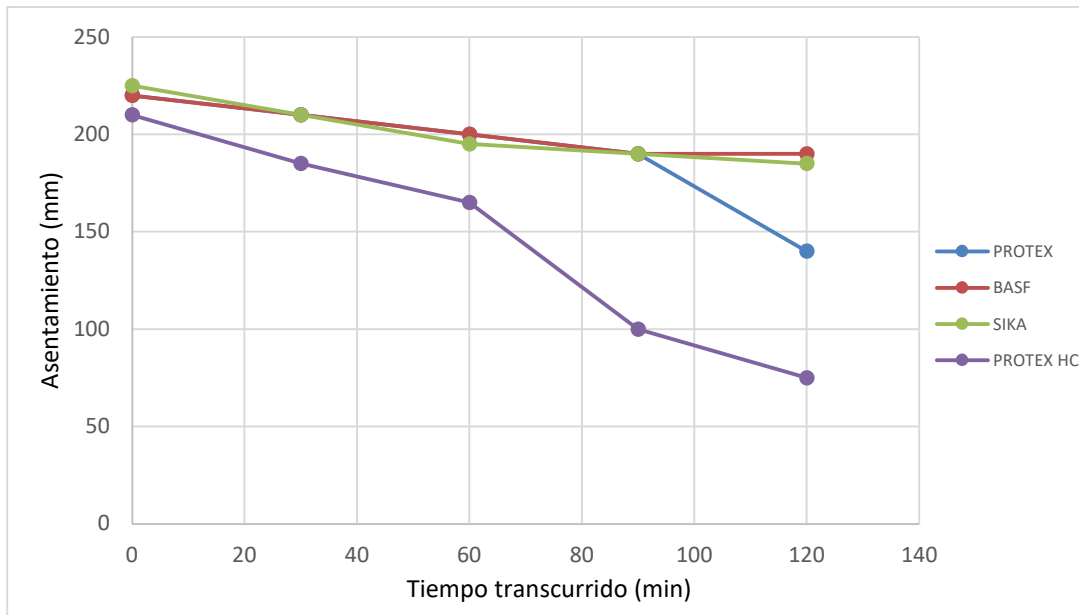


Figura 40. Representación gráfica de la pérdida de trabajabilidad para la resistencia de diseño de 300 kg/cm².

En la tabla 45 se encuentra cuantitativamente una representación de los milímetros que pierde cada diseño en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Tabla 45. Pérdida de trabajabilidad en un periodo de dos horas para la resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA		PROTEX	
Porcentaje de aditivo	MegaKrete R5	0.55%	MasterGlenium 7954	0.34%	Sika ViscoFlow-55	0.70%	MegaKrete R5	0.40%
	ProKrete R	0.80%	MasterPolyheed 939	0.35%	Plastiment TM 42	0.30%	ProKrete R	0.30%
Asentamiento inicial (mm)	220		220		225		210	
Asentamiento final (mm)	140		190		185		75	
Diferencia (mm)	80		30		40		135	

Análogamente, los diseños realizados para la resistencia de diseño de 300 kg/cm², cumplen con los requerimientos solicitados por la empresa, realizando los ajustes mencionados en las dos resistencias anteriores para el retardante de la casa PROTEX.

4.3. Resistencia a la compresión

En la tabla 46 se presentan las resistencias a compresión obtenidas para los diseños de hormigón con la casa de aditivo PROTEX con los porcentajes de aditivo que utiliza la empresa.

Tabla 46. Resistencias a la compresión con la casa de aditivo PROTEX y porcentajes utilizados por la empresa.

Relación A/C = 0.66		Resistencia 210 kg/cm ²		Casa de aditivo: PROTEX (HC)		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
22-abr-21	29-abr-21	7	2409.76	196.15	235.46	112%
22-abr-21	06-may-21	14	2370.68	243.57	292.39	139%
22-abr-21	20-may-21	28	2325.09	283.45	333.81	159%
		28	2353.78	274.52	329.53	157%
Promedio				278.99	331.67	158%
Relación A/C = 0.64		Resistencia 240 kg/cm ²		Casa de aditivo: PROTEX (HC)		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
11-may-21	18-may-21	7	2420.40	221.08	270.56	113%
11-may-21	25-may-21	14	2414.49	273.67	334.92	140%
11-may-21	08-jun-21	28	2431.95	313.37	383.51	160%



		28	2447.83	313.27	383.39	160%
Promedio				313.32	383.45	160%
Relación A/C = 0.56		Resistencia 300 kg/cm ²		Casa de aditivo: PROTEX (HC)		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
13-may-21	20-may-21	7	2411.00	247.72	303.16	101%
13-may-21	27-may-21	14	2431.20	284.91	348.68	116%
13-may-21	10-jun-21	28	2391.98	336.99	412.42	137%
		28	2407.43	345.23	422.50	141%
Promedio				341.11	417.46	139%

Al utilizar las cantidades de aditivo empleadas por la empresa de la casa PROTEX, las resistencias a compresión obtenidas a los 28 días de edad, exceden notablemente el valor de las resistencias de diseño, sin embargo, al no cumplir con la propiedad de trabajabilidad los diseños no son útiles para la empresa.

A continuación, en la tabla 47 se presentan los resultados de las resistencias a la compresión de las probetas elaboradas con aditivos de las casas PROTEX, BASF y SIKA para una resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Tabla 47. Resistencias a la compresión para la resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Relación A/C = 0.66		Resistencia 210 kg/cm ²		Casa de aditivo: PROTEX		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
11-may-21	18-may-21	7	2419.22	202.31	247.59	118%
11-may-21	25-may-21	14	2418.12	244.57	299.30	143%
11-may-21	08-jun-21	28	2402.68	260.28	318.53	152%
		28	2439.11	287.23	351.52	167%
Promedio				273.76	335.03	160%
Relación A/C = 0.66		Resistencia 210 kg/cm ²		Casa de aditivo: BASF		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
11-may-21	18-may-21	7	2370.52	177.60	213.19	102%
11-may-21	25-may-21	14	2383.75	205.97	252.07	120%
11-may-21	08-jun-21	28	2390.25	240.44	294.25	140%
		28	2398.53	243.41	297.89	142%
Promedio				241.92	296.07	141%
Relación A/C = 0.66		Resistencia 210 kg/cm ²		Casa de aditivo: SIKA		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
22-abr-21	29-abr-21	7	2378.53	162.12	202.31	96%

22-abr-21	06-may-21	14	2344.45	203.95	249.60	119%
22-abr-21	20-may-21	28	2332.22	243.85	292.72	139%
		28	2373.44	238.12	297.16	142%
Promedio				240.99	294.94	140%

Además, en la figura 41 se muestra el aumento de la resistencia a la compresión, respecto al paso del tiempo en días de cada diseño con las diferentes casas de aditivos empleadas.

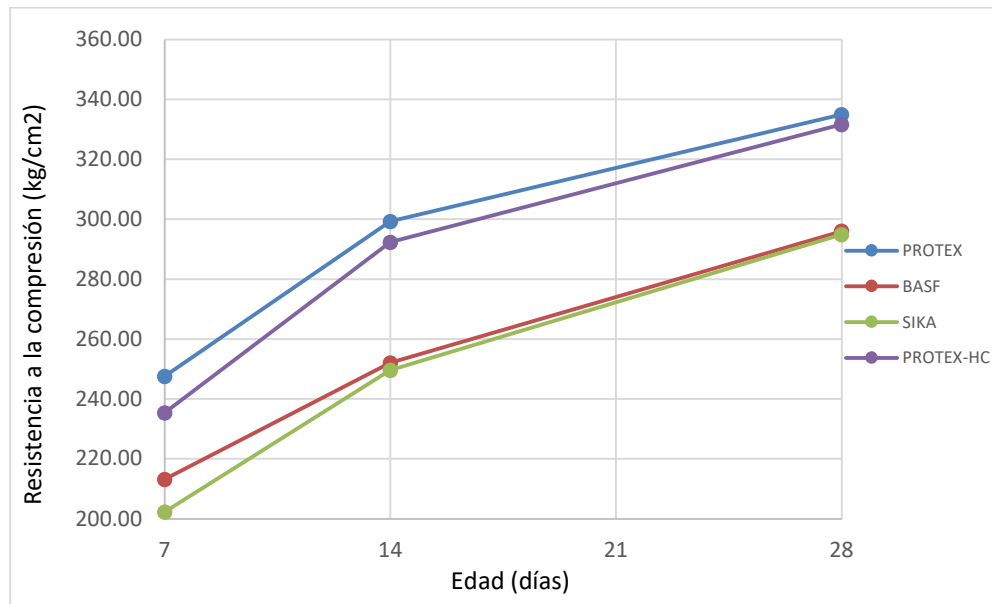


Figura 41. Comparación de la resistencia a la compresión para la resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Como se observa en la figura 41, los diseños realizados con la casa PROTEX presentan resistencias superiores a comparación de los diseños realizados con las casas de BASF y SIKA, esto se debe principalmente a la presencia de una película de agua en la parte superior de las probetas elaboradas, porque al evaporarse el agua afecta a la relación agua/cemento, aumentando significativamente la resistencia a la compresión del hormigón en todas las edades. Además, al aumentar el porcentaje de retardante ProKrete R, las probetas elaboradas se desmoldaron a las 48 horas, presentando la apariencia que se puede ver en la figura 42.



Figura 42. Probetas porosas desmoldadas a las 48 horas.

En la tabla 48 análogamente, se muestra los resultados de las probetas elaboradas para una resistencia de diseño de 240 kg/cm².

Tabla 48. Resistencias a la compresión para la resistencia de diseño de 240 kg/cm².

Relación A/C = 0.64		Resistencia 240 kg/cm ²		Casa de aditivo: PROTEx		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
13-may-21	20-may-21	7	2399.11	182.46	223.29	93%
13-may-21	27-may-21	14	2444.64	242.18	296.38	123%
13-may-21	10-jun-21	28	2426.44	265.39	324.79	135%
		28	2424.78	258.77	316.68	132%
Promedio				262.08	320.74	134%
Relación A/C = 0.64		Resistencia 240 kg/cm ²		Casa de aditivo: BASF		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
27-abr-21	04-may-21	7	2387.82	167.12	204.53	85%
27-abr-21	11-may-21	14	2371.78	226.60	277.32	116%
27-abr-21	25-may-21	28	2417.45	261.61	326.47	136%
		28	2362.48	272.68	327.32	136%
Promedio				267.14	326.90	136%
Relación A/C = 0.64		Resistencia 240 kg/cm ²		Casa de aditivo: SIKa		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
13-may-21	20-may-21	7	2384.34	178.01	217.85	91%
13-may-21	27-may-21	14	2371.19	219.64	268.80	112%
13-may-21	11-jun-21	28	2358.92	258.04	315.80	132%
		28	2339.79	254.56	305.58	127%
Promedio				256.30	310.69	129%

De igual manera, en la figura 43 se muestra el aumento de la resistencia a la compresión, respecto al paso del tiempo en días, en comparación con el diseño que utiliza el porcentaje de aditivo actualmente empleado por la empresa.

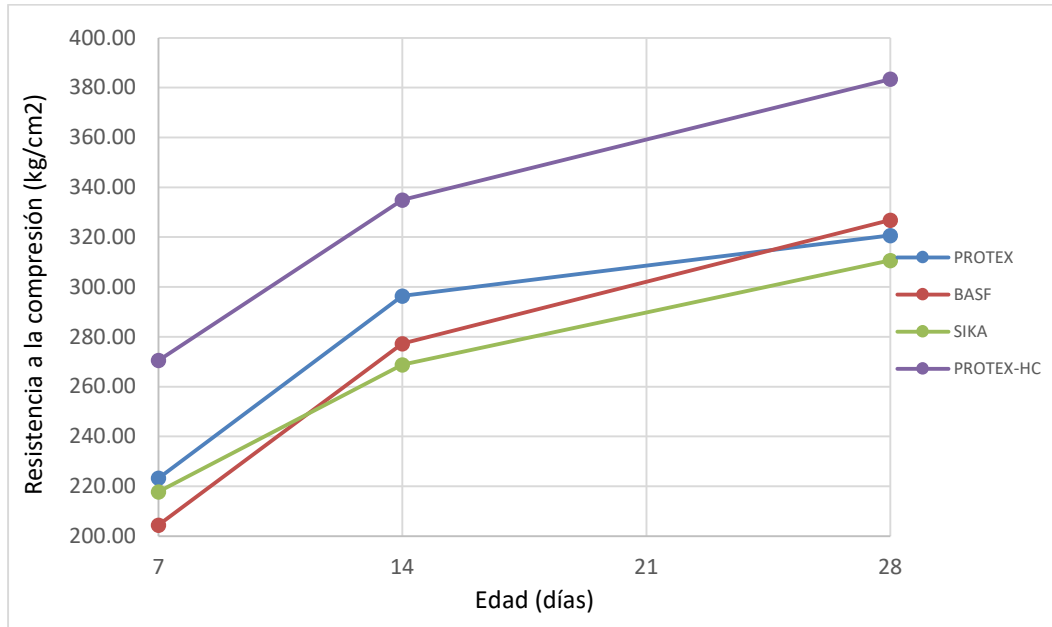


Figura 43. Comparación de la resistencia a la compresión para la resistencia de diseño de 240 kg/cm².

De igual manera, que para la resistencia de diseño de 210 kg/cm², las probetas elaboradas con los aditivos de la casa PROTEX presentan resistencias excesivamente mayores a las obtenidas con las otras casas de aditivos.

Semejante al procedimiento anterior, en la tabla 49 se muestra los resultados de las probetas elaboradas para una resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Tabla 49. Resistencias a la compresión para la resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Relación A/C = 0.56		Resistencia 300 kg/cm ²		Casa de aditivo: PROTEX		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)
06-may-21	13-may-21	7	2383.75	237.90	291.14	97%
06-may-21	20-may-21	14	2347.30	264.69	317.73	106%
06-may-21	03-jun-21	28	2386.84	324.57	389.61	130%
		28	2381.97	325.41	398.24	133%
Promedio				324.99	393.92	131%
Relación A/C = 0.56		Resistencia 300 kg/cm ²		Casa de aditivo: BASF		
		Edad		Carga	Resistencia	

Fecha muestreo	Fecha ensayo	(días)	Densidad (kg/m ³)	(kN)	(kg/cm ²)	(%)
06-may-21	13-may-21	7	2382.49	249.08	310.83	104%
06-may-21	20-may-21	14	2351.45	293.79	352.66	118%
06-may-21	03-jun-21	28	2416.34	329.77	403.57	135%
		28	2409.76	338.76	414.58	138%
Promedio				334.26	409.08	136%
Relación A/C = 0.56		Resistencia 300 kg/cm ²		Casa de aditivo: SIKA		
Fecha muestreo	Fecha ensayo	Edad (días)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	(%)
06-may-21	13-may-21	7	2363.51	264.91	311.96	104%
06-may-21	20-may-21	14	2328.27	302.38	362.98	121%
06-may-21	03-jun-21	28	2372.51	309.63	378.94	126%
		28	2367.94	335.50	410.59	137%
Promedio				322.57	394.76	132%

Para el diseño de 300 kg/cm² se muestra en la figura 44 el aumento de la resistencia a la compresión en el paso del tiempo de cada diseño realizado empleando los aditivos de las diferentes casas.

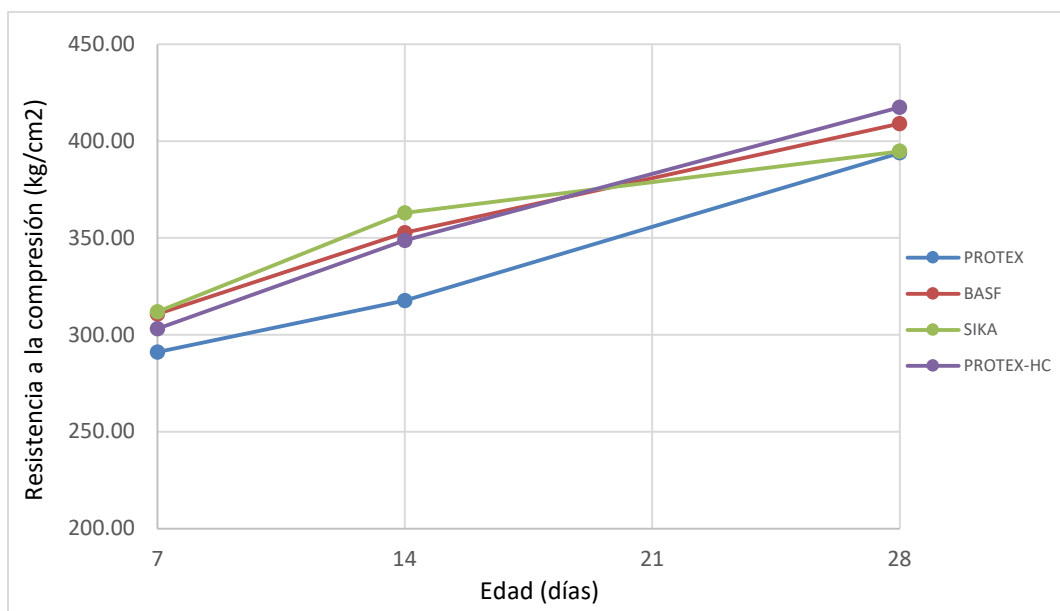


Figura 44. Comparación de la resistencia a la compresión para la resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Aunque para las resistencias de diseño de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² se veía una notable diferencia en las resistencias a compresión obtenidas con la casa PROTEX y las otras casas de aditivos, en la figura 44 se puede ver que las resistencias a compresión obtenidas

con cada casa de aditivos a los 28 días de edad no tienen una diferencia excesivamente notable.

4.4. Tiempos de fraguado

En la tabla 50 se muestran los resultados del ensayo de tiempos de fraguado, además, se presenta si los mismos se obtuvieron de forma computarizada o por medio del ploteo manual.

Tabla 50. Tiempos de fraguado inicial y final para las resistencias de diseño de 210, 240 y 300 kg/cm².

Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Diseño	Tiempo de fraguado inicial	Variación	Tiempo de fraguado final	Variación	Intervalo de tiempo de fraguado inicial-final	Método de ploteo
210	PROTEX-HC	7:05:00		9:20:00		2:15:00	Manual
	BASF	8:37:00	1:32:00	11:20:00	2:00:00	2:43:00	Manual
	SIKA	9:02:00	1:57:00	11:01:00	1:41:00	1:59:00	Manual
	PROTEX	26:42:00	19:37:00	32:01:00	22:41:00	5:19:00	Manual
240	PROTEX-HC	7:45:00		10:02:00		2:17:00	Manual
	BASF	10:21:00	2:36:00	13:31:00	3:29:00	3:10:00	Automático
	SIKA	9:59:00	2:14:00	13:43:00	3:41:00	3:44:00	Automático
	PROTEX	21:07:00	13:22:00	25:03:00	15:01:00	3:56:00	Manual
300	PROTEX-HC	10:29:00		12:28:00		1:59:00	Automático
	BASF	12:59:00	2:30:00	15:16:00	2:48:00	2:17:00	Automático
	SIKA	13:21:00	2:52:00	15:58:00	3:30:00	2:37:00	Automático
	PROTEX	29:05:00	18:36:00	34:25:00	21:57:00	5:20:00	Manual

4.5. Relación entre asentamiento y tiempos de fraguado

Para encontrar una relación entre la pérdida de asentamiento y los tiempos de fraguado, en la tabla 51 se presentan como ejemplo los diseños realizados con la casa de aditivos PROTEX de tal forma que cumpla con los requisitos de trabajabilidad y resistencia solicitados por la empresa Hormi Center, además, en la tabla se presenta la ecuación de ajuste exponencial para extrapolar los valores de resistencia a la penetración en el periodo de tiempo que fueron tomadas las lecturas para la pérdida de asentamiento (dos horas cada treinta minutos), de cada una de las resistencias de diseño ensayadas.

Tabla 51. Relación entre asentamiento y tiempos de fraguado

Resistencia de diseño 210 kg/cm ²	Relación A/C	0.66
	Ecuación de ajuste exponencial	$y = 0.0306 e^{0.006x}$
	Porcentaje de aditivo	% MegaKrete R5 0.80%

		% ProKrete R					0.80%
	Tiempo transcurrido (minutos)	0	30	60	90	120	
	Asentamiento (mm)	220	190	175	170	170	
	Resistencia (PSI)	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	
Relación A/C		0.64					
Ecuación de ajuste exponencial		$y = 0.012 e^{0.0084x}$					
Resistencia de diseño 240 kg/cm ²	Porcentaje de aditivo	% MegaKrete R5					0.60%
		% ProKrete R					0.80%
	Tiempo transcurrido (minutos)	0	30	60	90	120	
	Asentamiento (mm)	220	210	190	170	165	
	Resistencia (PSI)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	
Relación A/C		0.56					
Ecuación de ajuste exponencial		$y = 0.3811 e^{0.0044x}$					
Resistencia de diseño 300 kg/cm ²	Porcentaje de aditivo	% MegaKrete R5					0.60%
		% ProKrete R					0.80%
	Tiempo transcurrido (minutos)	0	30	60	90	120	
	Asentamiento (mm)	220	210	200	190	140	
	Resistencia (PSI)	0.38	0.43	0.50	0.57	0.65	

De forma gráfica se presenta en la figura 45 la relación del asentamiento con los tiempos de fraguado del hormigón para la resistencia de diseño de 210 kg/cm² presentada en la tabla 51.

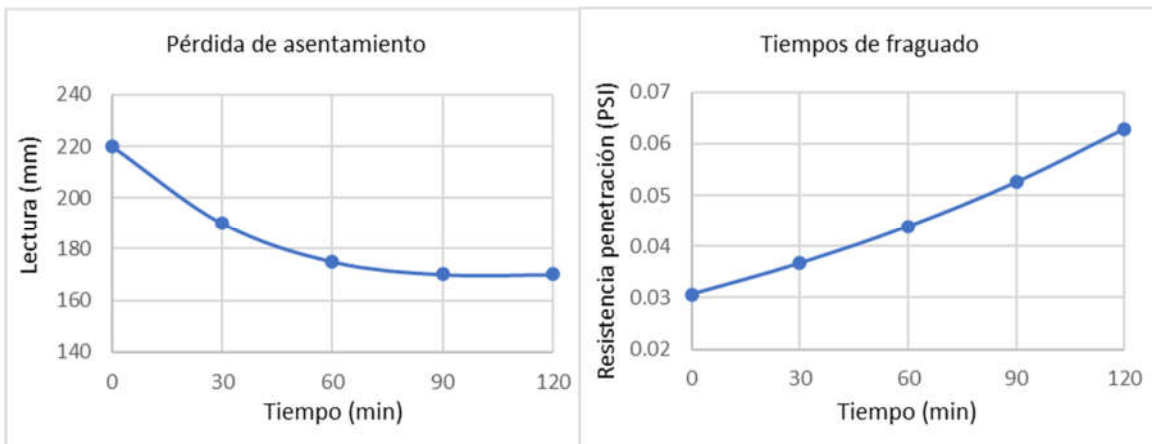


Figura 45. Pérdida de asentamiento vs tiempos de fraguado, resistencia de diseño 210 kg/cm².

De acuerdo a la figura 45, la relación que tienen el ensayo de asentamiento y el ensayo de tiempos de fraguado, es que mientras el hormigón pierde trabajabilidad adquiere resistencia a la penetración a pesar de ser mínima.

De acuerdo a la Guía Práctica para Plantas de Hormigón Premezclado GPE INEN 040:1993 los requisitos de cumplimiento que debe tener un hormigón para ser entregado en obra son: la trabajabilidad y la resistencia (INEN, 1993), sin embargo, es importante para la empresa Hormi Center que dentro de su control de calidad de los hormigones comerciales que producen, se realicen los ensayos de tiempo de fraguado para garantizar a sus clientes que el hormigón que se coloca en obra, al día siguiente de su colocación presente una resistencia adecuada, sin que se produzcan deformaciones con cargas pequeñas.

Como la trabajabilidad es uno de los requisitos que deben cumplir los hormigones premezclados antes de ser colocados en obra, se convierte en una variable relevante a comparación de los tiempos de fraguado inicial y final, porque además varía su valor de acuerdo al uso del hormigón y el tipo de colocación.

4.6. Peso unitario, rendimiento y porcentaje de aire del hormigón

Como parte de los ensayos realizados del hormigón en estado fresco, están: la densidad, el rendimiento y el contenido de aire, los resultados de los ensayos para una resistencia de diseño de 210 kg/cm² se presentan en la tabla 52.

Tabla 52. Peso unitario, rendimiento y porcentaje de aire para la resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Casa de aditivo	Relación A/C = 0.66		Resistencia de diseño = 210 kg/cm ²	
	PROTEX	BASF	SIKA	PROTEX-HC
Densidad teórica (kg/m ³)	2309.15	2306.89	2307.63	2306.66
Densidad real (kg/m ³)	2346.99	2397.47	2400.46	2411.97
Rendimiento (%)	98%	96%	96%	96%
Cantidad de aire (%)	2.50%	2.40%	2.20%	1.50%

Análogamente, en la tabla 53 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados para una resistencia de diseño de 240 kg/cm².

Tabla 53. Peso unitario, rendimiento y porcentaje de aire para la resistencia de diseño de 240 kg/cm².

Casa de aditivo	Relación A/C = 0.64		Resistencia de diseño = 240 kg/cm ²	
	PROTEX	BASF	SIKA	PROTEX-HC
Densidad teórica (kg/m ³)	2309.79	2307.89	2308.8	2307.81
Densidad real (kg/m ³)	2345.56	2352.67	2327.08	2381.11
Rendimiento (%)	98%	98%	99%	97%
Cantidad de aire (%)	3.00%	2.20%	2.40%	1.70%



Finalmente, en la tabla 54 se muestra los resultados para una resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Tabla 54. Peso unitario, rendimiento y porcentaje de aire para la resistencia de diseño de 300 kg/cm².

Casa de aditivo	Resistencia de diseño = 300 kg/cm ²			
	Relación A/C = 0.56			
	PROTEX	BASF	SIKA	PROTEX-HC
Densidad teórica (kg/m ³)	2307.89	2305.7	2306.73	2305.74
Densidad real (kg/m ³)	2345.56	2361.21	2398.18	2385.38
Rendimiento (%)	98%	98%	96%	97%
Cantidad de aire (%)	3.40%	3.00%	1.90%	2.20%

Con los ensayos realizados, se puede ver que el rendimiento de cada mezcla de hormigón, está entre el 96 % al 99 %. Así también se puede ver que el porcentaje de aire naturalmente atrapado está entre el 1.50 % al 3.40 %, que demuestra que el valor colocado para el diseño teórico de 2.00 % fue el adecuado, y que, a menor contenido de aire, mayor es el peso unitario del hormigón.

4.7. Costos de producción

El hormigón premezclado es la fuente de ingreso para la empresa Hormi Center, por lo tanto, el costo por metro cúbico de cada hormigón es indispensable para el crecimiento y el aumento de nivel competitivo.

Cada componente del hormigón tiene su costo unitario, los cuales son sumados para obtener el precio por metro cúbico total, cabe recalcar que el precio a ser considerado en este trabajo de titulación es el precio de producción sin considerar los valores indirectos (seguro, gasolina, etc).

Para la obtención de los precios unitarios en lo que respecta cada componente del hormigón excepto los aditivos, se solicitó esa información a la empresa Hormi Center, mientras que los precios unitarios de los aditivos se solicitaron a los proveedores de cada casa, información que fue favorable y obtenida en los dos casos.

En la tabla 55 se encuentra los precios unitarios de cada componente del hormigón.

Tabla 55. Precios unitarios de los componentes del hormigón.

Material	Precio Unitario (\$)	Unidad
Cemento Holcim HE	126.76	tn



Arena El Piedrero	5.00	m ³
Grava Vipesa	18.00	m ³
Agua	0.18	m ³
MegaKrete R5	1.25	kg
ProKrete R	1.20	kg
Sika ViscoFlow - 55	2.37	kg
Plastiment TM 42	0.97	kg
MasterGlenium 7954	2.30	kg
MasterPolyheed 939	1.25	kg
Transporte Cemento	16.25	tn
Transporte Arena	12.00	m ³
Transporte Grava	1.77	m ³

En la tabla 56 se presenta el precio por metro cúbico de los hormigones comerciales que producía la empresa Hormi Center con la casa de aditivos PROTEX.

Tabla 56. Precio total de producción de los hormigones comerciales de la empresa Hormi Center.

Diseño	PROTEX 210 kg/cm ²		PROTEX 240 kg/cm ²		PROTEX 300 kg/cm ²			
	Material	Precio Unitario (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)
Cemento	126.76	tn	276.00	34.99	283.00	35.87	331.00	41.96
Agua	0.18	m ³	181.00	0.03	181.00	0.03	186.00	0.03
Arena	5.00	m ³	1016.67	1.89	1013.26	1.89	982.66	1.83
Grava	18.00	m ³	831.82	5.83	829.03	5.81	804.00	5.64
MegaKrete R5	1.25	kg	1.10	1.38	1.13	1.42	1.32	1.66
ProKrete R	1.20	kg	0.83	0.99	0.85	1.02	0.99	1.19
Transporte cemento	16.25	tn	276.00	4.49	283.00	4.6	331.00	5.38
Transporte arena	12.00	m ³	1016.67	4.54	1013.26	4.52	982.66	4.39
Transporte grava	1.77	m ³	831.82	0.57	829.03	0.57	804.00	0.55
Precio total de producción (\$)				54.72		55.73		62.63

En las tablas 57, 58 y 59 se presenta el precio por metro cúbico de los hormigones comerciales desarrollados para el presente trabajo de titulación, de manera que cumplan las propiedades mecánicas de asentamiento y resistencia.

Tabla 57. Precio total de producción para los diseños de 210 kg/cm² de hormigones comerciales.

Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA	
Material	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)
Cemento	276.00	34.99	276.00	34.99	276.00	34.99
Agua	181.00	0.03	181.00	0.03	181.00	0.03
Arena	1013.81	1.89	1016.25	1.89	1015.27	1.89
Grava	829.48	5.82	831.48	5.83	830.68	5.83



Plastificante	2.21	2.76	1.10	2.54	1.93	4.58
Retardante	2.21	2.65	1.05	1.31	0.97	0.94
Transporte cemento	276.00	4.49	276.00	4.49	276.00	4.49
Transporte arena	1013.81	4.53	1016.25	4.54	1015.27	4.53
Transporte grava	829.48	0.57	831.48	0.57	830.68	0.57
Precio total de producción (\$)		57.72		56.19		57.84

Tabla 58. Precio total de producción para los diseños de 240 kg/cm² de hormigones comerciales.

Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA	
Material	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)
Cemento	283.00	35.87	283.00	35.87	283.00	35.87
Agua	181.00	0.03	181.00	0.03	181.00	0.03
Arena	1011.00	1.88	1013.00	1.88	1011.86	1.88
Grava	827.18	5.8	828.82	5.81	827.89	5.81
Plastificante	1.70	2.12	1.08	2.47	1.70	4.02
Retardante	2.26	2.72	0.99	1.24	1.27	1.24
Transporte cemento	283.00	4.6	283.00	4.6	283.00	4.6
Transporte arena	1011.00	4.51	1013.00	4.52	1011.86	4.52
Transporte grava	827.18	0.57	828.82	0.57	827.89	0.57
Precio total de producción (\$)		58.11		57.01		58.54

Tabla 59. Precio total de producción para los diseños de 300 kg/cm² de hormigones comerciales.

Casa de aditivo	PROTEX		BASF		SIKA	
Material	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)	Cantidad (kg)	Precio Total (\$)
Cemento	331.00	41.96	331.00	41.96	331.00	41.96
Agua	186.00	0.03	186.00	0.03	186.00	0.03
Arena	980.21	1.82	982.53	1.83	981.18	1.83
Grava	801.99	5.62	803.89	5.64	802.78	5.63
Plastificante	1.82	2.28	1.13	2.59	2.32	5.49
Retardante	2.65	3.18	1.16	1.45	0.99	0.96
Transporte cemento	331.00	5.38	331.00	5.38	331.00	5.38
Transporte arena	980.21	4.38	982.53	4.39	981.18	4.38
Transporte grava	801.99	0.55	803.89	0.55	802.78	0.55
Precio total de producción (\$)		65.20		63.81		66.21

En la figura 46 se encuentra representado en barras el precio por metro cúbico de los hormigones diseñados para este trabajo de titulación y los hormigones producidos en la empresa Hormi Center.

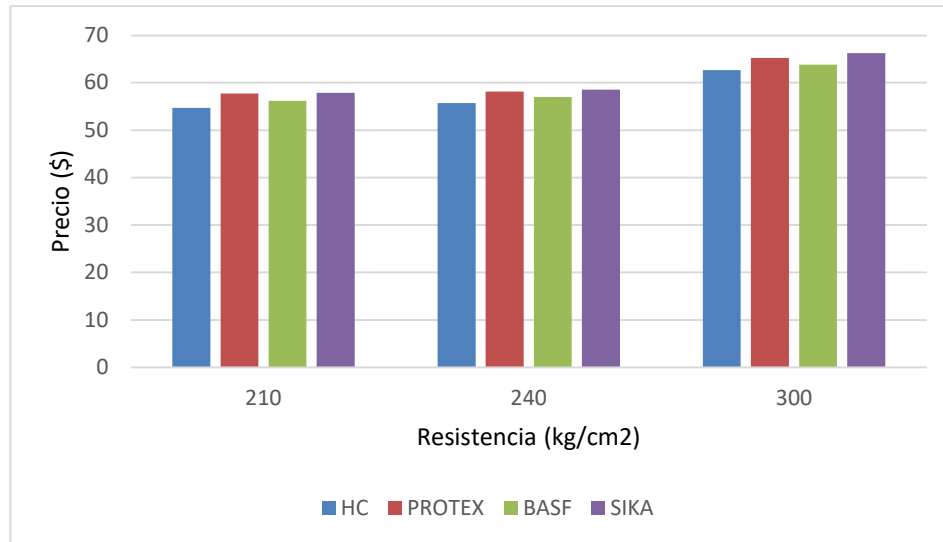


Figura 46. Comparación de los precios totales de los hormigones por metro cúbico.

Una vez obtenidos los costos por metro cúbico de hormigón, como se observa en la figura 35, los diseños realizados con la casa PROTEX y con el porcentaje de aditivos utilizado por la empresa son los que menor costo presentan, sin embargo, al no cumplir con las propiedades físico mecánicas solicitadas por la empresa, los diseños con la casa BASF además de ser los segundos más económicos, son los que cumplen con los requerimientos solicitados, siendo la mejor opción para la empresa Hormi Center.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se analizó la factibilidad de mejora y se logró una mejora en los hormigones propuestos para la producción en planta de la empresa Hormi Center.
- Se realizó la caracterización a los áridos empleados por la empresa Hormi Center, con la finalidad de brindar información para la base de datos de la misma, además, también para contar con datos reales para el proceso de diseño de hormigones. En el caso del árido fino, se realizó el análisis con el árido proveniente de la mina El Piedrero, de los ensayos realizados en el laboratorio, se determinó que el árido fino cumple con las especificaciones de la norma NTE INEN 872, requisitos necesarios para garantizar materiales adecuados y de buena calidad para la elaboración de la mayoría de los hormigones. Respecto al árido grueso, se realizaron los ensayos en



muestras de material proveniente de la mina VIPESA, al igual que el árido fino, cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 872. Las tablas 4 y 6 presentadas en el capítulo 3 demuestran lo expuesto anteriormente.

