

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Tierra

Optimizar el diseño de mezcla de hormigón más vendido de la planta
"Constructora Hernández" ubicada en la ciudad de Esmeraldas

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Alan Patricio Ortiz Pimentel

Carlos Francisco Martínez Vera

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico principalmente a mi Dios, sin él nada de esto fuera posible, segundo a mis padres; a mi madre Mercedes por la enseñanza y sabiduría impartida, a mi padre Lauro que se encuentra en el cielo por los valores y principios inculcados desde pequeño y finalmente a mi hermano Sebastián por corregirme cuando estoy errado.

Gracias por enseñarme a no rendirme.

Alan Ortiz Pimentel

Este trabajo se lo dedico a Dios por bendecirme y guiarme en cada etapa de mi vida. A mis padres Norma y Carlos quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento para lograr cada una de mis metas y finalmente mi hermana Melissa que es mi inspiración para seguir superándome cada día.

Todo lo que soy y seré en la vida será por y para ustedes. ¡Gracias!

Carlos Martínez Vera

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a:

A Dios, mi padre celestial que ilumina y guía cada paso que doy para que logre salir adelante cumpliendo cada sueño a pesar de los obstáculos que se me presenten.

A mi familia por estar siempre pendiente de mi formación como profesional, apoyarme en todo, brindarme siempre su amor incondicional y estar siempre en los momentos buenos y malos de mi vida.

A mis amigos por creer siempre en mí y lograr hacer que el proceso de mi formación académica sea de mucha alegría.

A la universidad ESPOL por acogerme en su establecimiento y brindarme una experiencia inolvidable desde el día uno.

A mis tutoras por ofrecer sus conocimientos para lograr culminar esta meta, gracias por sus consejos, apoyo y recomendaciones impartidas.

Alan Ortiz Pimentel

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la oportunidad de cumplir otra meta y sueño en mi vida, llenándome siempre de bendiciones y sabiduría.

A toda mi familia por estar conmigo en todo momento brindándome su apoyo, por nunca dejar que me rinda por más difícil que se vea el camino y por la paciencia brindada hasta llegar a este momento.

A la ESPOL por permitirme conocer a grandes maestros y amigos, así como la oportunidad de vivir una bonita experiencia la cual fue emocionante desde el primer día.

A mis amigos que me apoyaron a lo largo de mi vida académica, pasando momentos de risas y estrés antes de entregar cada proyecto.

Finalmente agradezco a nuestras tutoras por su constante apoyo para el desarrollo de este proyecto, ya que sin sus consejos y enseñanzas no podríamos haberlo conseguido.


Carlos Martínez Vera

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Alan Patricio Ortiz Pimentel y Carlos Francisco Martínez Vera damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Alan Ortiz", with a large, stylized flourish above the name.

Alan Patricio Ortiz Pimentel

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Carlos Martínez", with a large, stylized flourish above the name.

Carlos Francisco Martínez Vera

EVALUADORES

M.Sc. Samantha Hidalgo Astudillo
PROFESOR DE LA MATERIA

Ph.D. Natividad García Troncoso
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en optimizar el diseño de mezcla de hormigón más vendido de la constructora Leonardo Hernández cuya resistencia es de 210 kg/cm², ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón San Mateo. Alterando las proporciones de los materiales utilizados en la dosificación de la mezcla, los cuales son: cemento, agua, aditivos y agregados. Este último son minados, triturados y distribuidos en la constructora para su acumulación en stock. Siguiendo los requisitos establecidos por el American concrete institute (ACI), la Norma técnica ecuatoriana (NTE) y el Instituto ecuatoriano de normalización (INEN) se realizó el análisis estadístico correspondiente al historial de ensayos, obteniendo que actualmente el cliente presenta un sobre diseño de 4,16 MPa dando como resultado el desperdicio de mucho material y por ende la disminución en las utilidades.

A su vez se siguió el método ACI-211 replicando el diseño de mezcla actual para observar si presenta valores similares de resistencias a las suministradas por el cliente, así mismo se realizó la elaboración de la mezcla optimizada para posteriormente medir la resistencia a la compresión mediante las roturas de cilindros correspondientes a los 3,7,14 y 28 días. Además, de realizar una prueba industrial con el diseño optimizado. Para este trabajo de investigación se emplea un análisis estadístico basándose en ensayos previamente realizados donde se logró optimizar el diseño patrón, reduciendo 13 kg de cemento y 9 Lts de agua, teniendo un equilibrio en los demás materiales. Así mismo, teniendo un ahorro de \$ 2,65 por m³ equivalente al 3,33% con respecto al diseño actual. Dando como resultado un proceso que puede ser replicado para otros diseños de mezclas de hormigón. Finalmente se realizó un cálculo de impacto ambiental reduciendo la cantidad de gases de efecto invernadero (CO₂), consumo de agua (Lts) y consumo de energía (KJ), teniendo como reducción a dichos parámetros: 4,81%, 4,76 % y 5,41 % respectivamente.

Palabras clave: Optimización, hormigón, ACI, ensayos, materiales.

ABSTRACT

This project focuses on optimizing the best-selling concrete mix design by the construction company of Leonardo Hernández, this concrete resistance is 210 kg/cm², located in the province of Esmeraldas, San Mateo. Altering the proportions of the materials used in the dosage mixture, which are: cement, water, additives and aggregates. These last one is mined, crushed and distributed in the construction company for its on stock. Following the requirements established by the American concrete institute (ACI), the Ecuadorian Technical Standard (NTE) and the Ecuadorian Standardization Institute (INEN), the statistical analysis corresponding to the test history that was made, we obtain that the client currently presents an envelope design of 4.16 MPa resulting in the waste of a lot of material and therefore the decrease in profits.

At the same time, the ACI-211 method was followed, replicating the current mix design to see if it presents similar values of resistance to those supplied by the client. Likewise, the preparation of the optimized mix was carried out to subsequently measure the compressive strength by means of cylinder ruptures corresponding to 3,7,14 and 28 days. In addition, to carry out an industrial test with the optimized design. For this research work, a statistical analysis is used based on previously carried out tests where it was possible to optimize the pattern design, reducing 13 kg of cement and 9 liters of water, having a balance in the other materials. Likewise, having a saving of \$2.65 per m³ equivalent to 3.33% with respect to the current design. Resulting in a process that can be replicated for other concrete mix designs. Finally, an environmental impact calculation was made by reducing the amount of greenhouse gases (CO₂), water consumption (Lts) and energy consumption (KJ), having as a reduction to these parameters: 4.81%, 4.76% and 5.41% respectively.

Keywords: Optimization, concrete, ACI, tests, materials.

ÍNDICE EN GENERAL

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS	2
DECLARACIÓN EXPRESA.....	4
EVALUADORES	6
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE EN GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Problemática	4
1.3. Localización	5
1.4. Información básica	5
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo General	7
1.5.2. Objetivos Específicos	7
1.6. Justificación	8
CAPÍTULO 2	9
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	9
2.1. Marco teórico	9
2.1.1. Hormigón	9
2.1.1.1. Propiedades del Hormigón Fresco.....	9
2.1.1.2. Propiedades del Hormigón Endurecido.....	10
2.1.2. Agregados.....	12
2.1.2.1. Clasificación de los agregados para Hormigón.....	12
2.1.3. Agua para mezcla	13
2.1.4. Cemento	14
2.1.5. Cementos Portland	14
2.1.5.1. Cementos hidráulicos compuestos	14
2.1.5.2. Cementos hidráulicos por desempeño.....	15
2.1.5.3. Cemento tipo HE	15

2.1.6.	Aditivos	16
2.1.6.1.	Tipos	17
2.1.7.	Método ACI 211	¡Error! Marcador no definido.
2.2.	Metodología.....	21
2.3.	Trabajo de campo, laboratorio y gabinete.....	21
2.4.	Análisis de alternativas	23
2.4.1.	Análisis detallado de las alternativas.....	23
2.5.	Escala de evaluación.....	25
2.5.1.	Criterios del proyecto	25
2.5.2.	Conclusión:	26
2.6.	Plan de trabajo	28
CAPÍTULO 3		30
3.	OPTIMIZACIÓN	30
3.1.	Cálculo estadístico.....	30
3.2.	Análisis del historial	32
3.3.	Caracterización de los equipos.....	33
3.4.	Ensayos de Abrasión.....	36
3.5.	Ensayo material orgánico	36
3.6.	Ensayo Densidad, gravedad Específica y Absorción	37
3.7.	Contenido de Humedad.....	39
3.8.	Granulometría.....	40
3.8.1.	Agregado grueso.....	40
3.8.2.	Agregado fino.....	41
3.9.	Asentamiento.....	43
3.10.	Tamaño máximo del agregado.....	44
3.11.	Estimación contenida de aire	44
3.12.	Estimación de la cantidad de agua de mezclado.....	44
3.13.	Relación agua/cemento.....	45
3.14.	Estimación de agregado grueso.....	47
3.15.	Elaboración de mezclas	48
3.15.1.	Diseño patrón y optimizado en laboratorio.....	49
3.15.2.	Diseño para Prueba industrial.....	50
3.16.	Diseño patrón.....	51
3.16.1.	Corrección de humedad	51
3.17.	Diseño optimizado.....	53
3.17.1.	Corrección de humedad	53
3.18.	Prueba industrial	56

3.18.1.	Corrección de humedad	56
3.19.	Temperatura	59
3.20.	Resistencia a la compresión.....	59
3.21.	Resultados	60
3.22.	Especificaciones técnicas	62
CAPÍTULO 4		63
4.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	63
4.1.	Objetivos	63
4.2.	Descripción general medio ambiental de la planta.....	63
4.4.	Evaluación comparativa de impactos ambientales antes y después de la optimización 64	
4.4.1.	Emisión de gases de infecto invernadero	65
4.4.2.	Consumo de agua	69
4.4.3.	Consumo de energía	72
4.5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	76
CAPITULO 5		77
5.	PRESUPUESTO	77
5.4.	EDT.....	79
5.5.	Descripción de rubros	80
5.6.	Análisis de costos unitarios	82
CAPÍTULO 6		86
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
6.4.	Conclusiones.....	86
6.5.	Recomendaciones	87
BIBLIOGRAFÍA		88
ANEXOS A.....		91
TABLAS Y GRÁFICAS		91
ANEXOS B.....		98
ENSAYOS DE LABORATORIO		98
ANEXOS C.....		107
PRUEBA FOTOGRÁFICA.....		107

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
NTE	Normativa Técnica Ecuatoriana
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACI	American Concrete Institute
APUs	Análisis de Precios Unitarios
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
SNAP	Intersección con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas
PFE	Patrimonio Forestal del Estado
BVP	Bosques y Vegetación Protectora
A/C	Relación Agua-Cemento
SSS	Superficial Saturado Seco
PUS	Peso Unitario Saturado
PUC	Peso Unitario Compactado
% CA	Porcentaje de Cantidad de Absorción
% CH	Porcentaje de Cantidad de Humedad
MF	Módulo de Finura
TN. MAX	Tamaño Máximo Nominal
Pe	Peso Especifico

SIMBOLOGÍA

m	Metro
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
KJ	Kilo Julios
Lts	Litros
CO ₂	Dióxido de Carbono
N	Newtons
U	Unidades
Cant	Cantidad
Kg/cm ²	Kilogramos sobre centímetros al cuadrado
Kg/m ³	Kilogramos sobre metros cúbicos
Lbs	Libras
Dot	Dotación

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización de constructora “Leonardo Hernández”	5
Figura 2: Vista aérea de constructora “Leonardo Hernández”	6
Figura 3: Agregados finos y grueso [autores]	7
Figura 4: Desarrollo de resistencias	18
Figura 5: Metodología del proyecto [autores].....	21
Figura 6: Cronograma de actividades parcial [autores].....	28
Figura 7: Diagrama Gantt de actividades parcial [autores]	29
Figura 8: Criterios de aceptación de la resistencia a compresión [autores].....	31
Figura 9: Análisis estadístico que presenta el historial de diseño con resistencia a compresión de 28 días [autores].....	32
Figura 10: Tamaño máximo nominal para la muestra [Fuente: NTE INEN 857].....	38
Figura 11: Tamaño máximo nominal para agregado grueso [Fuente: NTE INEN 696]	40
Figura 12: Resultados de la curva granulométrica del agregado $\frac{3}{4}$ [autores].....	42
Figura 13: Resultados de la curva granulométrica del agregado fino [autores].....	42
Figura 14: Curva de Abrams [Fuente: (Carvajal Taco, 2013)].....	46
Figura 15: Diagrama de flujo para la elaboración del hormigón mediante el método ACI [autores]	48
Figura 16: Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo [Fuente: NTE INEN 1573]	59
Figura 17: Resultados de las resistencias del diseño patrón y optimizado [autores].....	61
Figura 18: Emisiones de CO ₂ en 1 m ³ para los diseños de mezcla modelo y optimizada [autores]	66
Figura 19: Emisiones de CO ₂ en 1 m ³ por año para los diseños de mezcla modelo y optimizada [autores]	68
Figura 20: Consumo de agua en Lts en 1m ³ para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores].....	69
Figura 21: Consumo de agua en Lts en 1m ³ por años para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores]	71
Figura 22:Dotaciones media futura [Fuente: Norma CPE INEN 005-9].....	71
Figura 23: Consumo de energía en GJ en 1m ³ para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores]	73
Figura 24: Consumo de energía en GJ en 1m ³ por año para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores]	75
Figura 25: Estructura de desglose de trabajo [autores]	79
Figura 26:Comparación de costos de la mezcla modelo con la mezcla optimizada [autores] ...	85
Figura 27: Resistencia del diseño patrón [autores]	96
Figura 28: Resistencia del diseño optimizado [autores]	96
Figura 29: Resistencia del diseño industrial [autores].....	97
Figura 30: Resistencia en general de los diseños [autores].....	97
Figura 31: Ensayo de material orgánico [Fuente: Holcim].....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Normas publicadas de cementos hidráulicos [Fuente: HOLCIM S.A.].....	14
Tabla 2: Requisitos físicos para varios tipos de cemento [Fuente: NTE INEN 2380]	16
Tabla 3: Comparación entre los aditivos plastificantes y superplastificantes	19
Tabla 4: Criterio de evaluación para alternativa 1 [autores]	25
Tabla 5: Criterio de evaluación para alternativa 2 [autores]	26
Tabla 6: Criterio de evaluación para alternativa 3 [autores]	26
Tabla 7: Calificación e interpretación de la producción [Fuente: ACI 214]	30
Tabla 8: Tabla de resumen de evaluación del hormigón [autores].....	31
Tabla 9: Caracterización de los instrumentos o equipos [autores].....	33
Tabla 10: Especificaciones para las cargas [Fuente: NTE INEN 860].....	36
Tabla 11: Resultados del ensayo de Abrasión [autores].....	36
Tabla 12: Ensayo de material orgánico [Fuente: Holcim].....	37
Tabla 13: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado fino [autores].....	38
Tabla 14: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado grueso [autores].....	38
Tabla 15: Resultados del ensayo de humedad para los agregados del diseño modelo [autores]	39
Tabla 16: Resultados del ensayo de humedad para los agregados del diseño optimizado [autores].....	39
Tabla 17: Asentamientos recomendados para cualquier tipo de construcción	43
Tabla 18: Tolerancias de asentamientos [Fuente: NTE INEN 1855-1].....	43
Tabla 19: Porcentaje promedio de aire atrapado	44
Tabla 20: Agua en kg/m³ de concreto para los TMN del agregado indicado	45
Tabla 21: Relación agua/cemento en función a las resistencias.....	46
Tabla 22: Estimación del módulo de finura [Fuente: ACI Comité 211]	47
Tabla 23: Porcentaje de contenido de agua [autores].....	51
Tabla 24: Dosificación del diseño patrón [autores]	52
Tabla 25: Porcentaje de contenido de agua [autores].....	53
Tabla 26: Dosificación del diseño optimizado [autores]	54
Tabla 27: Porcentaje de contenido de agua [autores].....	56
Tabla 28: Dosificación del diseño optimizado prueba industrial [autores]	57
Tabla 29: Resultados de los ensayos a compresión de todos los diseños [autores].....	60
Tabla 30: Resultado de las categorías de impacto de la evaluación del ciclo de vida para 1 tonelada de cemento hidráulico compuesto.....	65
Tabla 31: Resultados de las emisiones de CO ₂ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m ³ [autores].....	67
Tabla 32: Resultados de las emisiones de CO ₂ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m ³ por año [autores]	68
Tabla 33: Resultados del consumo de agua en Lts para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m ³ [autores].....	70
Tabla 34: Resultados del consumo de agua en Lts para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1 m ³ por año [autores]	71
Tabla 35: Resultados del consumo de ebergía en GJ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m ³ [autores].....	74
Tabla 36: Resultados del consumo de ebergía en GJ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m ³ por año [autores]	75
Tabla 37: Análisis de precios unitarios del diseño patrón para 1m³	82
Tabla 38: Análisis de precios unitarios del diseño optimizado para 1m³	83

Tabla 39:Desviación estándar del historial de ensayos [autores].....	92
Tabla 40: Evaluación del hormigón [autores].....	93
Tabla 41: Resistencias a la compresión de cilindros de hormigón [autores]	95
Tabla 42: Ensayo de Abrasión [autores].....	99
Tabla 43: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado fino [autores].....	101
Tabla 44: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado grueso [autores].....	102
Tabla 45: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/4 [autores].....	103
Tabla 46: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/8 [autores].....	103
Tabla 47: Ensayo de Humedad para agregado fino [autores].....	103
Tabla 48: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/4 [autores].....	104
Tabla 49: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/8 [autores].....	104
Tabla 50: Ensayo de Humedad para agregado fino [autores].....	104
Tabla 51: Granulometría de agregado grueso ¾ [autores]	105
Tabla 52: Granulometría de agregado fino [autores]	106

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales que está formado por la mezcla de cemento, agua, agregado fino y grueso, además de ser el material más utilizado para la construcción. De tal forma el siguiente trabajo de investigación reviste de gran importancia a la elaboración de una mezcla de hormigón optimizada debido a que se tiene un mejor control sobre la cantidad de los materiales utilizados, de tal manera que se contribuye a un menor impacto ambiental manteniendo la calidad y resistencia del Hormigón.

El concreto u hormigón se fabrica para que cumpla con criterios de resistencia, durabilidad y trabajabilidad teniendo en cuenta los diferentes métodos de elaboración de los cuales en esta investigación se utiliza el método ACI211, el cual se basa en ensayos de prueba y error de manera empírica que garanticen cubrir las necesidades de cada caso específico.

Debido a la pandemia del COVID-19 actualmente en la ciudad de Esmeraldas no se encuentran muchas hormigoneras ya que la demanda disminuyó en comparación a años anteriores además de que estas deben estar alejadas de la ciudad por motivos de seguridad ambiental para los ciudadanos.

Cabe mencionar que en el sector de la construcción se busca innovar en nuevos métodos correspondientes al uso del hormigón, debido a que en comparación con el acero es un material más económico cuyas resistencias a la compresión son similares. Además, de que brinda facilidades de construir elementos en diferentes formas debido a su fluidez en estado fresco.

En el desarrollo de esta investigación se realizó la optimización de los materiales utilizados para la dosificación de la mezcla de hormigón, correspondiente al diseño más vendido por la constructora Leonardo Hernández ubicado en la ciudad de Esmeraldas.

1.1. Antecedentes

León & Rosero, (2016) elaboró un estudio para su tesis en la ciudad de Quito en la universidad Central del Ecuador denominado *Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones* que tuvo como objetivo Optimizar una mezcla de hormigón permeable, partiendo de 3 distintas graduaciones, empleando agregados obtenidos de las canteras Pintag y San Antonio, el cual corroboró que el diseño de la mezcla se realiza a partir de 3 diferentes graduaciones, las cuales fueron: 3/8", N° 4 y N° 8.

Se utilizó un aditivo superplastificante que permitió alcanzar la adecuada relación agua/cemento, y a su vez aumentar la trabajabilidad de la mezcla para lograr una pasta uniforme. Con el agregado de la cantera de Pintag se obtuvo mejores resultados, debido a que con la graduación 3/8" y la N°4 alcanzó resistencias aceptables; además, que a partir de los 21 días la resistencia del hormigón permeable se estabilizó o su crecimiento fue muy poco.

Basándose en la experimentación, el cemento mejor adaptable a la mezcla de hormigón permeable fue el cemento Chimborazo HE ya que, sus características brindó las propiedades necesarias para la mezcla y alcanzar resistencias adecuadas por lo que se pudo concluir que el diseño óptimo de mezcla para un hormigón permeable se consiguió con el agregado de Pintag, debido a que, se alcanzó resistencias altas, principalmente con la graduación N°4, con relación agua/cemento de 0,55, logrando así una resistencia a la compresión de 24,6 MPa.

Mientras que Sánchez & Ardila, (2013) en su estudio investigativo realizado en la Universidad Piloto de Colombia denominado *Optimización de la mezcla de concreto hidráulico por medio de la inclusión de escoria acerada reemplazando el agregado fino* que tuvo como objetivo verificar la posible disminución en el costo de producción del concreto, por medio de la reducción de la cantidad de arena utilizada en la mezcla, garantizando una resistencia adecuada.

Se realizó 4 diferentes diseños de mezclas de concreto, basándose en la normativa colombiana. El método que se utilizó para la elaboración de las muestras de hormigón es el ACI 211, el cuál es el más utilizado por países de América.

De los 4 diseños realizados, 1 se destinó para replicar el diseño común de una mezcla sin alteraciones, y con los otros 3 diseños se sustituyó el agregado por escoria

metálica en distintos porcentajes. Para los 2 primeros diseños modificados se obtuvo que la resistencia no superaba el 80% de lo esperado, en cambió el tercero, aunque no cumplió con la resistencia esperada al 100% si estuvo muy por encima de lo obtenido por las otras 2 muestras. (Sánchez & Ardila, 2013)

Dicho estudio presentó una disminución de más de \$5000 (pesos colombianos) en el costo m^3 para cada uno de los diseños realizados por lo que la producción total disminuyó un 4% con respecto a diseño ejemplar.

A su vez Herrera & Vargas, (2018) en su investigación *Optimización de mezclas de concreto mediante la aplicación del método Walker y la introducción de un aditivo experimental* realizada en Bogotá con el objetivo de analizar la relación costo-beneficio del uso del aditivo en el sector de la construcción en función de la disminución de cemento desde un punto de vista ambiental y económico en el que, se hizo ensayos fisicoquímicos a los agregados pétreos, para ingresar dicha información al Método Walker. Obteniendo la dosificación de una resistencia específica, pero con una variación, la cual es variar la cantidad de cemento y aumentar la de arena en iguales proporción, añadiendo una dosis de aditivo experimental en función al cemento empleado. El cual tuvo como hipótesis el mejoramiento de la resistencia mecánica del concreto. Dando como principales resultados una comparación de los cilindros de hormigón con su normal dosificación inicial respecto a los que poseen una variación porcentual.

Se obtuvo también que el aditivo logra ahorrar una gran cantidad de recursos si se plantea la hipótesis de la reducción óptima del 18% para una producción constante de cemento bajo dicho planteamiento, sin embargo, la relación costo/beneficio no resulto ser muy satisfactoria desde el punto de vista financiero, ya que por cada metro cubico de concreto se requiere una gran cantidad de aditivo con respecto a la cantidad de cemento suministrada a la mezcla. Finalmente se concluyó que siempre será mejor no reducir la cantidad de cemento en la mezcla y a su vez, aplicar una cantidad considerable de aditivo a la misma Herrera & Vargas, (2018).

1.2. Problemática

La pandemia originada por el COVID 19 y la aparición de nuevas constructoras en la zona ha hecho que la producción de hormigón haya disminuido considerablemente. Presentando la siguiente problemática: Los costos de producción generados por el cliente son elevados y la demanda ha disminuido, por ende, las utilidades obtenidas también han disminuido en comparación a los años anteriores. Lo que ha afectado a nuestro cliente la constructora “Leonardo Hernández” que se dedica a la elaboración y venta de hormigón premezclado, ubicada en la provincia de Esmeraldas.

El uso de materiales de construcción de manera eficiente conlleva a obtener mayores beneficios económicos, técnicos, y ambientales. Conociendo los elevados costos de producción para la elaboración de la mezcla de hormigón, haciendo énfasis en los materiales y en la situación actual en la que se encuentra el país, se requiere buscar alternativas que mejoren las ganancias sin reducir la calidad del producto.

La producción de mezclas de hormigón requiere de varios procesos que en su mayoría no son amigables al medio ambiente y producto de esto presentan efectos nocivos. Uno de los materiales más importantes para la elaboración del hormigón es el cemento, este a su vez posee diferentes compuestos entre los cuales se encuentra el “Clinker”, que es el principal causante en emitir dióxido de carbono (CO₂), generando así un impacto ambiental considerable.

Alcance

- El alcance del presente proyecto consta en realizar la optimización de la mezcla de hormigón $210 \frac{Kg}{cm^2}$ el cuál es el diseño más vendido por la constructora “Leonardo Hernández”, mediante la combinación de diferentes proporciones de materiales. Además de la elaboración de una prueba industrial para comprobar la optimización del diseño realizado en el laboratorio.
- Cálculo del impacto ambiental y el ahorro de dinero para la producción del diseño de hormigón optimizado y comparación con respecto al diseño actual.
- Los materiales del diseño que se va a estudiar en este proyecto son: agregado grueso $\frac{3}{4}$, arena fina, cemento tipo HE, aditivo Máster Polyheed 939 (Retardante Plastificante) y aditivo Máster Rheobuilt 3700 (Superplastificante).