- La combinación correcta de los áridos que permitió cumplir con los límites de las gradaciones ideales de Fuller Thompson en función del tamaño máximo del árido, fueron 55 % de árido fino y 45 % de árido grueso, permitiendo obtener mezclas pastosas sin exceso de ninguno de los dos áridos empleados.
- En cuanto al diseño de las mezclas, se emplearon las recomendaciones del método ACI 211.1 para áridos de tamaño máximo nominal de 3/4" en conjunto con las recomendaciones del método de Fuller Thompson para determinar las proporciones de los áridos dentro de la mezcla del hormigón. Las cantidades de cemento utilizadas en los diseños presentados, fueron adoptadas de los diseños anteriormente utilizados en la empresa. La cantidad de agua fue controlada, realizando la determinación previa de la humedad natural del árido y para la realización de ajustes de humedad en cada una de las mezclas de prueba, además, se controló la cantidad de agua de mezcla hasta obtener el asentamiento inicial requerido por la empresa, con los porcentajes de aditivos de 0.30 % de ProKrete y 0.40 % de MegaKrete de la casa de aditivos PROTEX. Una vez obtenida la relación agua/cemento que presentó un asentamiento inicial adecuado y una resistencia superior a la resistencia de diseño con los aditivos de la casa PROTEX, no se variaron las relaciones agua/cemento de cada resistencia de diseño, sino sólo se varió los porcentajes de aditivos de BASF, SIKA y PROTEX hasta conseguir las propiedades físico-mecánicas solicitadas por la empresa.
- Para obtener las características solicitadas por la empresa en el hormigón en estado fresco y endurecido, se realizaron mezclas de prueba ajustando los porcentajes de aditivos de las diferentes casas, por medio del ensayo de prueba y error hasta obtener los resultados esperados. En la tabla 37 del capítulo 4 del presente trabajo, se presentan los porcentajes de cada aditivo utilizado para cada una de las resistencias de diseño realizadas. Los porcentajes de aditivos utilizados en los diseños de las mezclas varían de acuerdo a la resistencia de diseño, por esto, se disminuye el porcentaje de aditivo conforme aumenta la cantidad de cemento, debido a que el aditivo tiene una relación directa con la cantidad de cemento empleada. Además, en la tabla 38 del capítulo 4 se presentan las dosificaciones



finales para cada una de las resistencias de diseño analizadas y con las diferentes casas de aditivos de BASF, SIKA y PROTEX.

- Los asentamientos obtenidos en los diseños de las mezclas de hormigón con las casas de aditivos de BASF, SIKA y PROTEX presentan características muy trabajables y fluidas, manteniendo la trabajabilidad de 180 mm aproximadamente, en un periodo de dos horas, considerando a este como el tiempo de transporte hasta que el hormigón sea puesto en obra. La pérdida de trabajabilidad de los diseños finales obtenidos con el desarrollo del presente trabajo, es de 60 mm aproximadamente, a comparación con el diseño inicial con el que contaba la empresa, en donde la pérdida de trabajabilidad al concluir el periodo de dos horas fue de 200 mm, 170 mm y 135 mm para cada una de las resistencias de diseño analizadas respectivamente.
- En cuanto a los ensayos de rotura para determinar las resistencias a la compresión del hormigón, se realizaron en equipos debidamente calibrados, que presentaron resultados coherentes de acuerdo a los diseños realizados. Todos los diseños presentaron resistencias a la compresión a los 28 días de edad superiores a los valores dados en las resistencias de diseño, por lo tanto, se cumple de esta manera una de las propiedades físico mecánicas solicitadas por la empresa. De las mezclas realizadas para la resistencia de diseño de 210 kg/cm², a los 28 días se obtuvieron resistencias a la compresión superiores al 140% de la resistencia de diseño, así mismo para la resistencia de diseño de 240 kg/cm² se obtuvieron resistencias a la compresión mayores a 129% de la resistencia de diseño y análogamente para la resistencia de diseño de 300 kg/cm² se obtuvieron resistencias a la compresión superiores a 131% de la resistencia de diseño.
- Respecto a los ensayos de peso unitario, contenido de aire y rendimiento del hormigón, el peso unitario en todos los ensayos es superior a 2300 kg/m³, valor que clasifica al hormigón como convencional ya que se encuentra entre el rango de 2200 a 2400 kg/m³, a diferencia del hormigón ligero que no supera los 1900 kg/m³, y el hormigón pesado que tiene valores mayores a 2400 kg/m³, pero inferiores a 6000 kg/m³. El contenido de aire en promedio obtenido no supera el 3.0 % que es un valor que se encuentra en el rango del contenido de aire naturalmente atrapado que se utilizó en el diseño, y el rendimiento está entre 96 % a 99 %.



- Se realizó el ensayo de tiempo de fraguado, porque para obtener las características físico-mecánicas de resistencia y asentamiento con la casa de aditivos PROTEX, se empleó el porcentaje máximo de retardante sugerido en la ficha técnica del mismo y aunque se obtuvo la trabajabilidad solicitada por la empresa en un periodo de dos horas, se afectó la propiedad de fraguado, ya que las probetas no se desmoldaron a las 24 horas como las probetas elaboradas con los diseños en los que se empleó los aditivos de BASF y SIKA, sino se desmoldaron a más de 48 horas de ser elaboradas porque su superficie a las 24 horas aún estaba plástica. Para cada uno de los diseños en los que se empleó los aditivos de BASF y SIKA, la variación de tiempo de fraguado respecto al diseño con los porcentajes de aditivos utilizados inicialmente por la empresa no supera las cuatro horas, sin embargo, la variación respecto al diseño con la casa PROTEX utilizando el máximo porcentaje de retardante supera las 13 horas y en algunos diseños inclusive 22 horas, haciendo imposible la utilización de esos diseños, por lo tanto se descarta la opción de utilizar la casa de aditivos PROTEX para realizar los hormigones comerciales y se recomendó a la empresa cambiar de aditivo, para solucionar los problemas presentados en cuanto a la característica de trabajabilidad.
- Al obtener los costos de cada dosificación final por metro cúbico de hormigón, se pudo comparar de forma más clara los diseños, empleando las diferentes casas de aditivos, porque cada dosificación final cumple con las propiedades de resistencia y de trabajabilidad solicitada por la empresa, pero la casa de aditivos BASF es la que además de cumplir con los requerimientos solicitados por la empresa de mantener la trabajabilidad del hormigón en un periodo de dos horas, la resistencia a compresión en cada diseño comercial y de tener tiempos de fraguado finales en menos de 24 horas, también es la que presenta los menores costos en cada uno de los diseños, brindando la oportunidad de que la empresa cumpla con sus objetivos de brindar a los clientes excelente calidad en los hormigones a bajo costo. Para la resistencia de diseño de 210 kg/cm² utilizando los aditivos de PROTEX el precio total de producción es de \$57.72, mientras que al utilizar la casa de aditivos de BASF el precio total de producción disminuye \$1.53 respecto al obtenido con los aditivos de PROTEX, finalmente el precio total de producción con la casa de SIKA respecto al obtenido con la casa de PROTEX aumenta \$0.12. Para las demás resistencias de diseño, los precios totales de producción presentan un comportamiento similar.



- Se utilizó cemento tipo HE de la casa cementera HOLCIM, que fue obtenido sin ningún costo, además, fue entregado a los autores por medio de la empresa Hormi Center, ya que utiliza este cemento para la elaboración de sus hormigones, cabe indicar que no es posible adquirir dicho cemento en cantidades necesarias para realizar el trabajo de titulación, debido a que es comercializado únicamente en granel.

5.2. Recomendaciones

- Se debe tener presente que este trabajo se realizó con el cemento tipo HE de la casa cementera HOLCIM y con los áridos de las minas del Piedrero y de VIPESA, si se desea llevar los diseños obtenidos a otras condiciones, se debe hacer un análisis de los nuevos materiales a emplearse.
- Si se va a replicar los diseños obtenidos se deberá considerar el clima en donde se realizarán los diseños, ya que los mismos se realizaron en la ciudad de Azogues que generalmente presenta un clima nublado con temperaturas entre 10°C a 22°C, porque podrían variar las dosificaciones de los aditivos si se realiza en un clima diferente, aunque las variaciones de las proporciones de los áridos se pueden realizar en la hoja de cálculo entregada a la empresa en caso de ser necesario.
- Realizar los ensayos de los diseños teóricos bajo las mismas condiciones de mezclado con cada casa de aditivos, para futuras comparaciones.
- Respecto a la adición del aditivo a los camiones de mezclado de hormigón, se podría mejorar el proceso industrial del mismo, cambiando la adición directa por una adición diluida con anterioridad en el agua de mezclado.
- Se recomienda utilizar los aditivos de las casas BASF o SIKA para la producción de los hormigones en planta, porque están elaborados a base de Policarboxilatos y la tecnología empleada para su producción tiene un menor impacto ambiental que los elaborados a base de resinas sintéticas, que serviría notablemente en el futuro si es que la empresa procura conseguir certificaciones medioambientales.
- Constatar la combinación correcta de los áridos antes de someter a granel para que exista un correcto bombeo y evitar problemas de taponamiento en las tuberías.



REFERENCIAS

- ACI. (s. f.). *American Concrete Institute*. <https://www.concrete.org/>
- BASF Ecuatoriana S.A. (2020). *Ficha técnica, MasterGlenium 7954*.
- BASF-Master Builders Solutions Ecuador S.A. (2020). *Ficha técnica, MasterPolyheed 939*.
- COGUANOR. (2013). *Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017*.
- COGUANOR. (2015). *Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión*. <http://www.mineco.gob.gt>
- Crespo, J. (2018). *Estudio de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento Portland, empleando cementos y áridos comunes de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Giraldo Bolívar, O. (1987). *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón*.
- Holcim Ecuador S.A. (2015). *Holcim Premium. Cemento hidráulico tipo HE de alta resistencia inicial*.
- Induprotex. (2020a). *Ficha técnica, Prokrete R*. <https://www.protex.com.ec/reductores-de-agua-con-retardo/prokrete-r-2.html>
- Induprotex. (2020b). *Ficha técnica, MegaKrete R5*. <https://www.protex.com.ec/megakrete-r5-2.html>
- INEN. (1993). *Guía de práctica de Plantas de Hormigón Premezclado. Instituto Ecuatoriano de Normalización GPE INEN 040:1993*. www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2010a). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino. NTE INEN 856:2010. En *Instituto Ecuatoriano de Normalización (Primera, p. 15)*. www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2010b). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido grueso. NTE INEN 857:2010. En *Norma Técnica Ecuatoriana (Primera, p. 14)*. www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2010c). Áridos. Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. NTE INEN 858:2010. En *Norma Técnica Ecuatoriana (Primera, p. 11)*. www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2010d). Áridos. Muestreo. NTE INEN 695:2010. En *Instituto Ecuatoriano de Normalización (Primera)*. www.normalizacion.gob.ec



- INEN. (2010e). Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo. NTE INEN 2566:2010. En *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (Primera, p. 9). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2010f). Cemento hidráulico. Definición de términos. NTE INEN 151:2010. En *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (Primera, p. 9). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2010g). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. NTE INEN 1578:2010. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera, p. 12). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2010h). Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología. NTE INEN 694:2010. En *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (Primera, p. 11). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2011a). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso. NTE INEN 696:2011. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera, p. 9). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2011b). Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. NTE INEN 862:2011. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera, p. 8). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2011c). Áridos para hormigón. Requisitos. NTE INEN 872:2011. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera, p. 19). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2011d). Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. NTE INEN 2380:2011. En *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (Primera, p. 11). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2013a). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico). NTE INEN 1579:2013. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera, p. 9). <https://www.normalizacion.gob.ec>
- INEN. (2013b). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón. NTE INEN 2648:2013. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2015). Hormigón. Definiciones y terminología. NTE INEN 1762:2015. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera, p. 10). www.normalizacion.gob.ec
- INEN. (2017). Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio. NTE INEN 3124:2017. En *Norma Técnica Ecuatoriana* (Primera, p. 19). www.normalizacion.gob.ec



- Lemos Villarroel, V. (2010). *Propuesta de control de calidad para la fabricación del hormigón premezclado en central hormigonera, aplicando el concepto de trazabilidad e integración de proveedores y distribuidores.*
- López, J. (1972). *Los hormigones premezclados y los aditivos.* 12.
- Nistal, Á., Retana, M., & Ruiz, T. (2012). *El hormigón: Historia, Antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia.* 10, 16.
- Ochoa, R., & Flores, E. (1994, diciembre). *Química del cemento.* VIII(2), 8.
- Rubio, A. (2007). *Los aditivos del mundo de hormigón.* Universidad Politécnica de Catalunya.
- Safranez, C. (1970). *Características de los principales aditivos químicos para hormigones y morteros y su empleo en la construcción.* (Informes de la Construcción N.º 224; p. 27). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- Sánchez de Guzmán, D. (2002). *Tecnología del concreto y del mortero.* (Tercera). Bhandar Editores. <https://books.google.es/books?id=EWq-QPJhsRAC&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Sandoval, E. (2015). *Manual de procedimientos para el aprovechamiento de los desechos sólidos y aguas industriales en las plantas de concreto premezclado y su impacto en el ambiente.* Universidad de San Carlos de Guatemala.
- SIKA. (2016a). *Ficha técnica, Plastiment TM-42.*
- SIKA. (2016b). *Ficha técnica, Sika Viscoflow-55.*
- Visualizador de Estadísticas Empresariales.* (s. f.). Tableau Public. Recuperado 1 de enero de 2022, de <https://public.tableau.com/app/profile/instituto.nacional.de.estad.stica.y.censos.inec/.viz/VisualizadordeEstadisticasEmpresariales/Dportada>



ANEXO 1: Reportes de laboratorio

HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

NTE INEN 0856:2010 (ASTM C128)

INFORME N°: **TESIS 001**

FECHA DE ENSAYO: 25/3/2021

FECHA DE MUESTREO: 23/3/2021

SOLICITADO POR: Erika Briones - Paúl Mora

CLIENTE: Erika Briones - Paúl Mora

PROYECTO: Tesis

MINA: EL PIEDRERO

Resultado del Ensayo Aplicado

1	Masa del picnómetro vacío	152,00	g
2	Masa de la arena en SSS	500,00	g
3	Masa del picnómetro + arena en SSS + agua	963,00	g
4	Masa del picnómetro + 500ml	648,60	g
5	Volumen desalojado	33,83	cm ³
Peso Especifico del Agregado		2,69	g/cm³
		2690	kg/m³
1	Masa del agregado en Estado SSS	500,00	g
2	Masa del agregado seco al horno	491,00	g
Capacidad de Absorción		1,83	%

Observaciones: Los ensayos fueron realizados por los solicitantes en calidad de tesisistas contando con los instrumentos y personal perteneciente a laboratorio. Los resultados son responsabilidad de los tesisistas y el documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.



VALIDADO ELECTRONICAMENTE POR:
JOSELIN
SOFIA

Ing. Joselin García
Jefe de Laboratorio

Cisne) Telef: 2214-819 Cel.:0992764335/ 0992762058

E-mail: hormi-center@hotmail.com

**HORMI CENTER CIA LTDA**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**
NTE INEN 0857:2010 (ASTM C127)

INFORME N°: **TESIS 002**
 FECHA DE ENSAYO: **26/3/2021**
 FECHA DE MUESTREO: **24/3/2021**
 SOLICITADO POR: **Erika Briones - Paúl Mora**
 CLIENTE: **Erika Briones - Paúl Mora**
 PROYECTO: **Tesis**
 MINA: **VIPESA**

Resultados del Ensayo Aplicado

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO			
1	Masa del ripio en SSS	3000,00	g
2	Masa del agregado sumergido en agua	1833,00	g
3	Volumen desalojado	1167,00	cm ³
Peso Especifico del Agregado		2,57	g/cm³
		2570	kg/m³
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
1	Masa del agregado en Estado SSS	3000	g
2	Masa del agregado seco al horno	2955	g
Capacidad de Absorción		1,52	%

Observaciones: Los ensayos fueron realizados por los solicitantes en calidad de tesisistas contando con los instrumentos y personal perteneciente a laboratorio. Los resultados son responsabilidad de los tesisistas y el documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.



JOSELIN
SOPIA

Ing. Joselin García
Jefe de Laboratorio

Dirección: Vía rápida Azoguez-Cuenca (Sector el Cisne) Telef: 2214-819 Cel.:0992764335/ 0992762058
E-mail: hormi-center@hotmail.com


 NTE INEN 0156:2010 (ASTM C188)
 NTE INEN 0156:2010 (ASTM C188)

 INFORME N°: **TESIS 003**
 FECHA: 26/3/2021
 SOLICITADO POR: Erika Briones - Paúl Mora
 CLIENTE: Erika Briones - Paúl Mora
 PROYECTO: Tesis

DATOS GENERALES			
Marca:	Holcim	Fecha de Fabricación:	
Tipo:	HE	Fecha de ensayo:	
Temperatura:	18.0 °C		

Resultado del Ensayo Aplicado

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL FRASCO DE LECHATLIER			
1	Lectura inicial del frasco de Lechatelier + gasolina	0,40	cm ³
2	Masa del frasco + gasolina	285,75	g
3	Lectura final del frasco + cemento + gasolina	21,80	cm ³
4	Masa final del frasco + cemento + gasolina	350,08	g
Densidad del cemento		3,01	g/cm ³
		3006	Kg/m ³

Observaciones: Los ensayos fueron realizados por los solicitantes en calidad de tesistas contando con los instrumentos y personal perteneciente a laboratorio.
 Los resultados son responsabilidad de los tesistas y el documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.