1.3. Localización

La constructora “Leonardo Hernández” se encuentra ubicada en la Parroquia San Mateo, en la Provincia de Esmeraldas, zona rural de la ciudad de Esmeraldas.

Las coordenadas geográficas de la constructora son las siguientes:

- 0°54'24"N
- 79°38'37"W

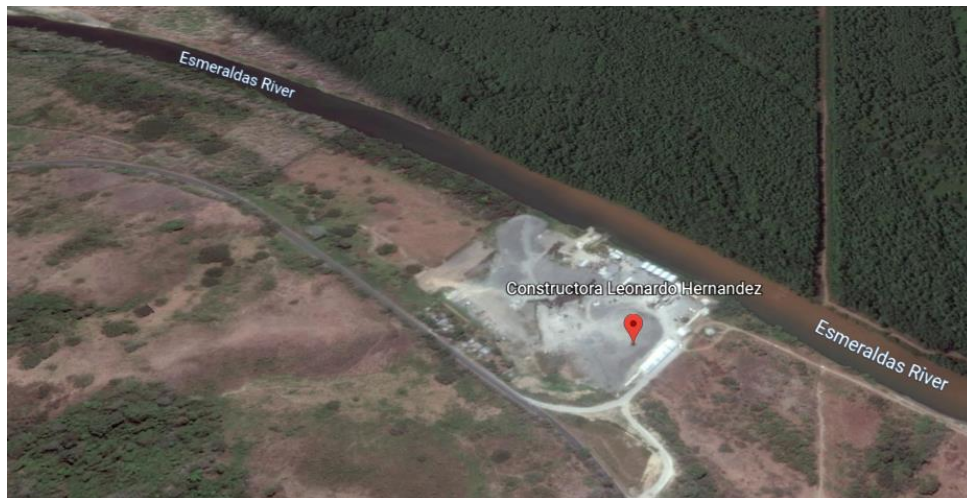


Figura 1: Localización de constructora “Leonardo Hernández”
[Fuente: Google Earth]

1.4. Información básica

La constructora proporcionó con información del historial de áridos y de algunos diseños del año 2021, documentos de los ensayos de los agregados que se realizaron anteriormente por otro proveedor, uso de los materiales que se encontraban en las canteras, así como también sus instalaciones, entre ellos el laboratorio.

La empresa dispone de una planta mezcladora automatizada de origen española, donde hay control de las cantidades de los materiales; arena, grava, agua, cemento y aditivos para obtener una mezcla homogénea de buena calidad acorde a los diseños de hormigón. Así como también un laboratorio para la realización de ensayos y maquinaria pesada para la distribución del producto.



Figura 2: Vista aérea de constructora “Leonardo Hernández”
[Fuente: Diseño del sistema de gestión del talento humano (Panchi, David , 2107)]

Las principales fuentes de la materia prima para obtener los agregados tales como: agregado grueso 3/4, agregado grueso 3/8 y arena gruesa, son las minas que se ubican a lo largo del Río Esmeraldas, los cuales son bancos de material que se minan con maquinaria pesada para su acumulación en stock, su posterior trituración mediante una exhaustiva distribución en cantera y lavado de estos.

La producción mensual del hormigón varía entre 400 m³ hasta 2000 m³ dependiendo del sector de la construcción en la provincia. Al mes, la planta cuenta con una cantidad de materiales suficiente para abastecer la producción de hormigón solicitada, estas cantidades en promedio son de 1000 m³; de arena, agregado grueso 3/4 y agregado grueso 3/8.



Figura 3: Agregados finos y grueso [autores]

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Diseñar el proporcionamiento de la mezcla de hormigón de 210 kg/cm^2 mediante la elaboración de experimentos, modificando la dosificación original para la optimización de los costos de producción y reduciendo el impacto ambiental.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar el análisis estadístico que presenta el historial de diseño de mezcla de hormigón orientado en los valores de la resistencia a compresión a los 28 días.
- Cumplir con la resistencia de diseño establecida de 210 kg/cm^2 , combinando los materiales en proporciones distintas.
- Reducir el impacto ambiental en la elaboración del diseño de mezcla de hormigón original.
- Comparar los costos de la optimización del diseño realizados de forma experimental, con los realizados por la constructora “Leonardo Hernández”.

1.6. Justificación

El presente trabajo de investigación reviste de gran importancia al diseño de mezclas de hormigón mediante el método ACI 211, ya que el hormigón se ha convertido en el material más importante dentro de la construcción debido a su alto nivel de resistencia a la compresión, durabilidad y economía.

Es necesario realizar esta investigación ya que, a lo largo de ella, se analizará la eficiencia de las diferentes mezclas, manteniendo la calidad de esta, para así poder optimizar los recursos económicos y humanos en la elaboración de estas.

Por ende, la necesidad e importancia de este proyecto es realizar la optimización al diseño de la mezcla de hormigón de 210 kg/cm^2 por la cual abarcaría varios puntos; empezando por la ejecución de los ensayos a los materiales, la variación de las proporciones de los agregados o el cambio de las marcas de estos aplicados en la dosificación del diseño, la elaboración de los cilindros de hormigón de la mezcla optimizada y la comprobación mediante una prueba industrial realizada en la planta.

Es por esto por lo que es de vital importancia mantener la calidad del producto buscando estrategias que requieran menores esfuerzos en la cadena de producción y menor cantidad de materiales que contribuyan a la reducción de la huella de carbono.

Todo esto con el objetivo de la reducción de costos en la que beneficiará a la constructora "Leonardo Hernández", promoviendo así; edificaciones económicas, seguras y partidarias con el medio ambiente, brindando atención siempre a las implicaciones que se presentan en la producción de dicho material.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1. Marco teórico

2.1.1. Hormigón

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, que une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca (Kosmatka S. , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, p.1).

A su vez Romea, (2014) señala que en la actualidad el hormigón es un material con sus propiedades gobernables, puede decirse que programables. Es posible actuar sobre cuatro parámetros que conforman la familia de las cualidades de un hormigón: la consistencia y la trabajabilidad, la durabilidad, sus propiedades mecánicas y finalmente su aspecto exterior.

2.1.1.1. Propiedades del Hormigón Fresco

Se llama hormigón fresco al hormigón que por su plasticidad puede moldearse, aunque esto no es permanente (BECOSAN, 2021). Ese tiempo va desde que el hormigón se crea hasta que se inicia el fraguado del cemento. A su vez, este tiempo es completamente variable porque depende de los aditivos usados, la temperatura, la dosificación de agua, la clase de cemento utilizado y otros factores. (p.1)

Las principales propiedades del hormigón fresco según (BECOSAN, 2021) son las siguientes:

- Consistencia
- Trabajabilidad
- Homogeneidad
- Densidad

Consistencia

Es la capacidad que ofrece el hormigón fresco para deformarse. Se mide a través del descenso en centímetros con el ensayo del cono de Abrams.

Trabajabilidad

Su capacidad para ser desplazado de un lugar a otro con los medios que tengamos.

Homogeneidad

Constituye la característica de distribución de todos los ingredientes del hormigón en similares proporciones.

Densidad

Es la cantidad de peso por unidad de volumen (densidad = peso/volumen), la misma que variará de acuerdo con la calidad de los agregados y con la forma de colocación en obra.

2.1.1.2. Propiedades del Hormigón Endurecido

Según (Yancha, 2013) el hormigón endurecido se compone de los agregados, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y la red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo).

Las principales propiedades del hormigón endurecido son las siguientes:

- Densidad
- Resistencia mecánica
- Módulo de rotura
- Resistencia térmica
- Resistencia a la tracción
- Resistencia al corte
- Resistencia al desgaste
- Durabilidad
- Permeabilidad
- Porosidad
- Módulo de elasticidad

Densidad

La densidad del hormigón endurecido depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del hormigón.

Resistencia mecánica

El hormigón es un material que resiste a las solicitaciones de compresión, tracción y flexión. La resistencia mecánica es una de las propiedades más importantes del hormigón, principalmente cuando se le utiliza con fines estructurales.

Módulo de rotura

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón) expresada como el Módulo de Rotura (MR) en Newton por milímetro cuadrado (MPa.) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM.

Resistencia térmica

La Resistencia térmica es la capacidad que tiene el hormigón para soportar diferencias térmicas notables, tales como:

- Bajas temperaturas. Hielo/deshielo
- Altas temperaturas. Mayores de 50 °C o más (según el tipo de hormigón)

Resistencia a la tracción

El hormigón es un material ineficiente resistiendo cargas de tracción; comparativamente esta resistencia representa hasta el 10 % o 15 % de su capacidad a la compresión.

Resistencia al corte

Es la resistencia a los esfuerzos cortantes en diagonales los cuales varían entre 35 – 80 % con respecto a la resistencia a compresión.

Resistencia al desgaste

En aplicaciones el hormigón como: los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, deben tener una resistencia elevada a la abrasión. Un hormigón de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja.

Durabilidad

Es la capacidad del hormigón de resistir el paso del tiempo sin perder sus otras propiedades.

Permeabilidad

La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del hormigón cuando el agua se encuentra sometida a presión, o a la capacidad del hormigón de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.).

Porosidad

La porosidad se considera la proporción de huecos respecto de la masa total. Influye en la resistencia, la densidad, y la permeabilidad del Hormigón.

Módulo de elasticidad

Es un parámetro que caracteriza cómo se comporta un material elástico, dependiendo de la dirección en la que es aplicada la fuerza, su valor es igual para tracción y compresión, sin exceder un valor máximo el cual se denomina límite elástico.

2.1.2. Agregados

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la norma NTE INEN 872 (Tecnocrete, 2022).

Los agregados se refieren a una serie de partículas artificiales o naturales que pueden ser elaborados o tratados y tener tamaños diversos, como trozos de piedras o partículas muy finas. Cuando se junta con el agua y cemento conforman el hormigón (CHRYSO, 2021).

2.1.2.1. Clasificación de los agregados para Hormigón.

Por su procedencia

- **Agregados naturales.** - Formados por los diferentes procesos geológicos
- **Agregados artificiales.** – Proviene de una trituración a través de máquinas, cuyos resultados pueden ser piedra triturada y escoria siderúrgica. (Rivera, s.f)

Por su tamaño

- **Agregado grueso.** - Como agregado grueso se conoce a la porción de material retenida en el tamiz que mide 4.75 mm, que es el N° 4, el cual procede de la trituración de grava o de rocas metamórficas, rocas ígneas o rocas sedimentarias.
- **Agregado fino.** - Se refiere específicamente a la fracción de arena o grava que pasa por el tamiz cuya medida pasa el tamiz de N° 4 hasta el tamiz N° 200. Proviene de la trituración de gravas, rocas o escorias siderúrgicas. Este material debe cumplir algunos requisitos específicos, de acuerdo con las normativas vigentes.

2.1.3. Agua para mezcla

El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento generando el proceso de hidratación, que desencadena una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buen uso se convierte en el parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del concreto en la aplicación.

El agua en el concreto es fundamental porque al relacionarla con la cantidad de cemento contenido en la mezcla (relación agua/cemento), es la que determina la resistencia de este y en condiciones normales su durabilidad (Osorio J, 2020).

En la industria de la construcción generalmente se considera que indistintamente de haber recibido o no algún tratamiento con anterioridad, si el agua a usarse es apta para el consumo humano entonces también puede ser utilizada para la producción de cemento.

Es permitido el uso de agua no potable ya sea parcial o en su totalidad siempre que cumpla con los requisitos descritos en la (NTE INEN 2617).

2.1.4. Cemento

El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto (Neville, 2013).

Es la unión de diversos materiales y minerales que forman una mezcla homogénea y a la vez compacta, cuyas propiedades principales son la adherencia y cohesión por lo que se puede definir como un material aglutinante.

Existen 3 publicaciones para las normas de cementos hidráulicos como se observa en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1: Normas publicadas de cementos hidráulicos [Fuente: HOLCIM S.A.]

Título de norma	Norma Nacional	Norma Internacional	1ra Publicación
Cementos Portland.	NTE INEN 152	ASTM C150	1940
Cementos Hidráulicos Compuestos	NTE INEN 490	ASTM C595	1967
Cementos Hidráulicos Requisitos de desempeño	NTE INEN 2380	ASTM C1157	1992

2.1.5. Cementos Portland

Según la (NTE INEN 151) lo define como un cemento hidráulico el cual es elaborado de la pulverización de Clinker que usualmente posee algunos elementos como: sulfatos de calcio (yeso), agua, menos o igual al 5 % de piedra caliza entre otras adiciones que se colocan en el proceso. En la norma (NTE INEN 152) se establecen los tipos y requisitos que deben cumplir los cementos Portland.

2.1.5.1. Cementos hidráulicos compuestos

Es un cemento hidráulico que como su nombre mismo lo indica está conformado por dos o más compuestos orgánicos, adicionando material puzolánico entre 15 % - 40 % al cemento Portland, con el fin de que se mejore las propiedades de la resistencia del cemento. En la norma (NTE INEN 490) establece tres tipos de cemento: Tipo IS, IP, IT; requisitos físicos y químicos que este tipo de cemento debe cumplir.

2.1.5.2. Cementos hidráulicos por desempeño

Según la norma (NTE INEN 2380) clasifica los tipos de cemento basándose en su desempeño los cuales son:

- Tipo GU: Su uso es para construcción en general
- Tipo HE: Posee alta resistencia inicial
- Tipo HS: Posee alta resistencia al ataque originado por sulfatos
- Tipo MS: Posee moderada resistencia al ataque originado por sulfatos
- Tipo LH: Posee bajo calor de hidratación
- Tipo MH: Posee moderado calor de hidratación

Así mismo mediante esta norma se establecen los requisitos físicos normalizados y opcionales que cada tipo de cemento debe cumplir.

2.1.5.3. Cemento tipo HE

Es un tipo de cemento hidráulico cuya característica principal es obtener resistencias altas en fases iniciales es por lo que lleva las siglas HE "*high early-strength*", elaborado bajo la norma NTE INEN 2380, Su composición principalmente es de yeso, Clinker de cemento Portland y aditamentos de puzolanas Holcim, (2016).

Este cemento es de desencofrado rápido, es ideal al momento de elaborar hormigones que requieran resistencias mecánicas altas, realizar estructuras ubicadas en zonas con riesgo sísmico alto, estructuras masivas, puentes, pavimentos, etc.

Algunas especificaciones técnicas que debe cumplir este tipo de cemento establecidas por la norma son:

Requisitos químicos:

La norma para este tipo de cemento no realiza especificaciones con respecto a la composición química, sin embargo, se realizan análisis con el fin de obtener información.

Requisitos físicos:

En la Tabla 2 se presentan los valores requeridos para varios tipos de cemento entre los que se encuentra el tipo HE.

Tabla 2: Requisitos físicos para varios tipos de cemento [Fuente: NTE INEN 2380]

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D	INEN 488						
1 día		--	12	--	--	--	--
3 días		13	24	11	11	5	--
7 días		20	--	18	18	11	11
28 días		28	--	--	25	--	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	--	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		--	--	0,10	0,05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	0,10	--	--

Entre las ventajas que presenta este tipo de cemento tenemos:

- Resistencias altas al inicio y final.
- Aumento de la trabajabilidad.
- Reducción a la posibilidad de fisuración en grandes estructuras debido a que el calor de hidratación también se reduce.
- Desempeño de fraguado bueno.
- Aumento de la durabilidad debido a la resistencia química.
- Rápida colocación en servicio especialmente en vías de concretos y estructuras.
- Para el almacenamiento al granel se recomienda tener silos de mínimo 30 toneladas, puesto que es la capacidad promedio de los camiones graneleros.

2.1.6. Aditivos

Los aditivos son productos que se utilizan para modificar las propiedades iniciales que contiene el hormigón, se introduce en pequeñas cantidades de diferentes formas que pueden ser: polvo, pasta o líquido. La dosis que se utiliza depende del producto y el efecto variando entre 0.1 % y 5 % del peso total del cemento.

A través del tiempo su uso se ha vuelto habitual en el diseño de hormigón, siempre considerando con cuidado el nivel de influencia a distintas características de las cuales se quiere modificar.

De acuerdo con (Santiago Patricio, 2011) algunas propiedades del hormigón que permite controlar el uso de aditivos son:

- Trabajabilidad
- Tiempo de fraguado
- Resistencia, durabilidad e impermeabilidad

Según la norma ASTM C-494 “American Society for Testing and Materials”, los clasifica por siete tipos:

TIPO A: Aditivos reductores de agua

TIPO B: Aditivos retardadores de Fraguado

TIPO C: Aditivos aceleradores de Fraguado

TIPO D: Aditivos Reductores de agua y Retardadores

TIPO E: Aditivos Reductores de Agua y Aceleradores

TIPO F: Aditivos Reductores de Agua de Alto Efecto

TIPO G: Aditivos Reductores de Agua de Alto Efecto y Retardadores

2.1.6.1. Tipos

Tipo A

Corresponde a los aditivos plastificantes o también conocidos como reductores de agua, cuya finalidad es reducir la relación agua cemento (A/C) en las mezclas de hormigón alrededor de 5% a 10% sin que se vea afectada la trabajabilidad. (Carvajal & Cortés, 2019). La hidratación del cemento es afectada directamente en su rapidez, así como disminuye la viscosidad en la pasta de cemento, consiguiendo que la fluidez aumente y permitiendo que se reduzca la cantidad de agua a utilizar.

Tipo B

La característica principal es compensar el efecto ocasionado por las altas temperaturas en el hormigón fresco por lo que son muy esenciales para climas cálidos

(TOXEMENT, 2019). Su uso más frecuente es cuando los recorridos del mixer son muy extensos al momento de transportar desde la hormigonera hasta el lugar de entrega, minorando la pérdida de asentamiento y permitiendo que la mezcla se mantenga manejable durante más tiempo.

Tipo C

Son aditivos cuya función principal es la reducción del tiempo de fraguado cuando el concreto se encuentra en estado fresco agilizando la subida de resistencia en menor tiempo. El uso de este tipo de aditivos es comúnmente utilizado en climas con temperaturas muy bajas aproximadamente de 2 °C – 4 °C o cuando se necesita desencofrado rápido ya que permite el desarrollo de la resistencia a edad temprana (Kosmatka S. , Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Tipo D

Este aditivo líquido combina propiedades de dos sustancias, la primera es la de ser plastificante o reductora de agua y la segunda de retardadora, de tal manera que se puede obtener mejor trabajabilidad. (Rivera, s.f). Cuando se retarda la mezcla de hormigón es muy común que al inicio (1 a 3 días) la resistencia se afecte un poco en comparación a las muestras de control sin aditivo, sin embargo, su resistencia a los 28 días supera a las muestras usando la misma relación A/C.

A continuación, en la Imagen 3 se observa el desarrollo de las resistencias y el comportamiento del plastificante retardador en comparación con los otros tipos:

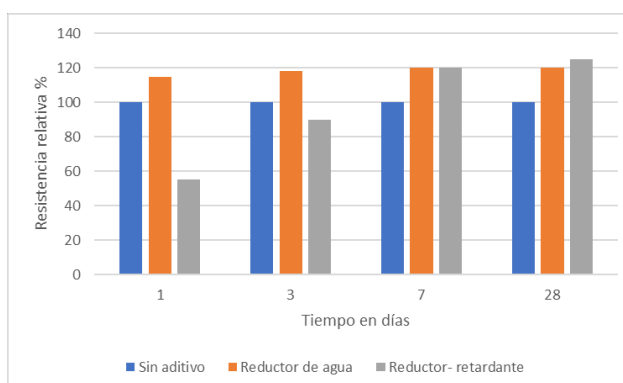


Figura 4: Desarrollo de resistencias

[Fuente: Rivera, Gerardo A. Concreto Simple. Universidad del Cauca]

Es utilizado mayormente en plantas porque no solo consigue alcanzar, sino también pasar la resistencia de diseño satisfaciendo los requerimientos de manejo.

Tipo E

Son aditivos que se deben colocar en el concreto fresco, cumplen con doble función las cuales son reducir el agua aproximadamente un 15 % a 18 % para aumentar la manejabilidad y la de aumentar la resistencia a cualquier edad. Posee una hidratación completa provocada por la buena distribución que existe de las partículas de cemento, convirtiéndolo en apto para el bombeo (Santiago, 2011).

Tipo F

Este tipo de aditivo tuvo su aparición en el mercado aproximadamente en los años 70, debido a la necesidad de los diseñadores y la industria de que en rascacielos y puentes se reduzca las secciones de los elementos portantes. Se plantearon la necesidad de un hormigón que escurra en el interior de las formaletas abarrotadas de acero como si fuera un fluido y además de que brinde resistencias más altas que las normales (Rivera, s.f).

Lo que diferencia a los superplastificantes es que su dosificación es hasta 5 veces más sin alteraciones significativas en el contenido de aire y el tiempo de fragua en comparación con los plastificantes. A continuación, se observa en la Tabla 3 la comparación entre los aditivos plastificantes y superplastificantes con relación al asentamiento y la reducción de agua.

Tabla 3: Comparación entre los aditivos plastificantes y superplastificantes
[Fuente: Rivera, Gerardo A. Concreto Simple. Universidad del Cauca]

ADITIVO	MÁXIMA REDUCCIÓN DE AGUA POSIBLE %
PLASTIFICANTE	12
SUPERPLASTIFICANTE	30

El incremento significativo de resistencia cuando se utiliza superplastificante se debe a que la porosidad en la pasta se reduce de tal manera que también se reduce el agua, así como una mejoría en la permeabilidad y durabilidad del concreto.

Tipo G

Este tipo de aditivo se caracteriza por ser super retardantes y reductores de agua de alto efecto. Su manejabilidad es muy alta hasta 8 horas aproximadamente y extiende el tiempo de trabajabilidad sobre todo para climas cálidos y largos acarrees, resultando así también ideal para preparar lechadas para inyección. Algunas de las otras ventajas son: La colocación de grandes cantidades de concreto sin formar juntas frías, facilita la fluidez al bombeo evitando obstrucciones o taponamientos, es casi innecesario el vibrado exceptuando partes densas (Patricio, 2011).

2.1.7. Método de proporcionamiento de hormigón convencional ACI 211

Debido a la variedad que existe en el ámbito de la construcción y a las continuas exigencias técnicas, para la dosificación de los materiales se ha buscado métodos de manera empírica, basándose en ensayos de prueba y error, de tal manera que, garantice cubrir las necesidades para cada caso específico (Bolívar , 2006). Como resultado investigaciones y experimentos realizados por Abrams, Talbot, entre otros, el Instituto Americano del hormigón (ACI) presento su método el cual daba resultados admisibles para hormigones cuya resistencia cumpla con ser menor a 42 MPa

Los pasos para la implementación de este método son los siguientes:

1. Recopilación de datos.
Estos deben de estar relacionados con los tipos de materiales a utilizar, la estructura y registros anteriores de mezclas similares
2. Según los datos obtenidos anteriormente, obtener la dosificación inicial, aplicando resultados empíricos
3. Una vez realizada la dosificación, preparar la mezcla y comprobar la trabajabilidad
4. Es caso de no cumplir se procede a corregir la dosificación hasta que cumpla con el requisito de trabajabilidad.
5. Preparar la mezcla con la dosificación adecuada
6. Comprobar la resistencia

7. Si cumple con la resistencia de diseño se logra la dosificación final, caso contrario se procede nuevamente a corregir la dosificación hasta que la misma cumpla

2.2. Metodología utilizada en el proyecto

Para el correcto desarrollo de los objetivos del proyecto se plantea seguir la siguiente metodología la cual se divide en 5 etapas como se observa en el siguiente gráfico:

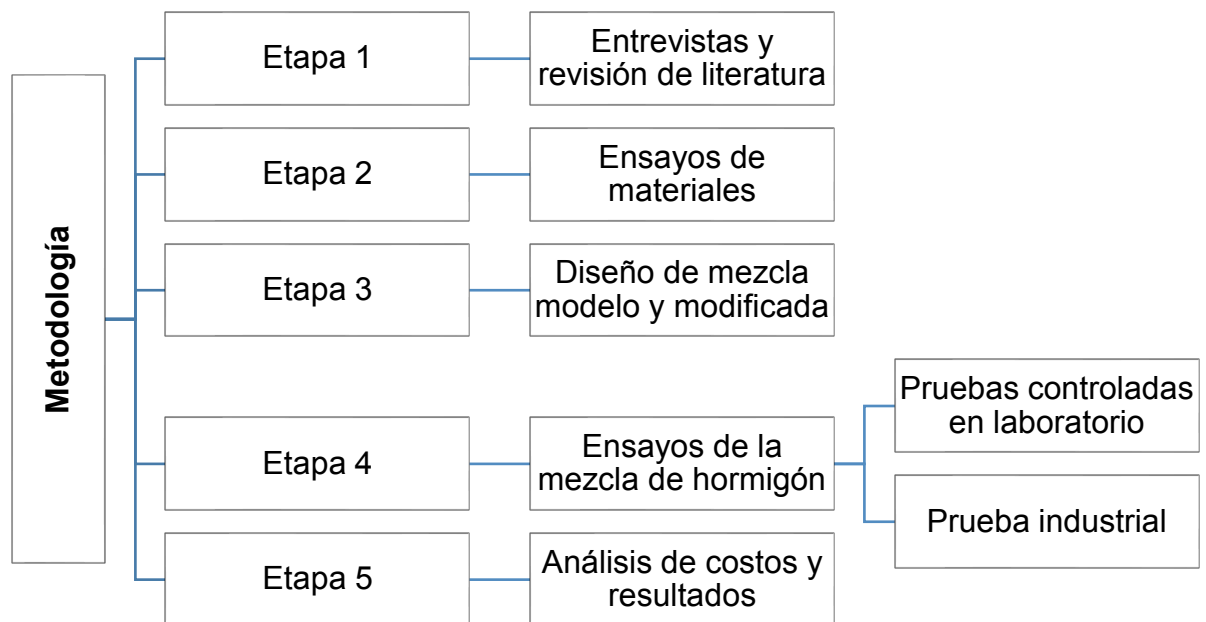


Figura 5: Metodología del proyecto [autores]

2.3. Trabajo de campo, laboratorio y gabinete

Etapa 1: Entrevistas y revisión de literatura

En esta fase se plantea realizar entrevistas al cliente con relación a su problemática, certificaciones del personal y máquinas, disponibilidad para uso de laboratorios y la resistencia de diseño más vendida. Seguido de solicitar datos sobre los ensayos realizados a los materiales, así como el historial de las resistencias obtenidas de los ensayos realizados al hormigón. Obtener información acerca de estudios

realizados, normas que deben cumplir los materiales y los ensayos, metodología del diseño y características de los materiales.