 Ing. Joselin García
 Jefe De Laboratorio

 Dirección: Vía rápida Azogues-Cuenca (Sector el Cisne) Telf: 2214-819 Cel: 0992764335/0992762058
 E-mail: hormi-center@hotmail.com


DENSIDAD APARENTE DE LOS AGREGADOS
 NTE INEN 0858:2010 (ASTM C127)
INFORME N°: **TESIS 004**

FECHA DE MUESTREO: 29/3/2021

FECHA DE ENSAYO: 30/3/2021

SOLICITADO POR: Erika Briones - Paúl Mora

CLIENTE: Erika Briones - Paúl Mora

PROYECTO: Tesis

MINA (A. FINO): EL PIEDREROMINA (A. GRUESO): VIPESA**Resultado del Ensayo Aplicado**

AGREGADO FINO				
Masa del recipiente vacío		4734	g	
Volumen del recipiente vacío		2884	cm ³	
Densidad Aparente Suelta				
Masa del recipiente + agregado suelta				Masa unitaria
m1	m2	m3	Promedio	
9244	9317	9410	9323,67	1590 Kg/m ³
Densidad Aparente Compactada				
Masa del recipiente + agregado compactado				Masa unitaria
m1	m2	m3	Promedio	
9898	9954	9917	9923,00	1800 Kg/m ³

AGREGADO GRUESO				
Masa del recipiente vacío		8025	g	
Volumen del recipiente vacío		7312	cm ³	
Densidad Aparente Suelta				
Masa del recipiente + agregado suelta				Masa unitaria
m1	m2	m3	Promedio	
18430	18677	18543	18550,00	1440 Kg/m ³
18677				
Masa del recipiente + agregado compactado				Masa unitaria
m1	m2	m3	Promedio	
19587	19544	19467	19532,67	1570 Kg/m ³

Observaciones: Los ensayos fueron realizados por los solicitantes en calidad de tesisistas contando con los instrumentos y personal perteneciente a laboratorio.

Los resultados son responsabilidad de los tesisistas y el documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.


 JOSELIN
 BOPIA

 Ing. Joselin García
 Jefe de Laboratorio

Dirección: Vía rápida Azoguez-Cuenca (Sector el Cisne) Telef: 2214-819 Cel.:0992764335/ 0992762058

E-mail: hormi-center@hotmail.com

**ANEXO 2: Formularios de los diseños de mezcla sin aditivo****DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN (RESISTENCIA DE DISEÑO 210 kg/cm²)****1. DATOS DEL PROYECTO**

PROYECTO:	Trabajo de titulación para la obtención de título de Ingeniero Civil
UBICACIÓN:	Cuenca-Azogues
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez y Paul Mora Moscoso
REVISIÓN:	Universidad de Cuenca
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
MÉTODO DE DISEÑO:	ACI 211 Y FULLER THOMPSON

2. INFORMACIÓN PRELIMINAR:

TIPO DE ELEMENTO:	Hormigón
AIRE INCLUIDO:	No
MÉTODO DE FABRICACIÓN:	Dosificación en peso utilizando concretera
CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:	No
NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:	No
TIPO DE AGREGADO FINO:	Natural de río, redondeado
TIPO DE AGREGADO GRUESO:	Natural de río, triturado
RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:	210 kg/cm ²

3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

MATERIALES	NOMINACIÓN	PROCEDENCIA	% ABSORCIÓN	DENSIDAD (kg/m ³)	P.U.S.C (kg/m ³)	% HUMEDAD
Cemento	HE	HOLCIM		3006.10		
Agua		Río		1000.00		
Arena	El Piedrero	El Triunfo	1.80%	2687.23	1799.24	5.50%
Grava	Vipesa	Descanso	1.52%	2566.81	1573.81	1.00%
Plastificante	MegaKrete R5	PROTEX		1218		
Retardante	ProKrete R	PROTEX		1278		

4. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Consistencia de colocación	Asentamiento (mm)	Tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración

ASENTAMIENTO INICIAL DE DISEÑO: 220 a 230 mm

**5. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO**

$$TMA = \frac{3/4''}{19.10 \text{ mm}}$$

6. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Tamaño máximo nominal del agregado	Contenido de aire en porcentaje (por volumen)
mm	Naturalmente atrapado
19.10	2.00

7. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

$$Agua = 218.80 \left(\frac{\text{asentamiento}(mm)^{0.1}}{\text{tamaño máximo}(mm)^{0.18}} \right) = 221.00 \text{ kg/m}^3$$

8. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO (f'_{cr})

RESISTENCIA ESPECIFICADA (f'_c): 210.00 kg/cm²
 DESVIACIÓN ESTÁNDAR: 29.80 kg/cm²
 RESISTENCIA CRÍTICA (f'_{cr}): 250.0 kg/cm²

9. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

Solingral $f'_{cr} = \frac{985}{14.3^{A/C}} \text{ kg}$

U. Nal 1980 $f'_{cr} = \frac{605}{9.5^{A/C}} \text{ kg}$

U. Nal 1986 $f'_{cr} = \frac{552.69}{4.86^{A/C}} \text{ kg}$

RELACIÓN A/C ESCOGIDA (MAYOR): 0.52

10. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO

$$\text{Cemento (C)} = \frac{\text{Agua (A)}}{(A/C)} = \frac{221.00}{0.52} = 425.00 \text{ kg/m}^3$$

11. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN

$$V_{\text{cimento}} = \frac{\text{Cemento (C)}}{Y_{\text{cimento}}} = \frac{425.00}{3006.10} = 0.14 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

12. VOLUMEN DE LOS AGREGADOS (MÉTODO DE FULLER THOMPSON)
MÉTODO: MÓDULOS DE FINURA

ABERTURA TAMIZ	% PASA		CURVA DE FULLER
	ARENA	GRAVA	
3"	100.00	100.00	100.00
1 ½"	100.00	100.00	100.00
¾"	100.00	99.92	100.00
⅜"	100.00	25.34	70.65
No. 4	99.96	1.10	49.93
No. 8	86.70	0.00	35.35
No. 16	60.29	0.00	24.99
No. 30	37.32	0.00	17.60
No. 50	16.33	0.00	12.49
No. 100	4.56	0.00	8.84
M. finura	2.95	6.74	4.80

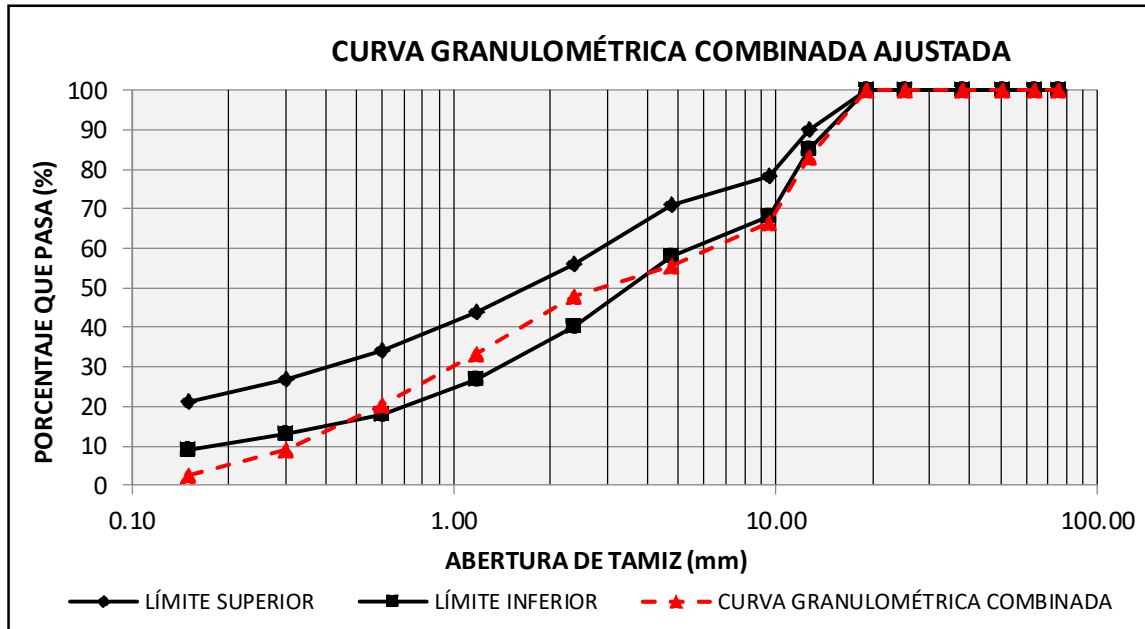
$$t_1 = 100 \times \frac{(MF_2 - MFF_2)}{(MF_2 - MF_1)}$$

$$t_2 = 100 - t_1$$

MÓDULO DE FINURA DEL ÁRIDO FINO (MF1) =	2.95
MÓDULO DE FINURA DEL ÁRIDO GRUESO (MF2) =	6.74
MÓDULO DE FINURA PARA LA CURVA DE FULLER CON EL TMA DE DISEÑO (MFF2) =	4.80
PORCENTAJE DEL ÁRIDO FINO (t1) =	51%
PORCENTAJE DEL ÁRIDO GRUESO (t2) =	49%

MÉTODO: GRÁFICO

ABERTURA TAMIZ		% PASA		CURVA COMBINADA	ESPECIFICACIÓN	
		ARENA	GRAVA		LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
pulg	mm	55%	45%			
3"	76.10	100.00	100.00	100.00	100	100
2 ½"	64.00	100.00	100.00	100.00	100	100
2"	50.80	100.00	100.00	100.00	100	100
1 ½"	38.10	100.00	100.00	100.00	100	100
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100
¾"	19.10	100.00	99.92	99.96	100	100
½"	12.70	100.00	62.25	83.01	90	85
⅜"	9.50	100.00	25.34	66.40	78	68
No. 4	4.76	99.96	1.10	55.47	71	58
No. 8	2.36	86.70	0.00	47.69	56	40
No. 16	1.18	60.29	0.00	33.16	44	27
No. 30	0.60	37.32	0.00	20.53	34	18
No. 50	0.30	16.33	0.00	8.98	27	13
No. 100	0.15	4.56	0.00	2.51	21	9



13. RESUMEN DE LAS CANTIDADES

A/C =		0.52	BATCH (m ³) =		0.02	
Material	Cantidad (kg)	Volumen (m ³)	Corrección humedad (kg)	Peso/m ³ de hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (g)
Cemento	425.00	0.14		425.00	8.50	8500.00
Agua	221.00	0.22	191.86	191.86	3.84	3837.22
Arena	889.87	0.33	938.81	938.81	18.78	18776.21
Grava	728.07	0.28	735.35	735.35	14.71	14707.09
Aire (%)	2.00	0.02				
Volumen de áridos (m³) =		0.62	Peso unitario=	2291.03	kg/m³	

**DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN (RESISTENCIA DE DISEÑO 240 kg/cm²)****1. DATOS DEL PROYECTO**

PROYECTO:	Trabajo de titulación para la obtención de título de Ingeniero Civil
UBICACIÓN:	Cuenca-Azogues
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez y Paul Mora Moscoso
REVISIÓN:	Universidad de Cuenca
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
MÉTODO DE DISEÑO:	ACI 211 Y FULLER THOMPSON

2. INFORMACIÓN PRELIMINAR:

TIPO DE ELEMENTO:	Hormigón
AIRE INCLUIDO:	No
MÉTODO DE FABRICACIÓN:	Dosificación en peso utilizando concretera
CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:	No
NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:	No
TIPO DE AGREGADO FINO:	Natural de río, redondeado
TIPO DE AGREGADO GRUESO:	Natural de río, triturado
RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE	240 kg/cm ²

3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

MATERIALES	NOMINACIÓN	PROCEDENCIA	% ABSORCIÓN	DENSIDAD (kg/m ³)	P.U.S.C (kg/m ³)	% HUMEDAD
Cemento	HE	HOLCIM		3006.10		
Agua		Río		1000.00		
Arena	El Piedrero	El Triunfo	1.80%	2687.23	1799.24	5.50%
Grava	Vipesa	Descanso	1.52%	2566.81	1573.81	1.00%
Plastificante	MegaKrete R5	PROTEX		1218		
Retardante	ProKrete R	PROTEX		1278		

4. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Consistencia de colocación	Asentamiento (mm)	Tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración

ASENTAMIENTO INICIAL DE DISEÑO: 220 a 230 mm

**5. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO**

$$\text{TMA} = \frac{3/4''}{19.10 \text{ mm}}$$

6. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Tamaño máximo nominal del agregado	Contenido de aire en porcentaje (por volumen)
mm	Naturalmente atrapado
19.10	2.00

7. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

$$\text{Agua} = 218.80 \left(\frac{\text{asentamiento}(mm)^{0.1}}{\text{tamaño máximo}(mm)^{0.18}} \right) = 221.00 \text{ kg/m}^3$$

8. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO (f'_{cr})

RESISTENCIA ESPECIFICADA (f'_c): 240.00 kg/cm²
 DESVIACIÓN ESTÁNDAR: 40.33 kg/cm²
 RESISTENCIA CRÍTICA (f'_{cr}): 299.0 kg/cm²

9. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

$$\text{Solingral } f'_{cr} = \frac{985}{14.3^{A/C}} \text{ kg}$$

$$\text{U. Nal 1980 } f'_{cr} = \frac{605}{9.5^{A/C}} \text{ kg}$$

$$\text{U. Nal 1986 } f'_{cr} = \frac{552.69}{4.86^{A/C}} \text{ kg}$$

RELACIÓN A/C ESCOGIDA (MAYOR): 0.45

10. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO

$$\text{Cemento (C)} = \frac{\text{Agua (A)}}{(A/C)} = \frac{221.00}{0.45} = 491.00 \text{ kg/m}^3$$

11. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN

$$\text{V}_{\text{cimento}} = \frac{\text{Cemento (C)}}{\gamma_{\text{cimento}}} = \frac{491.00}{3006.10} = 0.16 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

**12. VOLUMEN DE LOS AGREGADOS (MÉTODO DE FULLER THOMPSON)****MÉTODO: MÓDULOS DE FINURA**

ABERTURA TAMIZ	% PASA		CURVA DE FULLER
	ARENA	GRAVA	
3"	100.00	100.00	100.00
1 ½"	100.00	100.00	100.00
¾"	100.00	99.92	100.00
3/8"	100.00	25.34	70.65
No. 4	99.96	1.10	49.93
No. 8	86.70	0.00	35.35
No. 16	60.29	0.00	24.99
No. 30	37.32	0.00	17.60
No. 50	16.33	0.00	12.49
No. 100	4.56	0.00	8.84
M. finura	2.95	6.74	4.80

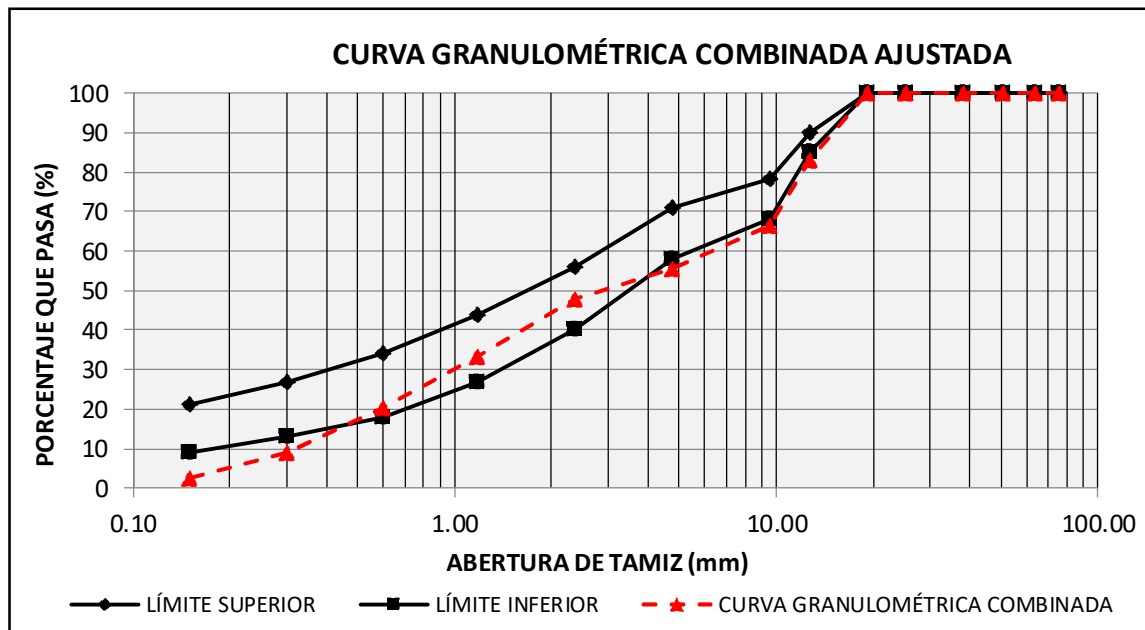
$$t_1 = 100 \times \frac{(MF_2 - MFF_2)}{(MF_2 - MF_1)}$$

$$t_2 = 100 - t_1$$

MÓDULO DE FINURA DEL ÁRIDO FINO (MF1) =	2.95
MÓDULO DE FINURA DEL ÁRIDO GRUESO (MF2) =	6.74
MÓDULO DE FINURA PARA LA CURVA DE FULLER CON EL TMA DE DISEÑO (MFF2) =	4.80
PORCENTAJE DEL ÁRIDO FINO (t1) =	51%
PORCENTAJE DEL ÁRIDO GRUESO (t2) =	49%

MÉTODO: GRÁFICO

ABERTURA TAMIZ		% PASA		CURVA COMBINADA	ESPECIFICACIÓN	
pulg	mm	ARENA	GRAVA		LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
		55%	45%			
3"	76.10	100.00	100.00	100.00	100	100
2 ½"	64.00	100.00	100.00	100.00	100	100
2"	50.80	100.00	100.00	100.00	100	100
1 ½"	38.10	100.00	100.00	100.00	100	100
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100
¾"	19.10	100.00	99.92	99.96	100	100
½"	12.70	100.00	62.25	83.01	90	85
3/8"	9.50	100.00	25.34	66.40	78	68
No. 4	4.76	99.96	1.10	55.47	71	58
No. 8	2.36	86.70	0.00	47.69	56	40
No. 16	1.18	60.29	0.00	33.16	44	27
No. 30	0.60	37.32	0.00	20.53	34	18
No. 50	0.30	16.33	0.00	8.98	27	13
No. 100	0.15	4.56	0.00	2.51	21	9