Etapa 2 Ensayos de materiales

Esta fase consiste en realizar los ensayos y análisis pertinentes al diseño del hormigón, siguiendo la “*norma técnica ecuatoriana*” NTE y la ejecución de los procesos por el “*instituto ecuatoriano de normalización*” INEN se procederá a realizar la caracterización de los materiales mediante ensayos de laboratorios tales como: Ensayo granulométrico, contenido de humedad, densidad específica, gravedad específica, contenido orgánico, absorción y abrasión. Utilizando los datos solicitados en la etapa anterior acerca de las resistencias obtenidas por el cliente se realizará un análisis estadístico, para obtener el rango aceptable y valor promedio que el cliente logra con su diseño actual.

Etapa 3 Diseño de mezcla modelo y modificada

Siguiendo lo que se expone en el método ACI 211 el cual se lo manifiesta con más detalle en el apartado 2.2. Se realizará el diseño de la mezcla modelo basándonos en los datos y proporciones de los materiales utilizados por el cliente, elaborando una hoja de cálculo automatizada en Excel para 1 m³, obteniendo en proporción las cantidades a utilizar en el laboratorio para una muestra de 23 litros.

Para el diseño de la mezcla modificada se realizará un proceso similar al diseño modelo, este a su vez se cambiarán las variables manteniendo la calidad del diseño de hormigón.

Etapa 4 Ensayos de la mezcla de hormigón

Se van a realizar las mezclas de hormigón mediante de 2 formas: La primera es en el laboratorio, se pesa las cantidades necesarias de los materiales para el diseño en una balanza previamente calibrada para luego colocar todo dentro de la mezcladora, y el segundo es una prueba industrial la cual se la realiza mediante una planta mezcladora automatizada en la cual se ingresan las cantidades de materiales que se necesita para la elaboración de 1 m³. Una vez obtenidas las mezclas mínimo se van a elaborar 8

cilindros de hormigón de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto aproximadamente, para realizar los ensayos de resistencias a los 3, 7, 14 y 28 días, utilizando 2 cilindros para cada día mencionado.

Etapas 5 Análisis de costos y resultados

Se realizará el análisis e interpretación de los resultados para determinar si cumple con los objetivos planteados al inicio de este proyecto, así como también el análisis de los costos para la elaboración de la mezcla modificada en comparación con los costos actuales del cliente.

2.4. Análisis de alternativas

Para el presente proyecto se plantea 3 alternativas

- Cambiar la casa comercial y tipos de los materiales
- Optimizar los materiales utilizados en la dosificación de la mezcla para alcanzar mejor desempeño en estado fresco y estado endurecido.
- Mejorar el proceso de elaboración de las mezclas de hormigón

Criterios para evaluación

- Económico
- Ambiental
- Uso de recursos
- Complejidad de procesos

2.4.1. Análisis detallado de las alternativas

➤ Alternativa 1

Para esta alternativa se plantea utilizar diferentes tipos de materiales variando el proveedor y su calidad, específicamente en el cemento y los aditivos debido a que el cliente cuenta con su propia mina de donde obtiene los agregados, aplicada de manera directa en la dosificación del diseño. En el Ecuador existen

varias casas comerciales que distribuyen cemento y aditivos entre las más reconocidas se encuentran: Holcim, Chimborazo, MásterBuilders, Sika, etc.

La empresa actualmente utiliza 2 clases de aditivos que son: retardantes plastificantes y el superplastificante (Máster Rheobuilt 3700). Se plantea sustituir el aditivo superplastificante actualmente utilizado el cual según su ficha técnica reduce el agua mayor e igual al 12 % por uno de mayor gama que se encuentran en el catálogo de SIKA los cuales reducen el agua entre el (30 % - 45 %).

En el ámbito económico y ambiental tiene sus ventajas debido a que al utilizar aditivos de mayor gama entonces se reduce el uso de agua, sin embargo, conlleva una gran inversión debido a que por ser de mayor gama también poseen un mayor costo a los que utiliza actualmente la empresa. Así mismo utilizar diferentes casas comerciales puede ser beneficioso, pero la diferencia de precios entre una y otra no es significativa, además que su proceso es un poco complejo por la cantidad de ensayos que se deberían realizar para tener una base de datos con dicha marca.

➤ **Alternativa 2**

Se plantea utilizar los materiales suministrados por la empresa realizando una variación en la cantidad utilizada para la elaboración de la mezcla, manteniendo la calidad del producto en el diseño del hormigón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$. Se debe hacer un análisis estadístico con el historial de los ensayos realizados para la resistencia de diseño, de tal manera que se obtenga así el rango de dichos ensayos. Utilizando el método ACI 211 se replica el diseño modelo del cliente con la misma dosificación, para corroborar que los valores de la resistencia se encuentren dentro del rango obtenidos en el previo análisis estadístico. Se elabora la dosificación para un segundo diseño reduciendo la cantidad de cemento utilizado, sin variar las relaciones de manera significativa.

➤ **Alternativa 3**

Se propone mejorar el proceso de elaboración de las mezclas de hormigón, certificando los procesos y el correcto funcionamiento de los equipos,

proponiendo también un plan de mantenimiento y renovación de calibración cada cierto periodo. En el país una de las empresas que realiza certificaciones para plantas de premezclado basándose en las normas reconocidas y acreditado bajo la norma *International Organization for Standardization* ISO es “Berau Veritas”. Para obtener el certificado se debe seguir el siguiente proceso: El cliente debe presentar una solicitud para un correcto análisis y preparación, se realizan los acuerdos entre cliente y empresa para los servicios solicitados, pre-auditoría (opcional), primera etapa de auditoría, segunda etapa de auditoría, emisión del certificado y mantenimiento a través de un seguimiento semestral o anual. En caso de necesitar una recertificación su renovación debe ser solicitada 6 meses.

2.5. Escala de evaluación

- **Económico**

Se evalúa el costo económico que tendría la elaboración del producto si se realiza esa alternativa.

- **Ambiental**

Se evalúa la disminución en el impacto ambiental que tendría de realizarse la alternativa.

- **Uso de recursos**

La cantidad de materiales que se necesitan para la elaboración del producto y que tanto se reduciría el uso de estos.

- **Complejidad de procesos**

Se evalúa que tan compleja es la realización de la alternativa y el tiempo de ejecución que implicaría para obtener resultados.

2.5.1. Criterios del proyecto

Tabla 4: Criterio de evaluación para alternativa 1 [autores]

		CRITERIOS DE SU PROYECTO (ALTERNATIVA 1)							
NÚMERO	CRITERIO	PESO * %	ESCALA					Porcentaje de Valor	RESTRICCIONES* *
			1	2	3	4	5		
1	Económico	50%			x			30 %	

2	Ambiental	20%				x		16 %	
3	Uso de recursos	15%				x		12 %	
4	Complejidad de procesos	15%			x			9 %	
		100%						67 %	

Tabla 5: Criterio de evaluación para alternativa 2 [autores]

CRITERIOS DE SU PROYECTO (ALTERNATIVA 2)									
NÚMERO	CRITERIO	PESO* %	ESCALA					Porcentaje de Valor	RESTRICCIONES**
			1	2	3	4	5		
1	Económico	50%					x	50 %	
2	Ambiental	20%				x		16 %	
3	Uso de recursos	15%				x		12 %	
4	Complejidad de procesos	15%				x		12 %	
		100%						90 %	

Tabla 6: Criterio de evaluación para alternativa 3 [autores]

CRITERIOS DE SU PROYECTO (ALTERNATIVA 3)									
NÚMERO	CRITERIO	PESO* %	ESCALA					Porcentaje de Valor	RESTRICCIONES**
			1	2	3	4	5		
1	Económico	50%				x		40 %	
2	Ambiental	20%			x			12 %	
3	Uso de recursos	15%				x		12 %	
4	Complejidad de procesos	15%				x		12 %	
		100%						76 %	

2.5.2. Conclusión:

Por los criterios anteriormente evaluados se llega a la conclusión de que la alternativa número 2 sería la óptima para resolver el problema planteado.

En ámbitos económico y ambientales esta alternativa es muy favorable debido a que su propuesta principal es la disminución de recursos y materiales sin perder la

calidad del producto, de tal manera que se reduce considerablemente los costos e impacto ambiental. Así mismo como se menciona anteriormente el uso de recursos disminuye debido a que se diseña mejor proporcionamiento de los materiales para el diseño solicitado. Finalmente, su proceso no es complicado ya que se realizará ensayos, contando con todos los equipos y materiales necesarios para la elaboración.

2.6. Plan de trabajo

A continuación, en las Figuras 6 y 7 se presenta las actividades realizadas en el transcurso del proyecto con sus respectivas duraciones.

		Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores
1		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES / PROYECTO MEZCLA DE HORMIGÓN / GRUPO 16	166 days	31/03/22 08:00 AM	12/09/22 05:00 PM	
2		Inicio del proyecto	0 days	31/03/22 08:00 AM	31/03/22 08:00 AM	
3		Reunión con las Tutoras	1 day	31/03/22 08:00 AM	31/03/22 05:00 PM	
4		Entrevista al cliente	5 days	4/04/22 08:00 AM	8/04/22 05:00 PM	2SS+4 days
5		Reunión con las Tutoras (Direccionamiento del tema)	1 day	12/04/22 08:00 AM	12/04/22 05:00 PM	4FS+3 days
6		Investigación acerca de los ensayos que se deberían realizar y máquinas a utilizar	5 days	13/04/22 08:00 AM	17/04/22 05:00 PM	5
7		Reunión con las Tutoras (Investigación acerca de tesis o papers relacionados al tema.)	5 days	14/04/22 08:00 AM	18/04/22 05:00 PM	5:6FS-4 days
8		Investigación de los materiales a usar	7 days	18/04/22 08:00 AM	24/04/22 05:00 PM	6
9		Reunión con las Tutoras (Solicitar el historial de los ensayos realizados por la empresa y el diseño de mezcla que se usa.)	1 day	22/04/22 08:00 AM	22/04/22 05:00 PM	8FS-3 days
10		Realización de los ensayos de los materiales y el diseño de hormigón que utiliza la empresa. (Trabajo en campo)	15 days	25/04/22 08:00 AM	9/05/22 05:00 PM	8:9FS+2 days
11		Reunión con las Tutoras (Mostrando los resultados de las resistencias obtenidas)	1 day	11/05/22 08:00 AM	11/05/22 05:00 PM	10FS+1 day
12		Realización del marco teórico: Agregado grueso y fino, origen, información de la cantera, cemento, aditivos y normas.	10 days	12/05/22 08:00 AM	21/05/22 05:00 PM	11
13		Realización del diseño optimizado de mezclas de hormigón. (Trabajo en campo)	4 days	17/05/22 08:00 AM	20/05/22 05:00 PM	11FS+5 days
14		Reunión con las Tutoras (Obtención de la curva de tendencia del tipo de hormigón que usa la empresa.)	2 days	19/05/22 08:00 AM	20/05/22 05:00 PM	9FS+26 days
15		Planteo de los objetivos, problemática y alcance del proyecto.	3 days	24/05/22 08:00 AM	26/05/22 05:00 PM	14FS+3 days
16		Reunión con las Tutoras y Co-tutor (Corrección del Capítulo 1.)	1 day	26/05/22 08:00 AM	26/05/22 05:00 PM	15FS-1 day
17		Realización de las alternativas y criterios del proyecto	3 days	30/05/22 08:00 AM	1/06/22 05:00 PM	16FS+3 days
18		Modificación de la información de los capítulos 1 y 2	17 days	2/06/22 08:00 AM	18/06/22 05:00 PM	17
19		Reunión con las Tutoras (Corrección del capítulo 2)	1 day	13/06/22 08:00 AM	13/06/22 05:00 PM	18SS+11 days
20		Preparación de Diapositivas para presentación parcial	8 days	13/06/22 08:00 AM	20/06/22 05:00 PM	19SS
21		Reunión con las Tutoras y Co-tutor (Corrección de detalles en la memoria técnica)	1 day	16/06/22 08:00 AM	16/06/22 05:00 PM	19SS+3 days
22		Entrega de memoria parcial y diapositivas	1 day	21/06/22 08:00 AM	21/06/22 05:00 PM	20;21
23		Exposición parcial	1 day	24/06/22 08:00 AM	24/06/22 05:00 PM	22FS+2 days
24		Prueba industrial	1 day	8/07/22 08:00 AM	8/07/22 05:00 PM	13FS+48 days
25		Reunión capítulo impacto ambiental	0.5 days	11/07/22 08:00 AM	11/07/22 01:00 PM	24FS+2 days
26		Rotura día 3 de prueba industrial	0.5 days	11/07/22 01:00 PM	11/07/22 05:00 PM	25
27		Elaboración del capítulo 4 (Impacto ambiental)	14 days	12/07/22 08:00 AM	25/07/22 05:00 PM	25FS+0.5 days
28		Reunión con las Tutoras (Revisión de los resultados de la prueba industrial)	1 day	13/07/22 08:00 AM	13/07/22 05:00 PM	26FS+1 day
29		Rotura día 7 de prueba industrial	1 day	15/07/22 08:00 AM	15/07/22 05:00 PM	26FS+3 days
30		Charla sobre exposición de Five Minutes Pitch	1 day	18/07/22 08:00 AM	18/07/22 05:00 PM	29FS+2 days
31		Rotura día 14 de prueba industrial	1 day	22/07/22 08:00 AM	22/07/22 05:00 PM	29FS+6 days
32		Entrega del capítulo 4	1 day	26/07/22 08:00 AM	26/07/22 05:00 PM	27
33		Elaboración del capítulo 5 (Presupuestos)	14 days	20/07/22 08:00 AM	2/08/22 05:00 PM	13FS+60 days
34		Rotura día 28 de prueba industrial	1 day	5/08/22 08:00 AM	5/08/22 05:00 PM	31FS+13 days
35		Elaboración del capítulo 6 (Conclusiones y recomendaciones)	5 days	6/08/22 08:00 AM	10/08/22 05:00 PM	27;33;34
36		Entrega del 80% de la memoria técnica	1 day	17/08/22 08:00 AM	17/08/22 05:00 PM	35FS+6 days
37		Exposición de Five Minutes Pitch	1 day	20/08/22 08:00 AM	20/08/22 05:00 PM	30FS+32 days
38		Corrección de la memoria técnica	7 days	18/08/22 08:00 AM	24/08/22 05:00 PM	36
39		Entrega del 99% de la memoria técnica	1 day	31/08/22 08:00 AM	31/08/22 05:00 PM	38FS+6 days
40		Entrega del 100% de la memoria técnica	1 day	7/09/22 08:00 AM	7/09/22 05:00 PM	39FS+6 days
41		Exposición final	1 day	12/09/22 08:00 AM	12/09/22 05:00 PM	40FS+4 days