12. RESUMEN DE LAS CANTIDADES

A/C =		0.45	BATCH (m ³) =		0.02	
Material	Cantidad (kg)	Volumen (m ³)	Corrección humedad (kg)	Peso/m ³ de hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (g)
Cemento	491.00	0.16		491.00	9.82	9820.00
Agua	221.00	0.22	192.90	192.90	3.86	3857.93
Arena	858.23	0.32	905.44	905.44	18.11	18108.75
Grava	702.19	0.27	709.21	709.21	14.18	14184.28
Aire (%)	2.00	0.02				
Volumen de áridos (m³) =		0.60	Peso unitario=	2298.55	kg/m³	

**DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN (RESISTENCIA DE DISEÑO 300 kg/cm²)****1. DATOS DEL PROYECTO**

PROYECTO:	Trabajo de titulación para la obtención de título de Ingeniero Civil
UBICACIÓN:	Cuenca-Azogues
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez y Paul Mora Moscoso
REVISIÓN:	Universidad de Cuenca
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
MÉTODO DE DISEÑO:	ACI 211 Y FULLER THOMPSON

2. INFORMACIÓN PRELIMINAR:

TIPO DE ELEMENTO:	Hormigón
AIRE INCLUIDO:	No
MÉTODO DE FABRICACIÓN:	Dosificación en peso utilizando concretera
CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:	No
NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:	No
TIPO DE AGREGADO FINO:	Natural de río, redondeado
TIPO DE AGREGADO GRUESO:	Natural de río, triturado
RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE	300 kg/cm ²

3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

MATERIALES	NOMINACIÓN	PROCEDENCIA	% ABSORCIÓN	DENSIDAD (kg/m ³)	P.U.S.C (kg/m ³)	% HUMEDAD
Cemento	HE	HOLCIM		3006.10		
Agua		Río		1000.00		
Arena	El Piedrero	El Triunfo	1.80%	2687.23	1799.24	5.50%
Grava	Vipesa	Descanso	1.52%	2566.81	1573.81	1.00%
Plastificante	MegaKrete R5	PROTEX		1218		
Retardante	ProKrete R	PROTEX		1278		

4. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Consistencia de colocación	Asentamiento (mm)	Tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración

ASENTAMIENTO INICIAL DE DISEÑO: 220 a 230 mm

**5. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO**

$$\text{TMA} = \frac{3/4''}{19.10 \text{ mm}}$$

6. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Tamaño máximo nominal del agregado	Contenido de aire en porcentaje (por volumen)
mm	Naturalmente atrapado
19.10	2.00

7. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

$$\text{Agua} = 218.80 \left(\frac{\text{asentamiento}(mm)^{0.1}}{\text{tamaño máximo}(mm)^{0.18}} \right) = 221.00 \text{ kg/m}^3$$

8. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO (f'_{cr})

RESISTENCIA ESPECIFICADA (f'_c):	300.00 kg/cm ²
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	46.82 kg/cm ²
RESISTENCIA CRÍTICA (f'_{cr}):	374.0 kg/cm ²

9. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

$$\text{Solingral} \quad f'_{cr} = \frac{985}{14.3^{A/C}} \text{ kg}$$

$$\text{U. Nal 1980} \quad f'_{cr} = \frac{605}{9.5^{A/C}} \text{ kg}$$

$$\text{U. Nal 1986} \quad f'_{cr} = \frac{552.69}{4.86^{A/C}} \text{ kg}$$

RELACIÓN A/C ESCOGIDA (MAYOR): 0.36

10. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO

$$\text{Cemento (C)} = \frac{\text{Agua (A)}}{(A/C)} = \frac{221.00}{0.36} = 614.00 \text{ kg/m}^3$$

11. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN

$$V_{\text{cimento}} = \frac{\text{Cemento (C)}}{\gamma_{\text{cimento}}} = \frac{614.00}{3006.10} = 0.20 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

**12. VOLUMEN DE LOS AGREGADOS (MÉTODO DE FULLER THOMPSON)****MÉTODO: MÓDULOS DE FINURA**

ABERTURA TAMIZ	% PASA		CURVA DE FULLER
	ARENA	GRAVA	
3"	100.00	100.00	100.00
1 ½"	100.00	100.00	100.00
¾"	100.00	99.92	100.00
⅜"	100.00	25.34	70.65
No. 4	99.96	1.10	49.93
No. 8	86.70	0.00	35.35
No. 16	60.29	0.00	24.99
No. 30	37.32	0.00	17.60
No. 50	16.33	0.00	12.49
No. 100	4.56	0.00	8.84
M. finura	2.95	6.74	4.80

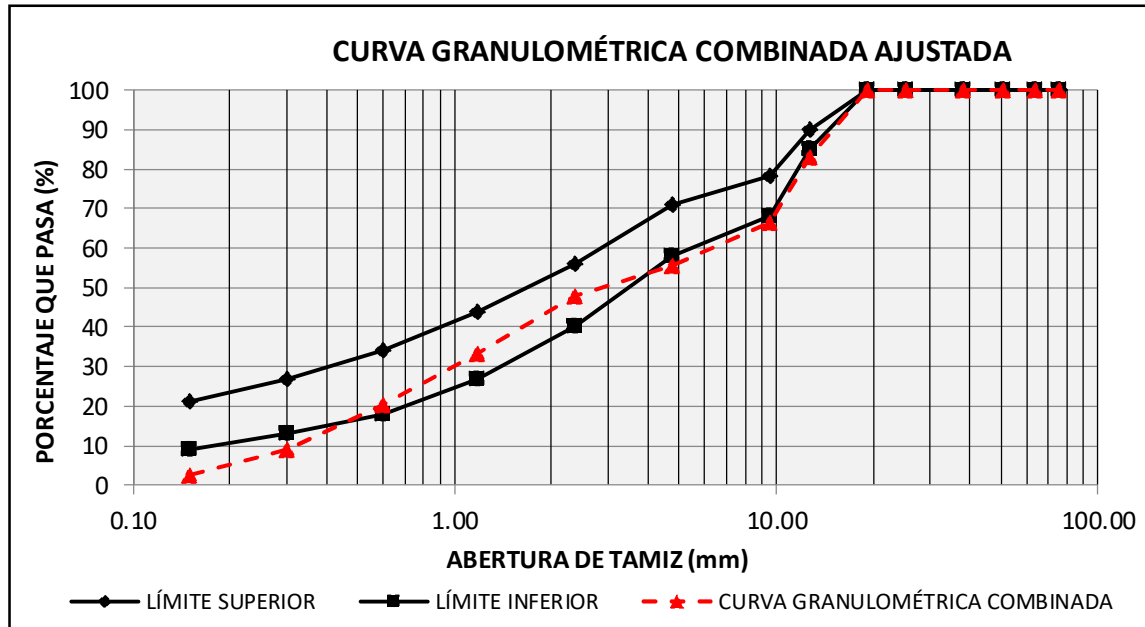
$$t_1 = 100 \times \frac{(MF_2 - MFF_2)}{(MF_2 - MF_1)}$$

$$t_2 = 100 - t_1$$

MÓDULO DE FINURA DEL ÁRIDO FINO (MF1) =	2.95
MÓDULO DE FINURA DEL ÁRIDO GRUESO (MF2) =	6.74
MÓDULO DE FINURA PARA LA CURVA DE FULLER CON EL TMA DE DISEÑO (MFF2) =	4.80
PORCENTAJE DEL ÁRIDO FINO (t1) =	51%
PORCENTAJE DEL ÁRIDO GRUESO (t2) =	49%

MÉTODO: GRÁFICO

ABERTURA TAMIZ		% PASA		CURVA COMBINADA	ESPECIFICACIÓN	
		ARENA	GRAVA		LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
pulg	mm	55%	45%			
3"	76.10	100.00	100.00	100.00	100	100
2 ½"	64.00	100.00	100.00	100.00	100	100
2"	50.80	100.00	100.00	100.00	100	100
1 ½"	38.10	100.00	100.00	100.00	100	100
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100
¾"	19.10	100.00	99.92	99.96	100	100
½"	12.70	100.00	62.25	83.01	90	85
⅜"	9.50	100.00	25.34	66.40	78	68
No. 4	4.76	99.96	1.10	55.47	71	58
No. 8	2.36	86.70	0.00	47.69	56	40
No. 16	1.18	60.29	0.00	33.16	44	27
No. 30	0.60	37.32	0.00	20.53	34	18
No. 50	0.30	16.33	0.00	8.98	27	13
No. 100	0.15	4.56	0.00	2.51	21	9



12. RESUMEN DE LAS CANTIDADES

A/C =		0.36	BATCH (m ³) =		0.02	
Material	Cantidad (kg)	Volumen (m ³)	Corrección humedad (kg)	Peso/m ³ de hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (kg)	Peso/batch hormigón (g)
Cemento	614.00	0.20		614.00	12.28	12280.00
Agua	221.00	0.22	194.83	194.83	3.90	3896.54
Arena	799.28	0.30	843.24	843.24	16.86	16864.84
Grava	653.96	0.25	660.50	660.50	13.21	13209.95
Aire (%)	2.00	0.02				
Volumen de áridos (m³) =		0.55	Peso unitario=	2312.57	kg/m³	

ANEXO 3: Reporte de procesamiento para resultados**HORMI CENTER CIA LTDA**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN****1. DATOS DEL ENSAYO**

INFORME No:	TESIS 001
FECHA DE ENSAYO:	25 de junio del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vípesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	210 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	BASF

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.66
Material	Peso/m ³ de hormigón (kg)
Cemento	276.00
Agua	181.00
Arena	1016.25
Grava	831.48
MasterGlenium 7954 (0.40%)	1.10
MasterPolyheed 939 (0.38%)	1.05

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**

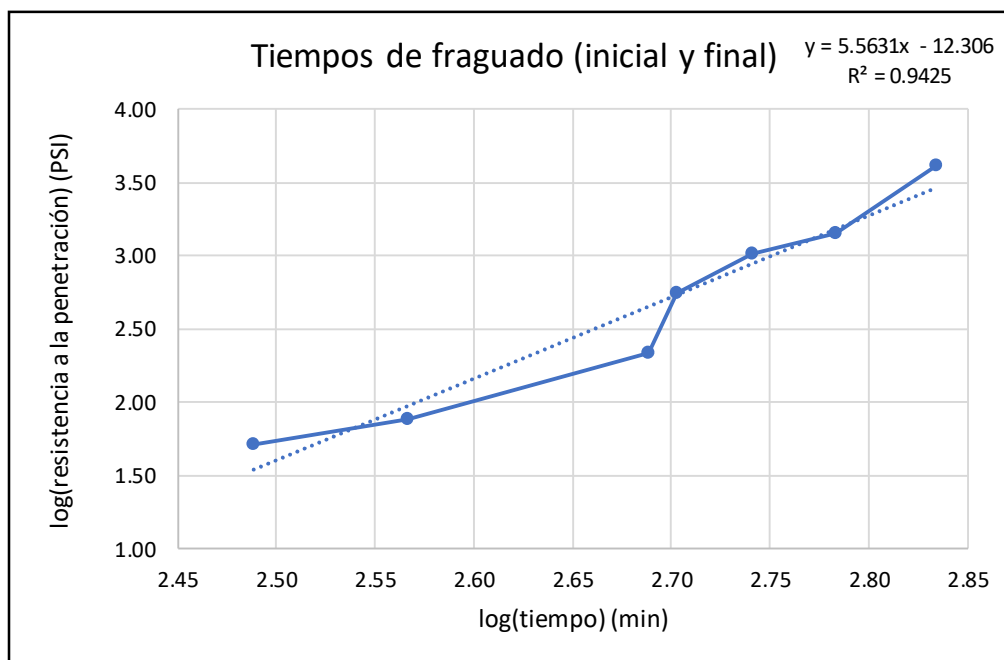
PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20715.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2397.47
RENDIMIENTO (%) =	96.22%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN**2.40%**

4. TIEMPO DE FRAGUADO

Asentamiento inicial (mm) =	220
Temperatura inicial (°C) =	19.3
Hora inicial del ensayo	09:39:00 a. m.
Hora final del ensayo	09:02:00 p. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	14:47	05:08	1.000	51.9	51.9	19.4
2	15:48	06:09	0.500	38.6	77.2	19.4
3	17:47	08:08	0.250	54.6	218.4	19.6
4	18:03	08:24	0.100	55.3	553.0	19.8
5	18:50	09:11	0.050	51.9	1038.0	20.4
6	19:46	10:07	0.025	35.7	1428.0	21.2
7	21:02	11:23	0.025	104.0	4160.0	22.3



log(tiempo)	log(resist)
2.49	1.72
2.57	1.89
2.69	2.34
2.70	2.74
2.74	3.02
2.78	3.15
2.83	3.62

Constantes de regresión lineal			
a=	5.563	b=	12.306

Fraguado inicial (horas) = 8:18:00
 Fraguado final (horas) = 12:04:00

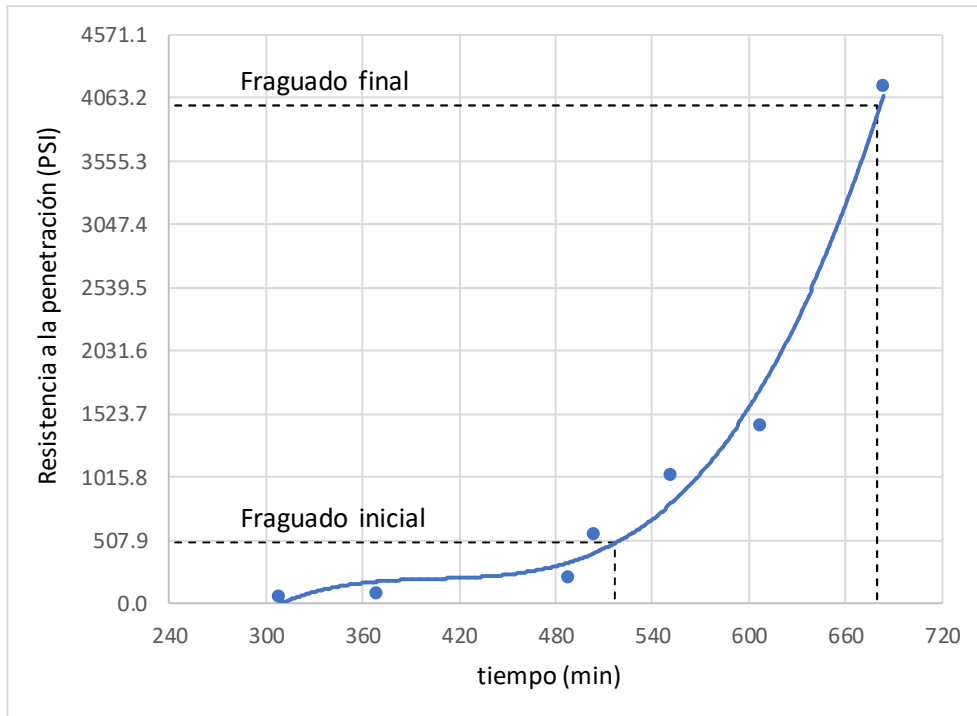


MÉTODO DE AJUSTE MANUAL

Tiempo	Resistencia
308	51.9
369	77.2
488	218.4
504	553.0
551	1038.0
607	1428.0
683	4160.0

0	500	0	4000
517	500	680	4000
517	0	680	0

Fraguado inicial (horas) = 8:37:00
Fraguado final (horas) = 11:20:00



HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

1. DATOS DEL ENSAYO

INFORME No:	TESIS 002
FECHA DE ENSAYO:	25 de junio del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	210 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	SIKA

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.66	
Material	Peso/m ³ de hormigón (kg)	
Cemento	276.00	
Agua	181.00	
Arena	1016.25	
Grava	831.48	
Sika ViscoFlow-55 (0.70%)	0.97	
Plastiment TM 42 (0.35%)	1.93	2307.63

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20736.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2400.46
RENDIMIENTO (%) =	96.13%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

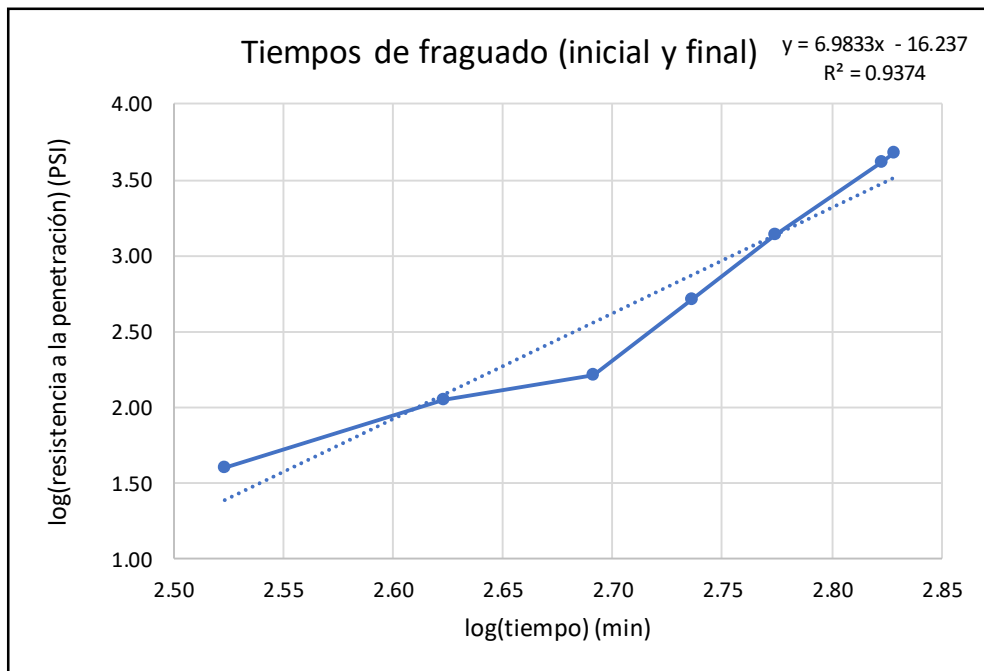
2.20%



4. TIEMPO DE FRAGUADO

Asentamiento inicial (mm) =	220
Temperatura inicial (°C) =	19.5
Hora inicial del ensayo	10:10:00 a. m.
Hora final del ensayo	09:23:00 p. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	15:44	05:34	1.000	40.6	40.6	19.4
2	17:10	07:00	0.500	56.0	112.0	19.5
3	18:21	08:11	0.250	41.3	165.2	19.7
4	19:15	09:05	0.100	51.2	512.0	20.1
5	20:05	09:55	0.050	68.2	1364.0	21.0
6	21:15	11:05	0.025	104.6	4184.0	22.2
7	21:23	11:13	0.025	120.2	4808.0	22.5



log(tiempo)	log(resist)
2.52	1.61
2.62	2.05
2.69	2.22
2.74	2.71
2.77	3.13
2.82	3.62
2.83	3.68

Constantes de regresión lineal			
a=	6.983	b=	16.237

Fraguado inicial (horas) = 8:35:00
 Fraguado final (horas) = 11:34:00

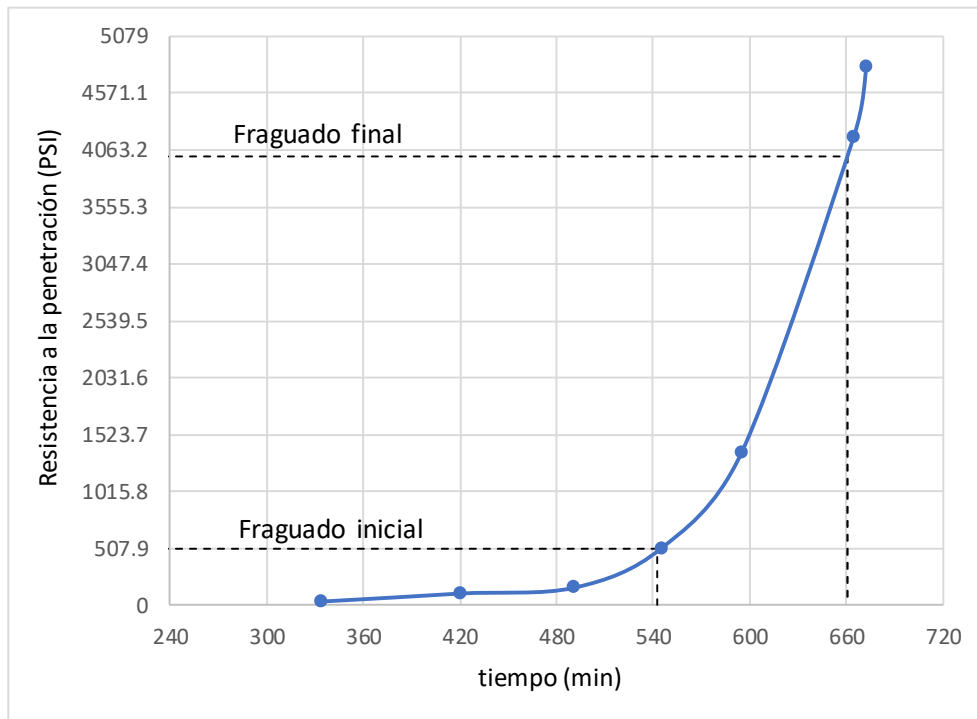


MÉTODO DE AJUSTE MANUAL

Tiempo	Resistencia
334.0	40.6
420.0	112.0
491.0	165.2
545.0	512.0
595.0	1364.0
665.0	4184.0
673.0	4808.0

0	500	0	4000
542	500	661	4000
542	0	661	0

Fraguado inicial (horas) = 9:02:00
Fraguado final (horas) = 11:01:00



HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

1. DATOS DEL ENSAYO

INFORME No:	TESIS 003
FECHA DE ENSAYO:	25 de junio del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	210 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	PROTEX

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.66	
Material	Peso/m³ de hormigón (kg)	
Cemento	276.00	
Agua	181.00	
Arena	1016.25	
Grava	831.48	
MegaKrete R5 (0.40%)	1.10	
ProKrete R (0.30%)	0.83	2306.66

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20817.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2411.97
RENDIMIENTO (%) =	95.63%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

1.50%

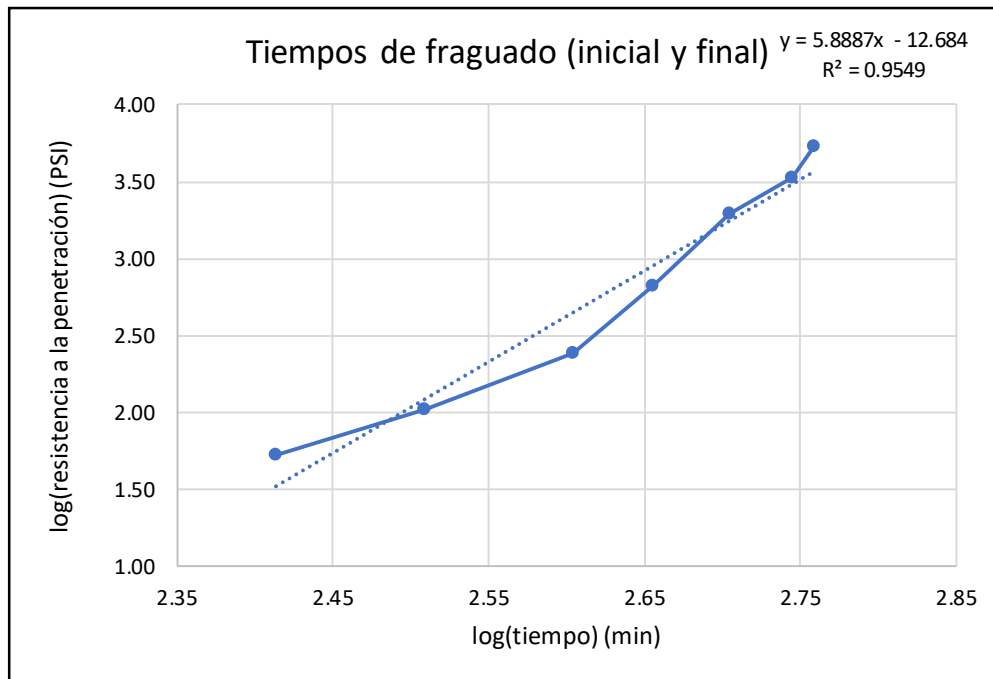




4. TIEMPO DE FRAGUADO

Asentamiento inicial (mm) =	200
Temperatura inicial (°C) =	18.7
Hora inicial del ensayo	10:47:00 a. m.
Hora final del ensayo	08:21:00 p. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	15:06	04:19	1.000	52.8	52.8	19.4
2	16:10	05:23	0.500	52.9	105.8	19.5
3	17:29	06:42	0.250	60.9	243.6	19.7
4	18:19	07:32	0.100	66.9	669.0	20.1
5	19:13	08:26	0.050	98.1	1962.0	21.0
6	20:02	09:15	0.025	84.0	3360.0	22.2
7	20:21	09:34	0.025	132.6	5304.0	22.5



log(tiempo)	log(resist)
2.41	1.72
2.51	2.02
2.60	2.39
2.66	2.83
2.70	3.29
2.74	3.53
2.76	3.72

Constantes de regresión lineal			
a=	5.889	b=	12.684

Fraguado inicial (horas) = 6:50:00
 Fraguado final (horas) = 9:43:00

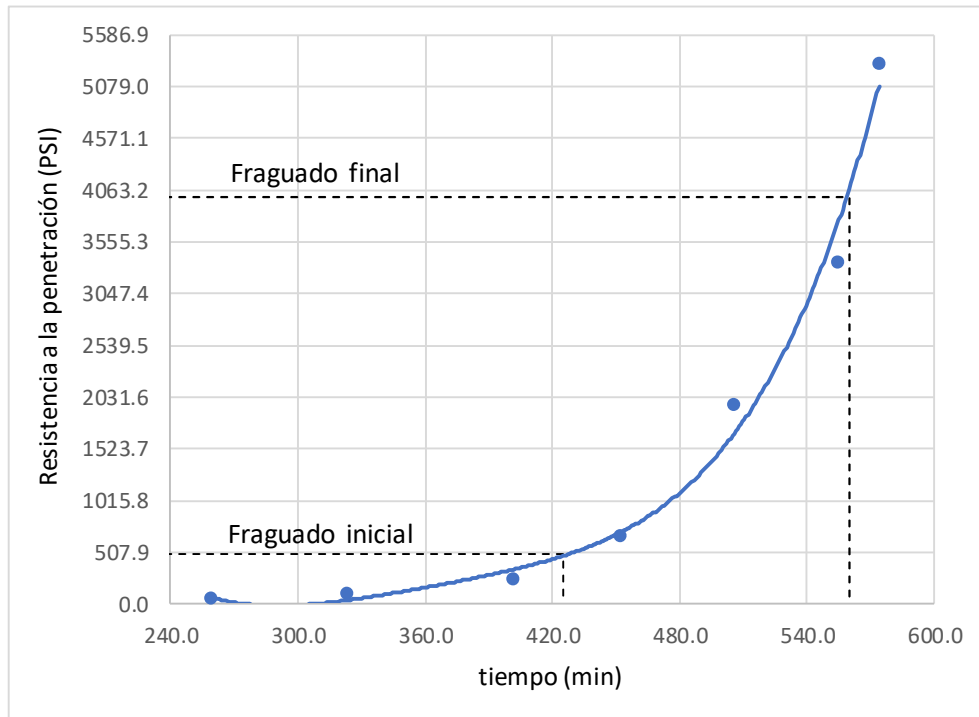


MÉTODO DE AJUSTE MANUAL

Tiempo	Resistencia
259.0	52.8
323.0	105.8
402.0	243.6
452.0	669.0
506.0	1962.0
555.0	3360.0
574.0	5304.0

0	500	0	4000
425	500	560	4000
425	0	560	0

Fraguado inicial (horas) = 7:05:00
Fraguado final (horas) = 9:20:00



HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

1. DATOS DEL ENSAYO

INFORME No:	TESIS 004
FECHA DE ENSAYO:	25 de agosto del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	300 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	BASF

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.56
Material	Peso/m³ de hormigón (kg)
Cemento	331.00
Agua	186.00
Arena	982.53
Grava	803.89
MasterGlenium 7954 (0.34%)	1.13
MasterPolyheed 939 (0.35%)	1.16

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20460.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m³) =	2361.21
RENDIMIENTO (%) =	97.60%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

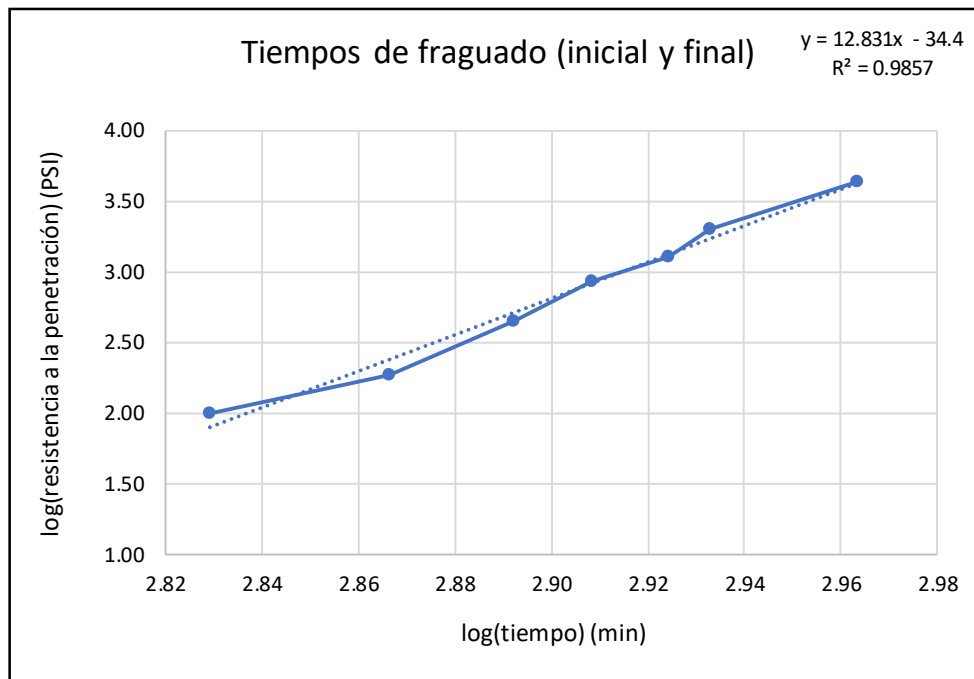
3.00%



**4. TIEMPO DE FRAGUADO**

Asentamiento inicial (mm) =	215
Temperatura inicial (°C) =	19.4
Hora inicial del ensayo	08:30:00 a. m.
Hora final del ensayo	11:49:00 p. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	19:45	11:15	1.000	99.1	99.1	19.7
2	20:45	12:15	0.500	93.4	186.8	20.4
3	21:30	13:00	0.250	111.4	445.6	20.8
4	22:00	13:30	0.100	85.6	856.0	21.2
5	22:30	14:00	0.050	63.1	1262.0	20.4
6	22:47	14:17	0.050	99.5	1990.0	19.8
7	23:49	15:19	0.025	107.7	4308.0	19.3



log(tiempos)	log(resist)
2.83	2.00
2.87	2.27
2.89	2.65
2.91	2.93
2.92	3.10
2.93	3.30
2.96	3.63

Constantes de regresión lineal			
a=	12.831	b=	34.4

Fraguado inicial (horas) = 12:59:00

Fraguado final (horas) = 15:16:00

HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

1. DATOS DEL ENSAYO

INFORME No:	TESIS 005
FECHA DE ENSAYO:	25 de agosto del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	300 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	SIKA

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.56
Material	Peso/m ³ de hormigón (kg)
Cemento	331.00
Agua	186.00
Arena	982.53
Grava	803.89
Sika ViscoFlow-55 (0.70%)	2.32
Plastiment TM 42 (0.30%)	0.99

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20720.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2398.18
RENDIMIENTO (%) =	96.15%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

1.90%

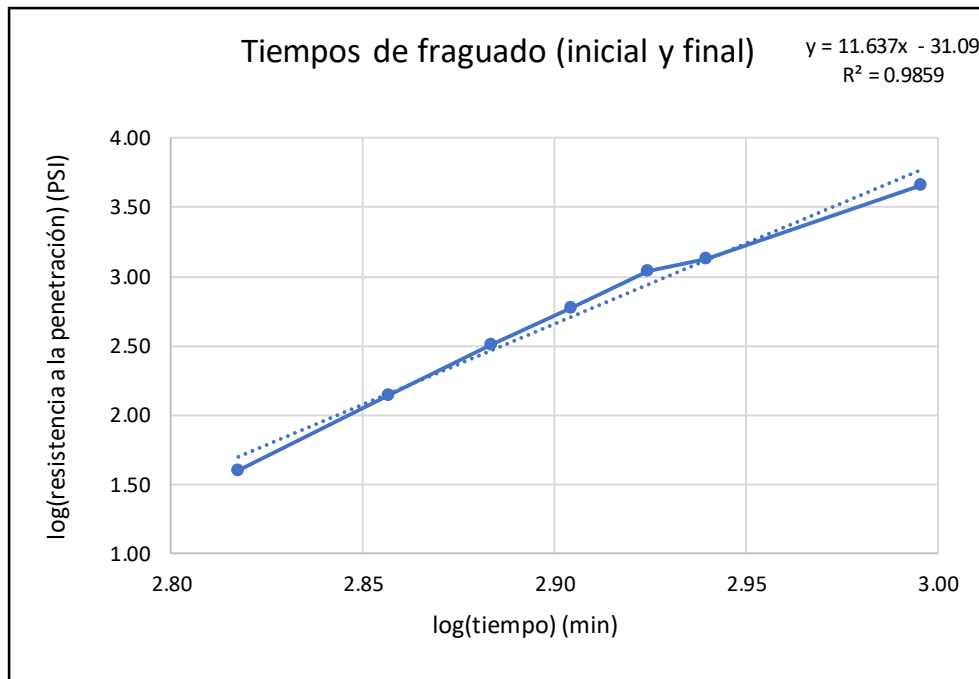




4. TIEMPO DE FRAGUADO

Asentamiento inicial (mm) =	230
Temperatura inicial (°C) =	19.7
Hora inicial del ensayo	09:00:00 a. m.
Hora final del ensayo	01:30:00 a. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	19:57	10:57	1.000	39.5	39.5	19.9
2	20:59	11:59	0.500	70.4	140.8	20.1
3	21:45	12:45	0.250	81.5	326.0	20.7
4	22:22	13:22	0.100	59.2	592.0	21.1
5	23:00	14:00	0.050	54.5	1090.0	20.0
6	23:30	14:30	0.050	66.5	1330.0	19.7
7	01:30	16:30	0.025	113.7	4548.0	19.2



log(tiempo)	log(resist)
2.82	1.60
2.86	2.15
2.88	2.51
2.90	2.77
2.92	3.04
2.94	3.12
3.00	3.66

Constantes de regresión lineal			
a=	11.637	b=	31.09

Fraguado inicial (horas) = 13:21:00

Fraguado final (horas) = 15:58:00

HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

1. DATOS DEL ENSAYO

INFORME No:	TESIS 006
FECHA DE ENSAYO:	25 de agosto del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	300 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	PROTEX

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.56
Material	Peso/m ³ de hormigón (kg)
Cemento	331.00
Agua	186.00
Arena	982.53
Grava	803.89
MegaKrete R5 (0.40%)	1.32
ProKrete R (0.30%)	0.99

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20630.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2385.38
RENDIMIENTO (%) =	96.62%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