Figura 6: Cronograma de actividades parcial [autores]

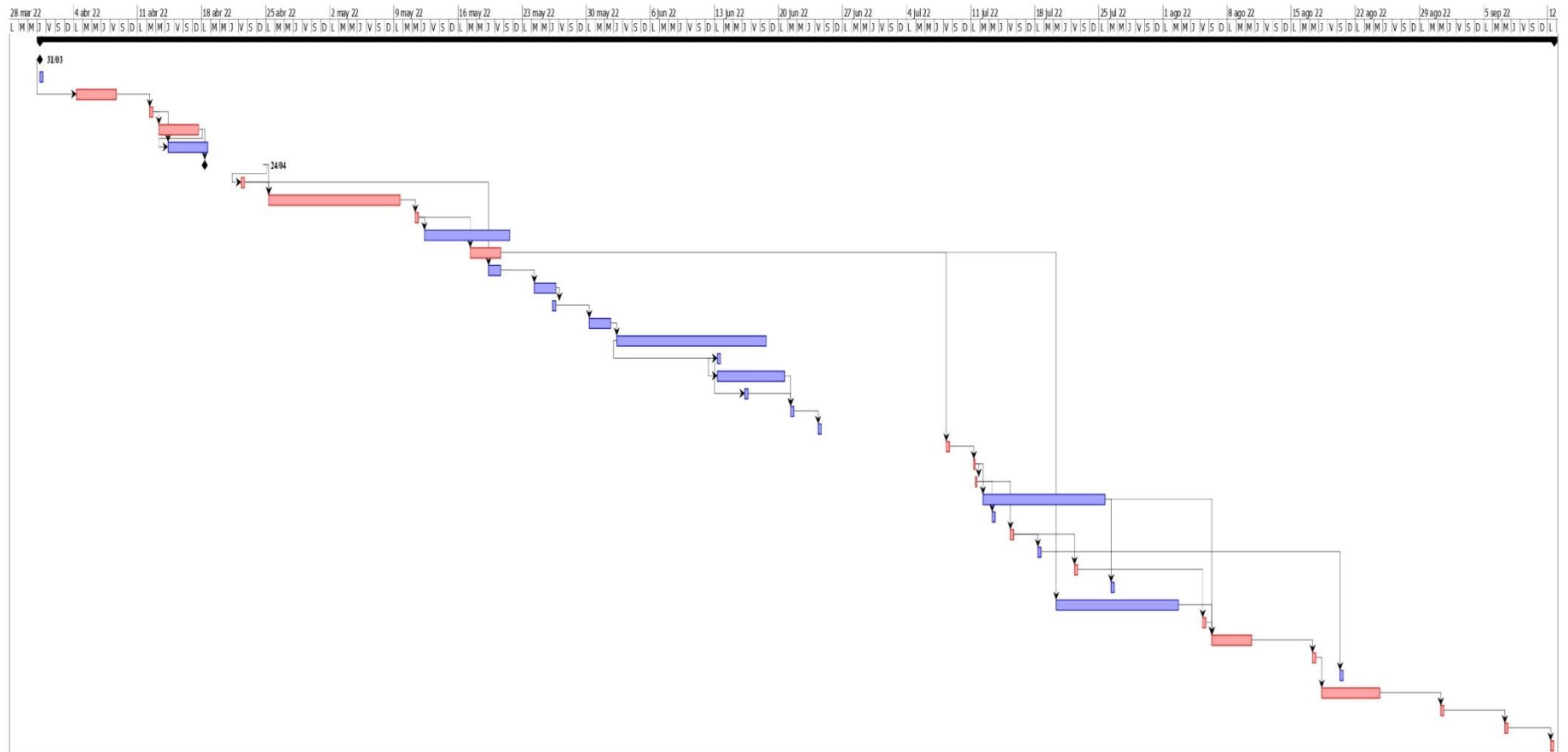


Figura 7: Diagrama Gantt de actividades parcial [autores]

CAPÍTULO 3

3. OPTIMIZACIÓN

3.1. Cálculo estadístico

Mediante los criterios que se encuentran en la norma NTE INEN 1855 se obtiene la aceptabilidad del hormigón, por lo que se realizó el análisis estadístico correspondiente a los ensayos elaborados por la constructora para la resistencia de 210 kg/cm².

En las recomendaciones del ACI 214 se puede encontrar la Tabla 7 para la interpretación de la producción y ensayo en función de la variación estándar, la cual se observa a continuación.

Tabla 7: Calificación e interpretación de la producción [Fuente: ACI 214]

Variación de la resistencia entre mezclas del mismo diseño					
Clase de operación	Desviación estándar [MPa]				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Ensayos en la construcción en general	< 2,8	2,8 a 3,4	3,4 a 4,1	4,1 a 4,8	> 4,8

Los cálculos realizados en la Tabla 39 que se encuentra en la sección de Anexos A se obtiene que la desviación estándar de los datos proporcionados por la empresa, este valor es de 0,61 MPa. Por lo tanto, se observa que el valor obtenido es menor a 2,8 MPa calificando la operación de la planta como excelente.

Para la resistencia a compresión el hormigón debe cumplir con 2 requisitos

- 1) El promedio de 3 resultados consecutivos no debe ser menor a la resistencia de diseño f'_c .
- 2) Ningún valor por individual debe de ser menor a la resistencia de diseño menos 3,5 MPa ($f'_c - 3,5$ MPa).

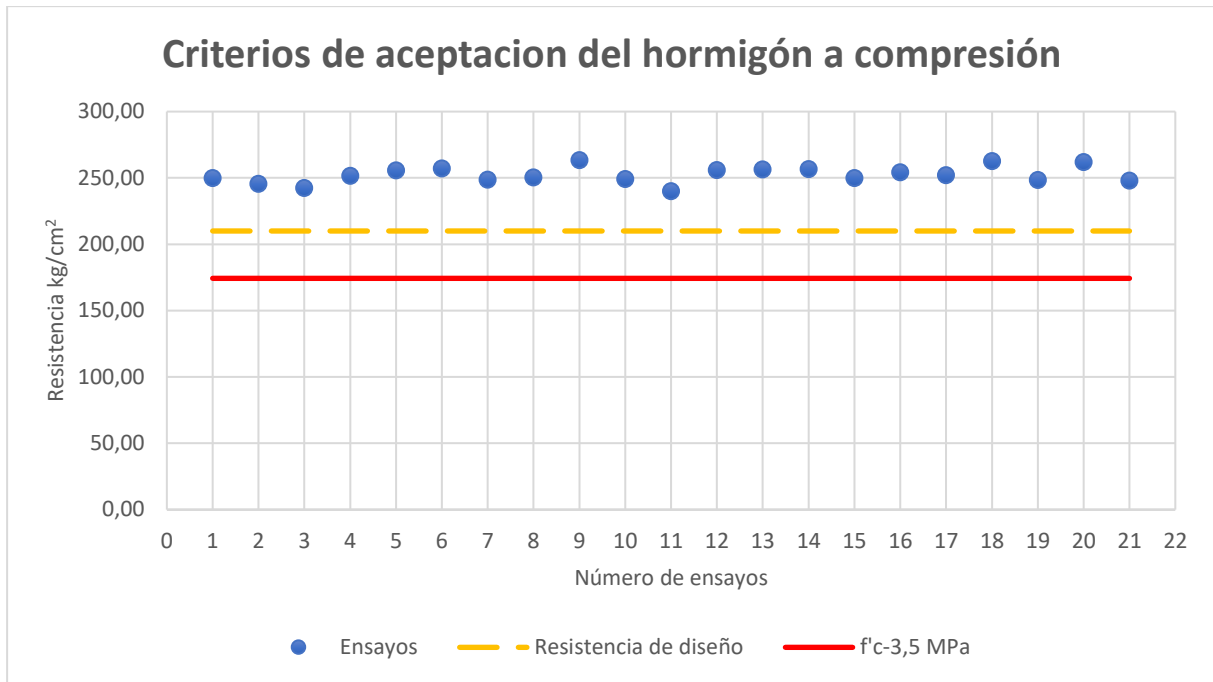


Figura 8: Criterios de aceptación de la resistencia a compresión [autores]

En la Figura 8 se encuentran los criterios de aceptación del hormigón a compresión para 28 días donde se observa que cumple los dos requisitos mencionados anteriormente.

A continuación, se presenta la Tabla 8 donde se encuentra el resumen sobre las evaluaciones realizadas al hormigón:

Tabla 8: Tabla de resumen de evaluación del hormigón [autores]

I. EVALUACIÓN DE LA PLANTA					
Desviación estándar	0,61	Factor de corrección	1,1	Desviación estándar corregida	0,67
La evaluación de la planta posee la calificación de:					EXCELENTE
II. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA					
El promedio de 3 ensayos consecutivos no debe ser menor a la resistencia de diseño f _c					100%
Todos los ensayos de resistencia individualmente deben ser superior a f'c-3,5 MPa					100%
III. ANÁLISIS DE RESISTENCIA					

El Código ACI 318 indica que solo el 1% de las resistencias puede ser menor a la de diseño					
Resistencia promedio	24,75	MPa	Resistencia requerida	20,59	MPa
	252,37	Kg/cm ²		210	Kg/cm ²
Sobrediseño promedio del hormigón				4,16	MPa
				42,37	Kg/cm ²

3.2. Análisis del historial

Con la información solicitada del cliente sobre el diseño más vendido cuya resistencia es de 210 Kg/cm² se obtienen 2 tipos de dosificación; la primera es utilizando 270 Kg de cemento y la segunda 280 Kg. Estos datos han sido tabulados en la Figura 9 donde la banda amarilla representa la desviación estándar, los puntos azules los valores del diseño utilizando 280 Kg de cemento, los puntos naranjas representando el diseño con 270 Kg de cemento y por ultimo las líneas azul y naranja interpretando los promedios correspondientes. Para la dosificación de 270 Kg no se obtuvieron la cantidad de valores necesarios para realizar un correcto análisis estadístico por lo que se procedió a realizar con la segunda dosificación, de tal manera que se realiza la desviación estándar y se calcula la resistencia promedio a los 28 días para dicho diseño.

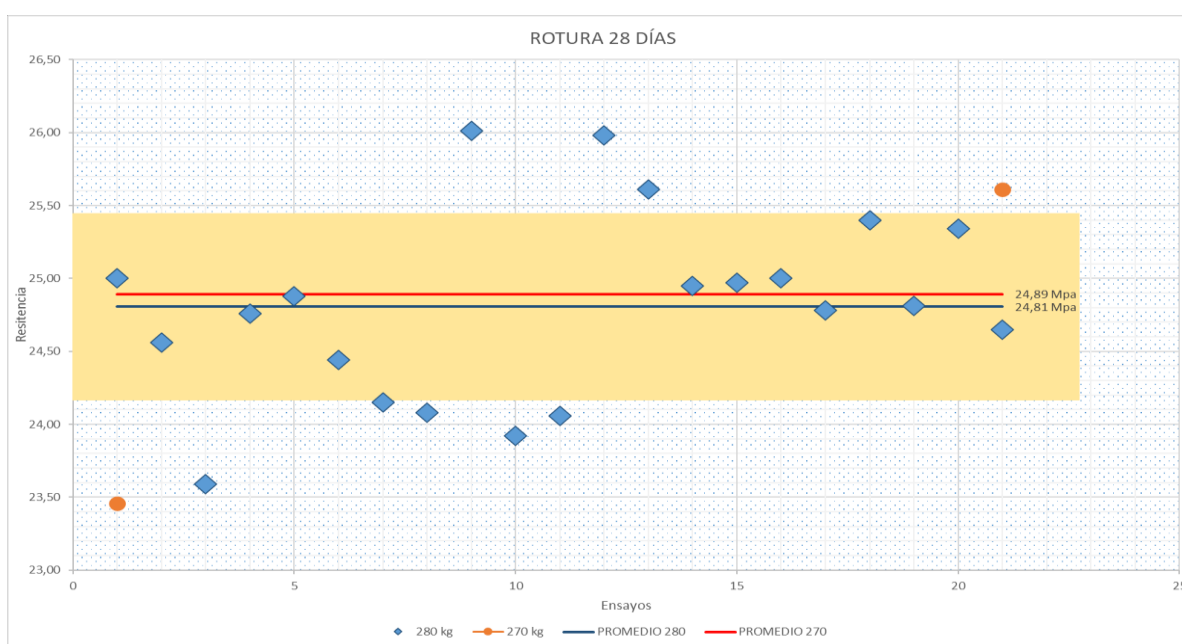


Figura 9: Análisis estadístico que presenta el historial de diseño con resistencia a compresión de 28 días [autores]








Para realizar la optimización basándose en el análisis estadístico, se parte del diseño cuya resistencia es de 210 Kg/cm² utilizando 270 Kg de cemento, el cual representa la dosificación más optimizada que el cliente elabora actualmente.







3.3. Caracterización de los equipos

A continuación, se detallan una lista de los equipos utilizados para los ensayos:

Tabla 9: Caracterización de los instrumentos o equipos [autores]

Instrumentos y equipos	Descripción	Ensayos utilizados	Imagen
Máquina de Los Ángeles	Se trata de un cilindro hueco hecho de acero cuyo diámetro es de 71.1 cm con longitud de 50.8 cm. Cuenta con una tapa hermética asegurado por unos tornillos de tal manera que contenga el polvo.	Abrasión	
Tamices	Son envases con forma cilíndrica que poseen mallas de alambre metálicas con diferentes tamaños de aberturas.	Abrasión, granulometría	
Carga abrasiva	Son esferas de acero cuyo diámetro varían entre 46 y 48 mm y masa de 390 hasta 445 g.	Abrasión	
Balanza	Se utiliza para determinar las masas de los materiales, con resolución mínima de 0.1%	Abrasión, granulometría, Densidad específica, gravedad específica y absorción (fino y grueso)	

<p>Horno</p>	<p>Se utiliza para el secado de los materiales ya que es capaz de mantener la temperatura a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.</p>	<p>Abrasión, granulometría</p>	
<p>Agitador de tamices</p>	<p>Es una máquina que realiza movimientos a los tamices, de tal forma que las partículas rebotan y giran</p>	<p>Granulometría</p>	
<p>Picnómetro</p>	<p>Es adecuado para contener muestras de agregado fino, la forma en que se encuentra diseñado permite que ascienda las burbujas y eliminar el aire que alojado en las muestras.</p>	<p>Densidad específica, gravedad específica y absorción (agregado fino)</p>	
<p>Molde y pisón</p>	<p>Se trata de un cono metálico truncado de 7,5 cm de altura y el pisón de 340 g de masa con la cara circular de apisonamiento de 2,5 cm de diámetro.</p>	<p>Densidad específica, gravedad específica y absorción (agregado fino)</p>	
<p>Canastilla</p>	<p>Es una malla de alambre con agujeros de 3.36 mm (N°6) o menos, cuya capacidad es mayor a 4 L.</p>	<p>Densidad específica, gravedad específica y absorción (agregado grueso)</p>	
<p>Conjunto de Prueba de Densidad de Agregados Gruesos</p>	<p>Este equipo permite sumergir la muestra en agua sosteniendo la canastilla por medio de un alambre hasta encontrarse completamente sumergida.</p>	<p>Densidad específica, gravedad específica y absorción (agregado grueso)</p>	
<p>Cono de Abrams, varilla de acero, cuchara</p>	<p>Se refiere a un cono metálico de 30 cm. de altura. Dicho instrumento permite medir la consistencia del hormigón en estado fresco.</p>	<p>Asentamiento</p>	

Varilla de acero	Es una varilla metálica con 60 cm. de longitud y 16 cm de diámetro, con el fin de dar 25 golpes al interior del cono o cilindro donde se encuentre la mezcla de hormigón	Asentamiento, Resistencia a compresión	
Flexómetro	Flexómetro con 5 m. de longitud cuya función es realizar cualquier tipo de medición. En este caso se lo usa para medir el asentamiento que presenta la mezcla de hormigón.	Asentamiento	
Moldes	Cilindros metálicos reutilizables con el fin de usarlo como molde para la mezcla del concreto, colocándole aceite previamente.	Resistencia a compresión	
Martillo de goma	Herramienta con la parte superior de goma para no dejar deformaciones, o nivelar en este caso la mezcla de hormigón que se encentra dentro del cilindro metálico.	Resistencia a compresión	
Mezcladora portátil	Máquina automática para mezclar todos los materiales y obtener el hormigón, con el fin de lograr una mezcla homogénea.	Asentamiento, Resistencia a compresión	
Equipos de seguridad	Botas, casco, gafas y mascarillas con el fin de precautelar la vida humana en el caso de cualquier tipo de accidente en el laboratorio o planta.	Todos los ensayos	

Referencia de equipos e instrumentos

Fuente: [CIENTE, Riceli Equipos, Labomersa S.A.]

[<https://espolec.sharepoint.com/:w/s/TESISDOC/EWNKQq2i7k9DhOMmEIRA47gBbZ8qmwuDCfTFK5jMgRhWig?e=XbZeo7>]

3.4. Ensayos de Abrasión

Este ensayo se debe realizar utilizando la norma NTE INEN 860 la cual indica que para los áridos gruesos que son inferiores a 37.5 mm se debe determinar la degradación o desgaste mediante el uso de la máquina de Los Ángeles. El cual consiste en determinar la masa que ha perdido el agregado con su respectiva gradación, se debe colocar el agregado en un tambor giratorio de acero el cual debe contener un número específico de esferas de acero que se detalla en la Tabla 10, a medida que el tambor gira las esferas caen impactando y triturando la muestra. Finalmente, luego de un número determinado de revoluciones y se procede a tamizar la porción del árido para obtener el porcentaje de pérdida y medir el desgaste.

Tabla 10: Especificaciones para las cargas [Fuente: NTE INEN 860]

Gradación	Numero de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 25

Tabla 11: Resultados del ensayo de Abrasión [autores]

RESULTADOS DE ENSAYO DE ABRASIÓN		
MUESTRA	PESO (g)	PÉRDIDA %
Agregado 3/4	5000	19,1

3.5. Ensayo material orgánico

La presencia de las impurezas orgánicas es muy común observarlas en los agregados finos, por lo que es necesario realizar un ensayo de colorimetría, y de esa manera poder concluir si dicho agregado es de buena calidad y si es apto para la realización del hormigón, debido a que en caso de no cumplir con los estándares mínimos puede ocasionar problemas como menoscabar la hidratación afectando directamente a la resistencia del hormigón.

Dicho ensayo debe regirse a los lineamientos que presenta la norma NTE INEN 855 el cual consiste en colocar una determinada cantidad de arena dentro de frascos

transparentes de vidrio, seguido de colocar 3% de hidróxido de sodio con respecto al volumen de la arena, se tapa el recipiente y se procede a agitar fuertemente para que se mezcle bien la arena con la solución.

Finalmente, dejar reposar por 24 horas después que se haya asentado bien la arena se observa la coloración que tiene la solución que se encuentra encima de la arena y con ayuda de una placa orgánica la cual consta de 5 colores enumerados del 1 al 5 avanzando desde el más claro hacia a el más oscuro teniendo en cuenta que el número 3 es el color normalizado de referencia.

En caso de que la muestra se encuentre por encima del número tres es decir que el color de la solución es más oscuro se puede considerar que el árido fino posee cantidades significativas de muestra orgánica por lo que se debe utilizar para el hormigón.

Tabla 12: Ensayo de material orgánico [Fuente: Holcim]

RESULTADOS DEL ENSAYO DE MATERIAL ORGÁNICO			
MUESTRA	COLOR	COLORES NORMALIZADOS	INTERPRETACIÓN
Arena del río	No. 1	Color Normalizado Gardner No. 5	Se puede decir que la arena no contiene impurezas orgánicas.

3.6. Ensayo Densidad, gravedad Específica y Absorción

Este ensayo se debe someter a la norma NTE INEN 857 y la norma NTE INEN 856 para áridos gruesos y finos respectivamente la cual indica las condiciones y ecuaciones para el cálculo de los valores de la gravedad específica, densidad y absorción. En este ensayo se presentan algunas definiciones importantes para mejor entendimiento del proceso como lo son:

Saturado superficialmente seco (SSS) es una condición en la que se encuentra los áridos la cual indica que se debe sumergir la muestra por un lapso para que los poros se llenen de agua, pero sin que exista una saturación de estas en la superficie.

Gravedad específica o también conocida como densidad relativa, es la relación entre la densidad correspondiente a cualquier material (árido) y la densidad del agua.

Absorción, se la conoce como el aumento en la masa que posee un árido debido a el agua alojada en los poros luego de sumergirla la muestra por un tiempo determinado, sin que se encuentre sobre saturada. La masa mínima que la muestra debe cumplir para el ensayo se detalla en la Figura 10.

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12,5 o menor	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Figura 10: Tamaño máximo nominal para la muestra [Fuente: NTE INEN 857]

Tabla 13: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado fino [autores]

RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN		
MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN
Agregado fino	2590 kg/cm ³	2,7 %

Tabla 14: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado grueso [autores]

RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN		
MUESTRA	PESO ESPECÍFICO	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN
Agregado grueso	2680 kg/cm ³	2,0 %

3.7. Contenido de Humedad

Es un proceso en el cual se determina el porcentaje de humedad que contiene una muestra de áridos, la cual puede corresponder a la humedad alojada en los poros o la superficial. Debe cumplir con la norma NTE INEN 862 y el principal propósito de este es para realizar la corrección de humedad al momento de realizar la dosificación de la mezcla.

El proceso es muy sencillo por lo que se debe colocar una muestra del árido previamente pesado en estado natural en el horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas hasta que se evapore el agua y luego proceder a medir nuevamente su peso y la diferencia nos debe de dar la cantidad de agua evaporada la cual se expresa en porcentaje con relación la masa seca.

Tabla 15: Resultados del ensayo de humedad para los agregados del diseño modelo [autores]

ENSAYO DE HUMEDAD DEL DISEÑO MODELO	
MUESTRA	PORCENTAJE DE HUMEDAD %
Agregado 3/4	1,3
Agregado 3/8	1,0
Agregado fino	5,8

Tabla 16: Resultados del ensayo de humedad para los agregados del diseño optimizado [autores]

ENSAYO DE HUMEDAD DEL DISEÑO OPTIMIZADO	
MUESTRA	PORCENTAJE DE HUMEDAD %
Agregado 3/4	1,3
Agregado 3/8	1,1
Agregado fino	4,7

3.8. Granulometría

Según Cañas, (2007) es un proceso mecánico o manual cuyo propósito es la separación de partículas según su tamaño que componen el agregado, y mediante el cual se puede obtener el peso que aporta cada tamaño al total de la muestra. Esta separación ocurre por medio diferentes tamices colocados en series uno bajo el otro con aberturas ordenadas de mayor a menor, reteniendo en cada uno de los tamices el tamaño máximo del agregado, cada parte del peso obtenido se lo identifica como porcentaje de retención con respecto al peso total que posee la muestra. Dichos porcentajes se calculan tanto acumulados como parciales para realizar el trazado de la gráfica granulométrica.