2.20%

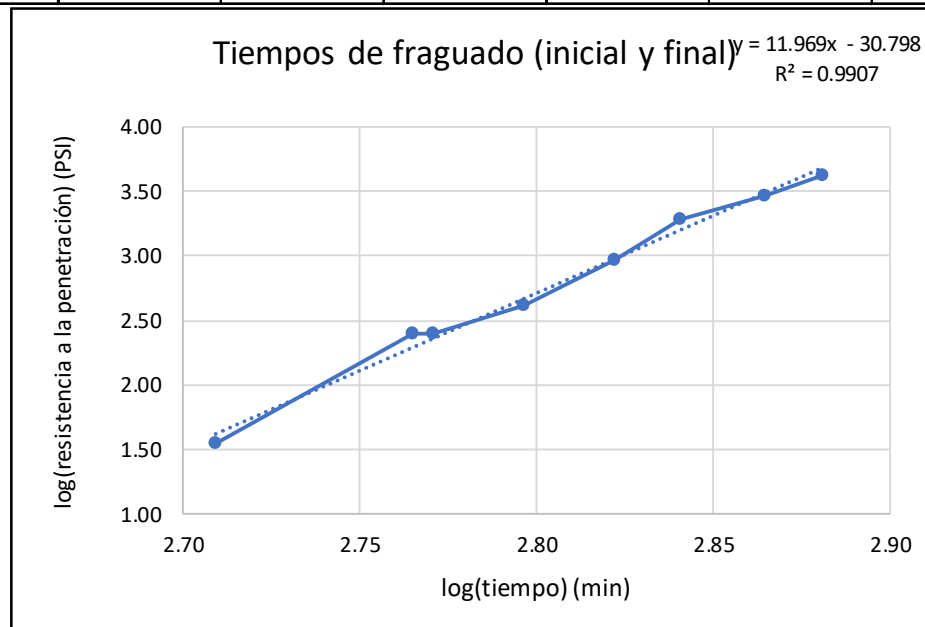




4. TIEMPO DE FRAGUADO

Asentamiento inicial (mm) =	200
Temperatura inicial (°C) =	19.6
Hora inicial del ensayo	09:43:00 a. m.
Hora final del ensayo	09:55:00 p. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	18:15	08:32	1.000	35.1	35.1	20.2
2	19:25	09:42	0.500	124.1	248.2	20.8
3	19:33	09:50	0.250	63.3	253.2	20.4
4	20:09	10:26	0.100	41.9	419.0	19.4
5	20:47	11:04	0.100	93.9	939.0	19.4
6	21:16	11:33	0.050	95.2	1904.0	19.7
7	21:55	12:12	0.025	72.2	2888.0	19.3
8	22:23	12:40	0.025	105.7	4228.0	19.1



log(tiempo)	log(resist)
2.71	1.55
2.76	2.39
2.77	2.40
2.80	2.62
2.82	2.97
2.84	3.28
2.86	3.46
2.88	3.63

Constantes de regresión lineal			
a=	11.969	b=	30.798

Fraguado inicial (horas) = 10:29:00
 Fraguado final (horas) = 12:28:00

**HORMI CENTER CIA LTDA**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN****1. DATOS DEL ENSAYO**

INFORME No:	TESIS 007
FECHA DE ENSAYO:	26 de agosto del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	300 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	PROTEX

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.56
Material	Peso/m³ de hormigón (kg)
Cemento	331.00
Agua	186.00
Arena	982.53
Grava	803.89
MegaKrete R5 (0.55%)	1.82
ProKrete R (0.80%)	2.65

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**

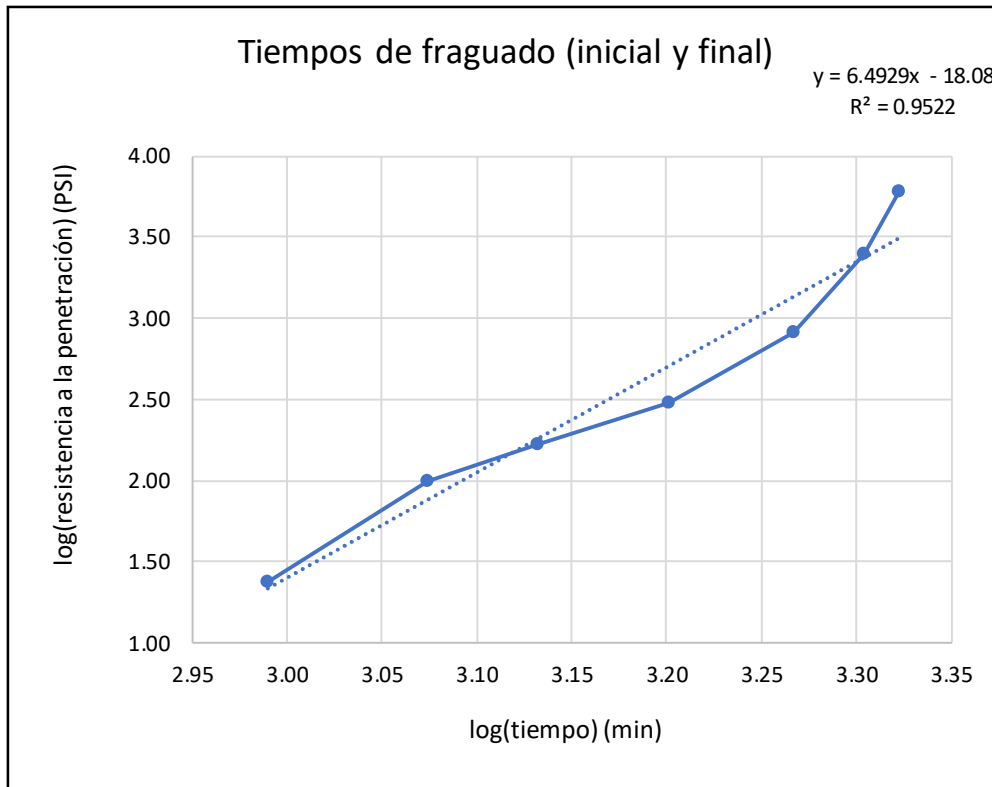
PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20350.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2345.56
RENDIMIENTO (%) =	98.39%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN**3.40%****4. TIEMPO DE FRAGUADO**

Asentamiento inicial (mm) =	215
Temperatura inicial (°C) =	19.3
Hora inicial del ensayo	05:27:00 p. m.
Hora final del ensayo	04:29:00 a. m.



No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	09:44	16:17:00	1.000	24.0	24.0	19.2
2	13:14	19:47:00	0.500	49.8	99.6	19.5
3	16:03	22:36:00	0.250	42.1	168.4	19.8
4	19:56	26:29:00	0.100	30.2	302.0	19.0
6	00:16	30:49:00	0.050	41.2	824.0	17.3
7	03:02	33:35:00	0.025	61.5	2460.0	17.4
8	04:29	35:02:00	0.025	151.4	6056.0	17.7



log(tiempo)	log(resist)
2.99	1.38
3.07	2.00
3.13	2.23
3.20	2.48
3.27	2.92
3.30	3.39
3.32	3.78

Constantes de regresión lineal			
a=	6.432	b=	17.909

Fraguado inicial (horas) = 26:40:00

Fraguado final (horas) = 36:50:00



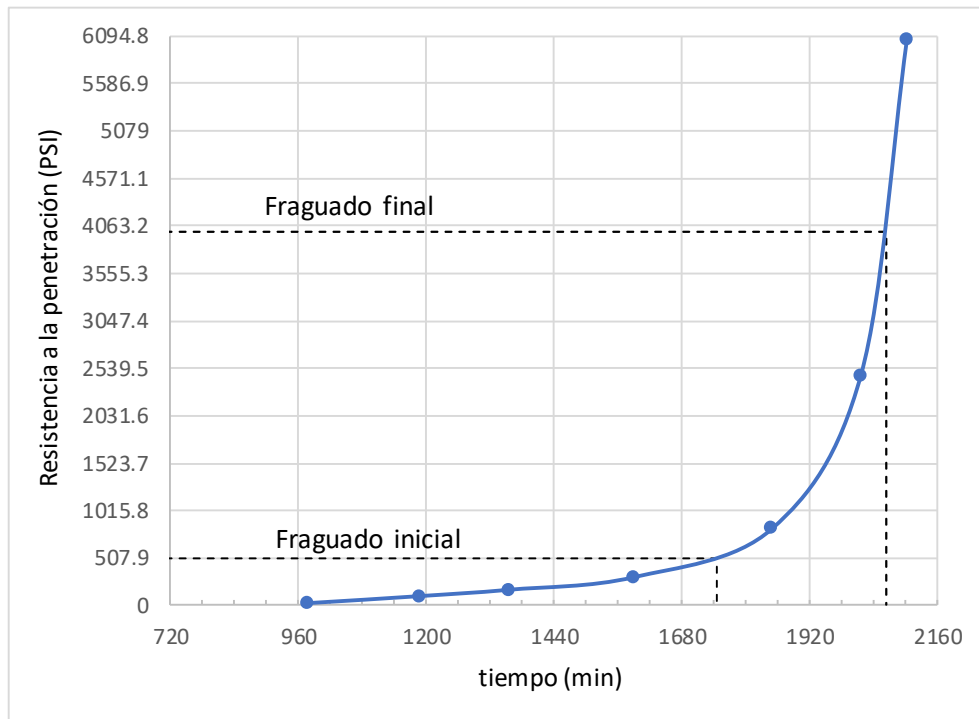
MÉTODO DE AJUSTE MANUAL

Tiempo	Resistencia
977.0	24.0
1187.0	99.6
1356.0	168.4
1589.0	302.0
1849.0	824.0
2015.0	2460.0
2102.0	6056.0

0	500	0	4000
1745	500	2065	4000
1745	0	2065	0

Fraguado inicial (horas) = 29:05:00

Fraguado final (horas) = 34:25:00



**HORMI CENTER CIA LTDA**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN****1. DATOS DEL ENSAYO**

INFORME No:	TESIS 008
FECHA DE ENSAYO:	26 de agosto del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	240 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	PROTEX

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.64
Material	Peso/m³ de hormigón (kg)
Cemento	283.00
Agua	181.00
Arena	1013.00
Grava	828.82
MegaKrete R5 (0.60%)	1.70
ProKrete R (0.80%)	2.26

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**

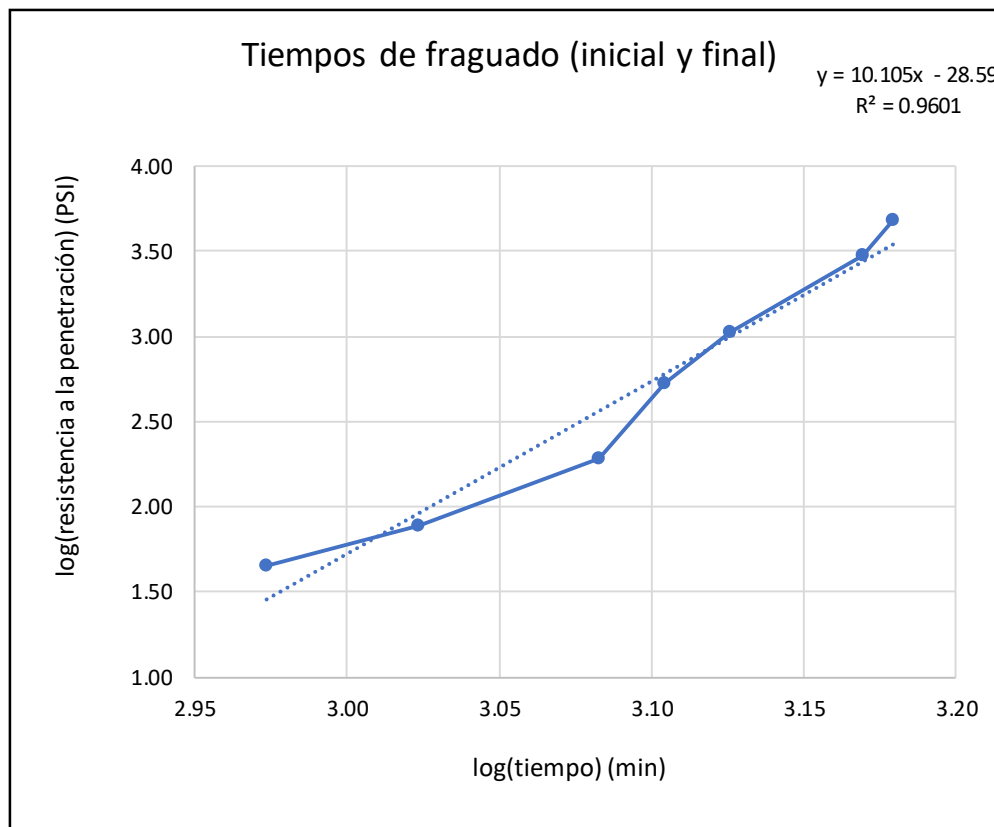
PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20350.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m³) =	2345.56
RENDIMIENTO (%) =	98.47%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN**3.00%****4. TIEMPO DE FRAGUADO**

Asentamiento inicial (mm) =	215
Temperatura inicial (°C) =	19.3
Hora inicial del ensayo	06:09:00 p. m.
Hora final del ensayo	07:21:00 p. m.



No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	09:50	15:41:00	1.000	44.9	44.9	19.2
2	11:45	17:36:00	0.500	39.1	78.2	19.4
3	14:19	20:10:00	0.250	48.3	193.2	19.8
4	15:20	21:11:00	0.100	53.2	532.0	20.0
5	16:25	22:16:00	0.050	52.6	1052.0	20.6
6	18:46	24:37:00	0.025	75.0	3000.0	20.9
7	19:21	25:12:00	0.025	119.4	4776.0	20.8



log(tiempo)	log(resist)
2.97	1.65
3.02	1.89
3.08	2.29
3.10	2.73
3.13	3.02
3.17	3.48
3.18	3.68

Constantes de regresión lineal			
a=	9.804	b=	27.667

Fraguado inicial (horas) = 20:51:00

Fraguado final (horas) = 25:47:00

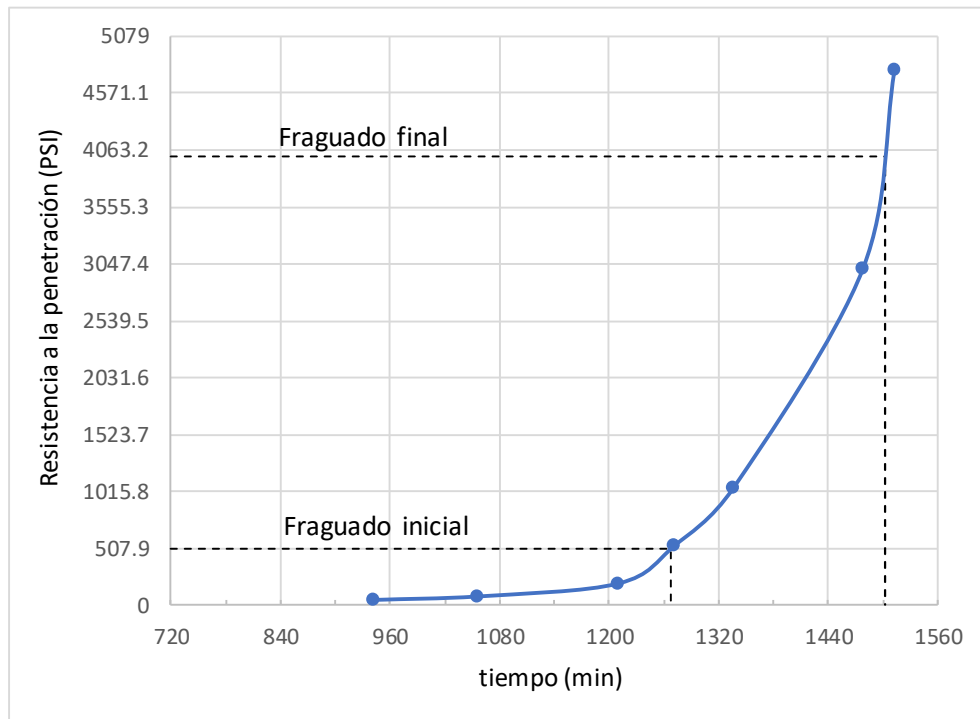


MÉTODO DE AJUSTE MANUAL

Tiempo	Resistencia
941.0	44.9
1056.0	78.2
1210.0	193.2
1271.0	532.0
1336.0	1052.0
1477.0	3000.0
1512.0	4776.0

0	500	0	4000
1267	500	1503	4000
1267	0	1503	0

Fraguado inicial (horas) = 21:07:00
Fraguado final (horas) = 25:03:00



**HORMI CENTER CIA LTDA**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN****1. DATOS DEL ENSAYO**

INFORME No:	TESIS 009
FECHA DE ENSAYO:	26 de agosto del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	210 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	PROTEX

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.66
Material	Peso/m³ de hormigón (kg)
Cemento	276.00
Agua	181.00
Arena	1016.25
Grava	831.48
MegaKrete R5 (0.80%)	2.21
ProKrete R (0.80%)	2.21

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**

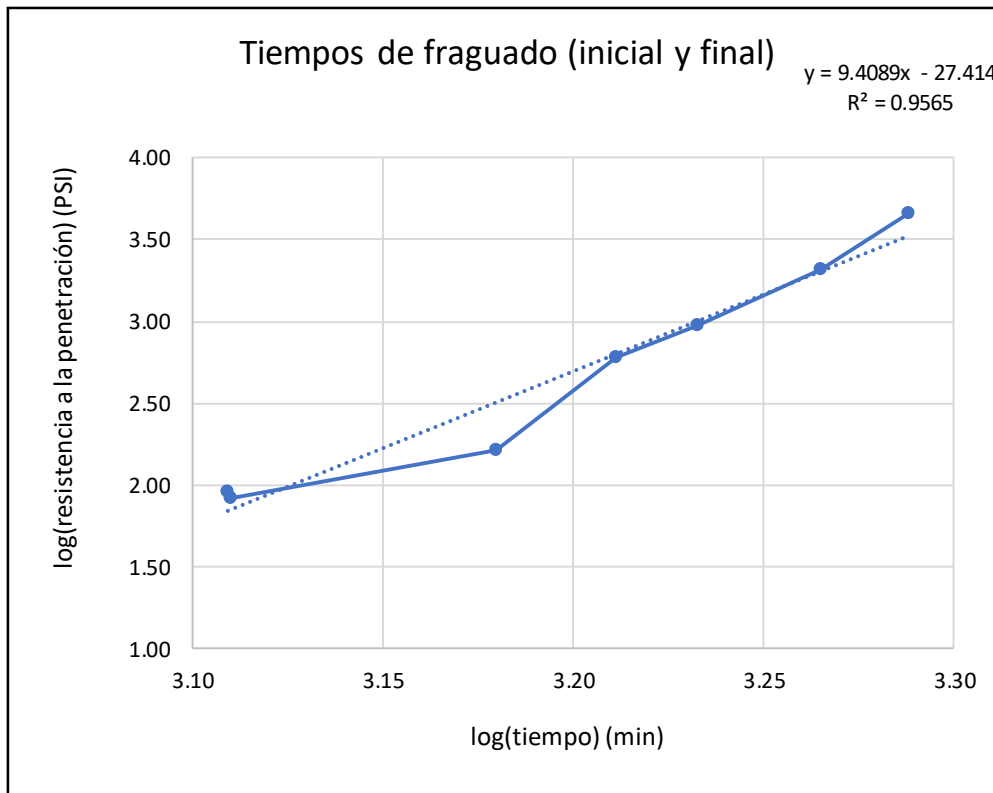
PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20360.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2346.99
RENDIMIENTO (%) =	98.39%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN**2.50%****4. TIEMPO DE FRAGUADO**

Asentamiento inicial (mm) =	220
Temperatura inicial (°C) =	19.3
Hora inicial del ensayo	06:41:00 p. m.
Hora final del ensayo	03:02:00 a. m.



No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	16:07	21:26:00	1.000	91.2	91.2	19.7
2	16:10	21:29:00	0.500	41.7	83.4	19.7
3	19:54	25:13:00	0.250	41.5	166.0	19.0
4	21:48	27:07:00	0.100	59.9	599.0	18.0
5	23:09	28:28:00	0.050	47.3	946.0	17.7
6	01:22	30:41:00	0.025	51.7	2068.0	17.6
6	03:02	32:21:00	0.025	113.9	4556.0	17.7



log(tiempo)	log(resist)
3.11	1.96
3.11	1.92
3.18	2.22
3.21	2.78
3.23	2.98
3.27	3.32
3.29	3.66

Constantes de regresión lineal			
a=	9.409	b=	27.414

Fraguado inicial (horas) = 26:26:00
Fraguado final (horas) = 32:59:00



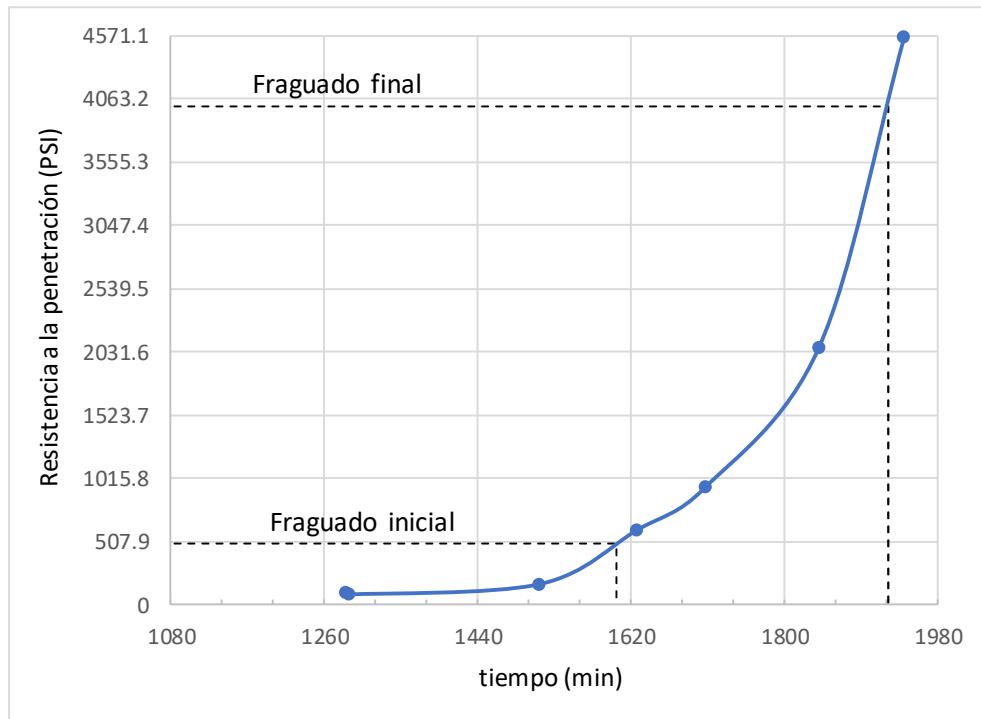
MÉTODO DE AJUSTE MANUAL

Tiempo	Resistencia
1286.0	91.2
1289.0	83.4
1513.0	166.0
1627.0	599.0
1708.0	946.0
1841.0	2068.0
1941.0	4556.0

0	500	0	4000
1602	500	1921	4000
1602	0	1921	0

Fraguado inicial (horas) = 26:42:00

Fraguado final (horas) = 32:01:00



HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

1. DATOS DEL ENSAYO

INFORME No:	TESIS 010
FECHA DE ENSAYO:	08 de septiembre del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	240 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	BASF

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.64	
Material	Peso/m ³ de hormigón (kg)	
Cemento	283.00	
Agua	181.00	
Arena	1013.00	
Grava	828.82	
MasterGlenium 7954 (0.38%)	1.08	
MasterPolyheed 939 (0.35%)	0.99	
		2307.89

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20400.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2352.67
RENDIMIENTO (%) =	98.10%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

2.20%

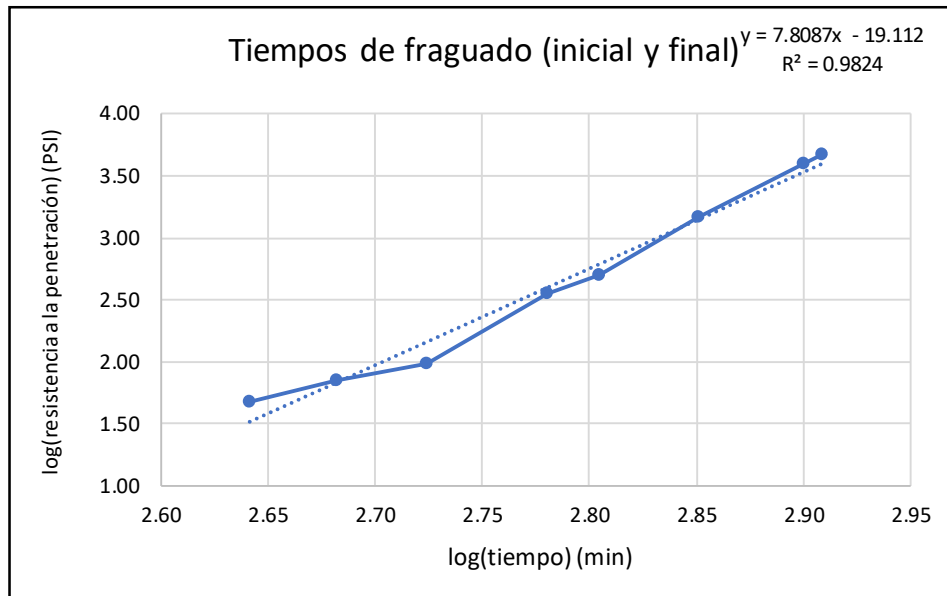




4. TIEMPO DE FRAGUADO

Asentamiento inicial (mm) =	220
Temperatura inicial (°C) =	19.8
Hora inicial del ensayo	08:55:00 a. m.
Hora final del ensayo	10:25:00 p. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	16:13	07:18	1.000	47.1	47.1	20.7
2	16:56	08:01	0.500	35.5	71.0	20.7
3	17:45	08:50	0.500	48.7	97.4	21.3
4	18:58	10:03	0.250	88.6	354.4	20.4
5	19:33	10:38	0.100	49.6	496.0	20.2
6	20:45	11:50	0.050	73.2	1464.0	20.2
7	22:10	13:15	0.025	98.6	3944.0	20.2
8	22:25	13:30	0.025	115.7	4628.0	20.2



log(tiempo)	log(resist)
2.64	1.67
2.68	1.85
2.72	1.99
2.78	2.55
2.80	2.70
2.85	3.17
2.90	3.60
2.91	3.67

Constantes de regresión lineal			
a=	7.809	b=	19.112

Fraguado inicial (horas) = 10:21:00
 Fraguado final (horas) = 13:31:00

HORMI CENTER CIA LTDA

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

1. DATOS DEL ENSAYO

INFORME No:	TESIS 011
FECHA DE ENSAYO:	08 de septiembre del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	240 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	SIKA

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.64	
Material	Peso/m ³ de hormigón (kg)	
Cemento	283.00	
Agua	181.00	
Arena	1013.00	
Grava	828.82	
Sika ViscoFlow-55 (0.60%)	1.70	
Plastiment TM 42 (0.45%)	1.27	2308.80

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN

PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20220.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m ³) =	2327.08
RENDIMIENTO (%) =	99.21%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

2.40%

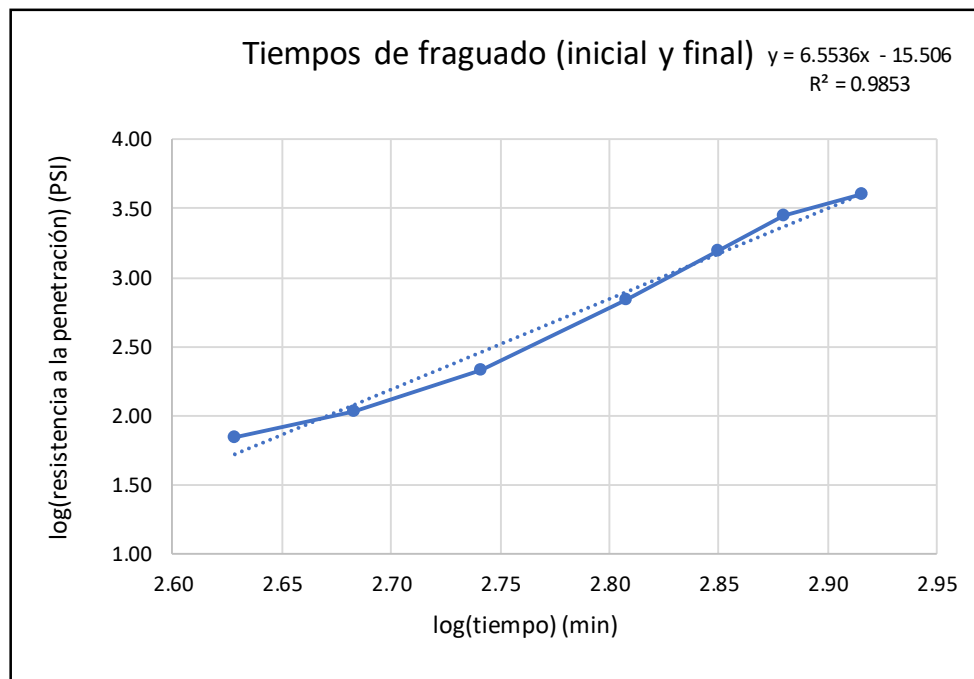




4. TIEMPO DE FRAGUADO

Asentamiento inicial (mm) =	225
Temperatura inicial (°C) =	19.7
Hora inicial del ensayo	09:48:00 a. m.
Hora final del ensayo	11:32:00 p. m.

No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	16:53	07:05	1.000	69.4	69.4	20.4
2	17:50	08:02	0.500	53.4	106.8	21.0
3	18:59	09:11	0.250	53.4	213.6	20.4
4	20:30	10:42	0.100	69.7	697.0	19.4
5	21:36	11:48	0.050	78.8	1576.0	19.4
6	22:27	12:39	0.025	70.3	2812.0	19.7
7	23:32	13:44	0.025	101.1	4044.0	19.0



log(tiempo)	log(resist)
2.63	1.84
2.68	2.03
2.74	2.33
2.81	2.84
2.85	3.20
2.88	3.45
2.92	3.61

Constantes de regresión lineal			
a=	6.554	b=	15.506

Fraguado inicial (horas) = 9:59:00
Fraguado final (horas) = 13:43:00

**HORMI CENTER CIA LTDA**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

**TIEMPO DE FRAGUADO - CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN****1. DATOS DEL ENSAYO**

INFORME No:	TESIS 012
FECHA DE ENSAYO:	08 de septiembre del 2021
SOLICITADO POR:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CLIENTE:	Erika Briones Rodriguez - Paul Mora Moscoso
CANTERA (ÁRIDO FINO):	El Piedrero
CANTERA (ÁRIDO GRUESO):	Vipesa
CEMENTO:	HOLCIM HE
RESISTENCIA REQUERIDA :	240 kg/cm ²
CASA DE ADITIVO:	PROTEX

2. DISEÑO EN PESOS POR m³ DE HORMIGÓN EN ESTADO SSS

A/C =	0.64
Material	Peso/m³ de hormigón (kg)
Cemento	283.00
Agua	181.00
Arena	1013.00
Grava	828.82
MegaKrete R5 (0.40%)	1.13
ProKrete R (0.30%)	0.85

3. CONTENIDO DE AIRE Y MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**3.1 MASA UNITARIA DEL HORMIGÓN**

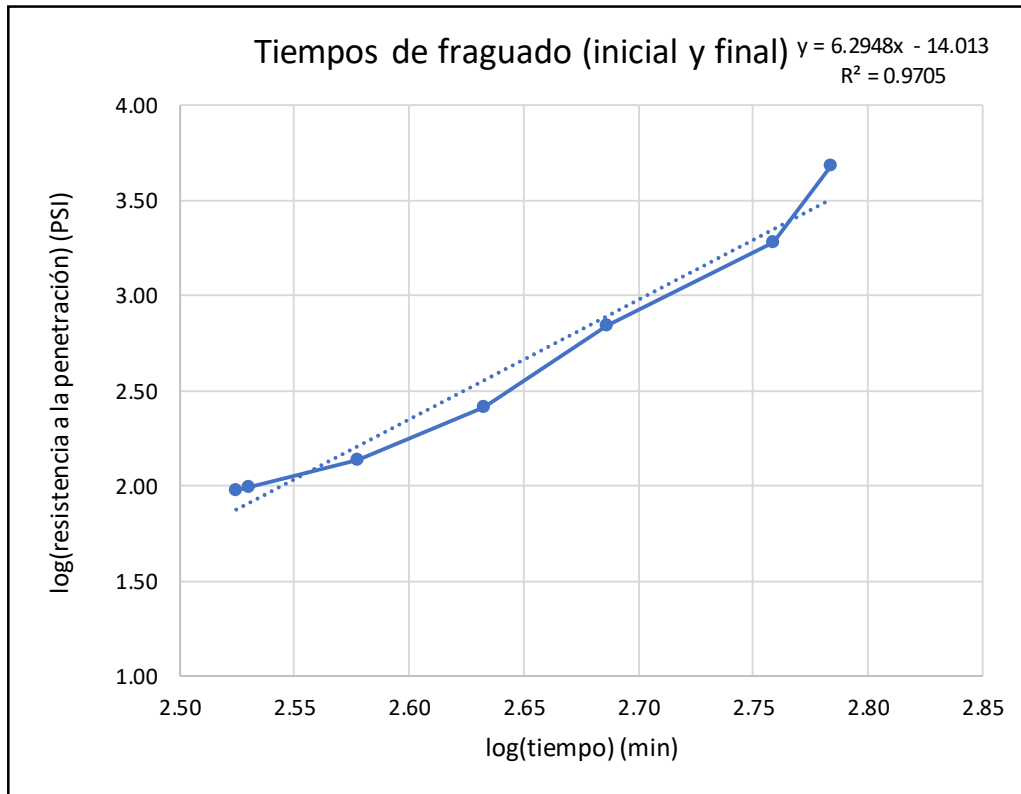
PESO DEL RECIPIENTE (g) =	3856.00
PESO DEL AGUA (g) =	7032.00
PESO DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN (g) =	20600.00
MASA UNITARIA HORMIGÓN (kg/m³) =	2381.11
RENDIMIENTO (%) =	96.92%

3.2 CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN**1.70%****4. TIEMPO DE FRAGUADO**

Asentamiento inicial (mm) =	190
Temperatura inicial (°C) =	20
Hora inicial del ensayo	10:39:00 a. m.
Hora final del ensayo	08:47:00 p. m.



No. Ensayo	Hora	Tiempo transcurrido (horas)	Área de las agujas (pulg ²)	Carga (lb)	Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura (°C)
1	16:14	05:35	1.000	94.4	94.4	20.3
2	16:18	05:39	0.500	49.2	98.4	20.3
3	16:57	06:18	0.250	34.6	138.4	20.4
4	17:48	07:09	0.250	64.6	258.4	21.3
5	18:45	08:06	0.100	69.2	692.0	20.9
6	20:13	09:34	0.050	95.9	1918.0	20.6
7	20:47	10:08	0.025	121.1	4844.0	20.5



log(tiempo)	log(resist)
2.53	1.97
2.53	1.99
2.58	2.14
2.63	2.41
2.69	2.84
2.76	3.28
2.78	3.69

Constantes de regresión lineal			
a=	6.337	b=	14.119

Fraguado inicial (horas) = 7:31:00
Fraguado final (horas) = 10:26:00



MÉTODO DE AJUSTE MANUAL

Tiempo	Resistencia
335.0	94.4
339.0	98.4
378.0	138.4
429.0	258.4
486.0	692.0
574.0	1918.0
608.0	4844.0

0	500	0	4000
465	500	602	4000
465	0	602	0

Fraguado inicial (horas) = 7:45:00
Fraguado final (horas) = 10:02:00