3.8.1. Agregado grueso

Se debe realizar el ensayo de granulometría de agregado grueso de acuerdo con la norma NTE INEN 696 (ASTM C-136). Entre los principales requisitos que debe tener los instrumentos para el ensayo se tiene que las balanzas deben tener mínimo una precisión de 0,5 g y contar con un horno adecuado para mantener la temperatura a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Los tamaños mínimos para el ensayo que debe cumplir la muestra se detalla en la Figura 11.

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Figura 11: Tamaño máximo nominal para agregado grueso [Fuente: NTE INEN 696]

3.8.2. Agregado fino

La realización de este ensayo también cumple con la norma NTE INEN 696, sin embargo, no es recomendable para materiales más finos que el tamiz N°200 debido a que no se puede lograr una precisa determinación de este.

Las balanzas que se debe utilizar para el ensayo deben tener mínimo una precisión de 0,1 g y al igual que el agregado grueso contar con un horno que mantenga la muestra a temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

El tamaño mínimo que debe tener la muestra para agregado fino según la normativa indica que debe ser de 500 g.

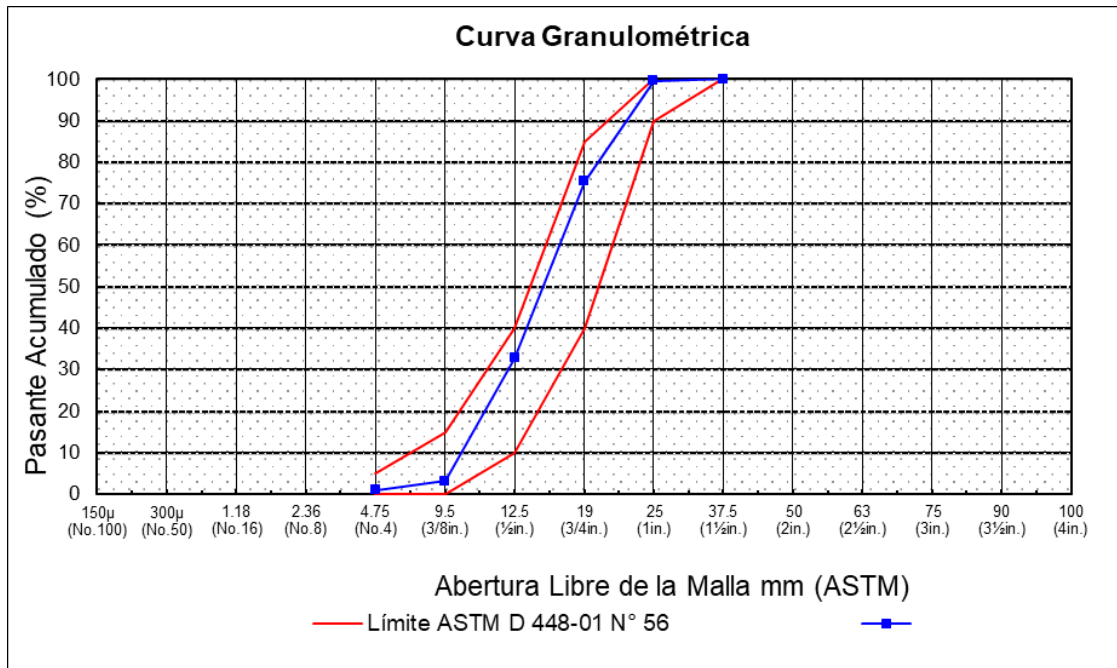


Figura 12: Resultados de la curva granulométrica del agregado 3/4 [autores]

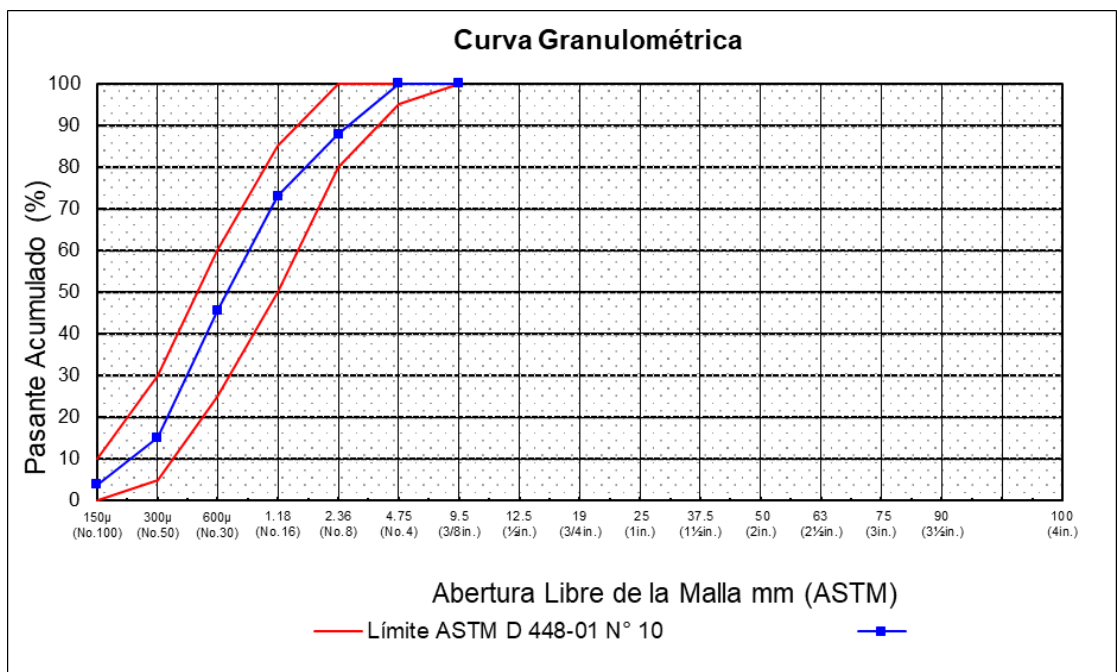


Figura 13: Resultados de la curva granulométrica del agregado fino [autores]

3.9. Asentamiento

Los valores de asentamiento que recomienda el ACI se muestra a continuación en la Tabla 17.

Tabla 17: Asentamientos recomendados para cualquier tipo de construcción [Fuente: ACI Comité 211]

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO mm.	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
MUY SECA	0,0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.
SECA	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
MEDIA (PLÁSTICA)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
HÚMEDA	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
MUY HÚMEDA	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo-tremie.	Secciones altamente reforzadas con vibración.
SÚPER FLUIDA	más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Según los requisitos descritas en la INEN 1855-1 el asentamiento contiene tolerancias nominales que se describen a continuación en la Tabla 18:

Tabla 18: Tolerancias de asentamientos [Fuente: NTE INEN 1855-1]

Asentamiento especificado	Tolerancia
50 mm o menos	± 15 mm
Entre 50 mm y 100 mm	± 25 mm
Mayor que 100 mm	± 40 mm

3.10. Tamaño máximo del agregado

Según el método ACI recomienda que la elección del tamaño nominal depende de las dimensiones de que va a poseer la estructura a realizarse. Dichas recomendaciones se basan en que a medida que aumenta el tamaño máximo nominal de los agregados, entonces, las cantidades de agua y cemento van a disminuir obteniendo así concretos más económicos.

3.11. Estimación contenida de aire

A continuación, se presenta la Tabla 19 la cual se encuentra en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso para los valores aproximados de aire que contienen:

Tabla 19: Porcentaje promedio de aire atrapado
[Fuente: ACI Comité 211]

TMN	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

3.12. Estimación de la cantidad de agua de mezclado

Los factores que se encuentran para determinar la cantidad de agua son muchos por lo que su exacta estimación es muy complicada, sin embargo, el ACI presenta una tabla cuyos valores indicados dependen del tamaño máximo nominal de los agregados, asentamiento y el aire que contiene la mezcla.

Uno de los factores que se debe tomar en consideración para obtener buena trabajabilidad es la forma y textura de las partículas. En las partículas rugosas y angulares es necesario una cantidad más de agua debido a que presentan mayor adherencia disminuyendo así su resistencia, en cambio con las lisas y redondeadas se deslizan más fácilmente. En la Tabla 20 se presentan los valores recomendados de agua en kg/m^3 de concreto para los diferentes tamaños de agregados:

Tabla 20: Agua en kg/m^3 de concreto para los TMN del agregado indicado [Fuente: ACI Comité 211]

Tabla 6.3.3 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado								
Revenimiento, cm	Agua, kg/m^3 para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9.5*	12.5*	19*	25*	38*	50*	75+**	150+**
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
* Estas cantidades de agua de mezclado para emplearse en el cálculo del contenido de cemento para mezclas de prueba a una temperatura de 20 a 25°C.								
* Son cantidades máximas para agregados gruesos angulosos, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites aceptados por la ASTM C 33.								
* El empleo de aditivos reductores de agua que cumplen con ASTM C 494 puede reducir el contenido de agua en un 5% o más. El volumen de los aditivos debe considerarse como parte del volumen del agua de mezclado.								
* Para obtener revenimientos mayores de 18 cm - y TMA < 25 mm, es necesario el empleo de aditivos reductores de agua.								
+ Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento después de quitar las partículas mayores de 40 mm mediante cribado húmedo.								

3.13. Relación agua/cemento

Como su nombre mismo lo indica es la relación que existe en una mezcla entre la cantidad de agua utilizada y el cemento. Esta relación es directamente proporcional a la cantidad de agua utilizada, es decir entre mayor sea el agua entonces mayor será el valor del coeficiente. Encontrándose siempre por debajo de la unidad, debido a que, el peso del cemento utilizado debe ser mayor al del agua. (Carvajal Taco, 2013)

El científico Duff Abrams en 1918 demostró que existe una estrecha relación inversamente proporcional entre la relación A/C y la resistencia del concreto. A una edad dada se obtiene que, entre mayor cantidad de agua utilizada entonces menos resistente será la muestra, es debido a que al evaporarse el agua alojada en la pasta entonces la muestra será más porosa dando como resultado una menor resistencia del hormigón. La cual fue representada mediante la Figura 14.

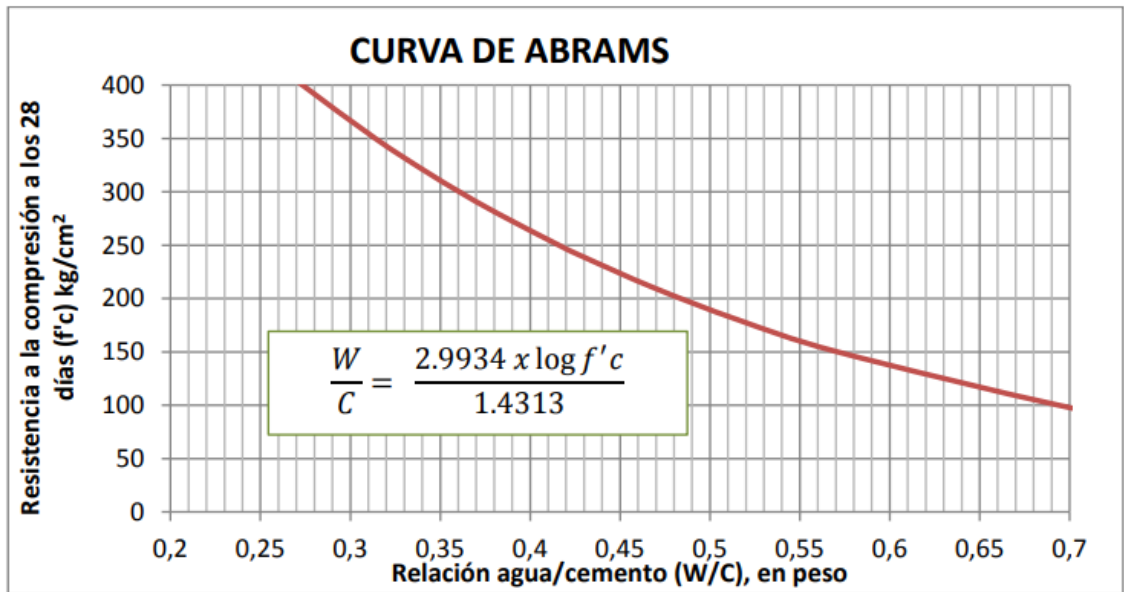


Figura 14: Curva de Abrams [Fuente: (Carvajal Taco, 2013)]

Teniendo en cuenta esta curva se obtuvieron valores en relación con las resistencias más comunes descritas en la Tabla 21.

Tabla 21: Relación agua/cemento en función a las resistencias [Fuente: (Carvajal Taco, 2013)]

Resistencia del Hormigón		W/C
kg/cm ²	MPa	
180	18	0,60
210	21	0,58
240	24	0,56
250	25	0,55
280	28	0,52
300	30	0,51
320	32	0,5
350	35	0,46
400	40	0,42
420	42	0,4
450	45	0,37

3.14. Estimación de agregado grueso

El método ACI utiliza la Tabla 22 que se encuentra en función del módulo de finura y el tamaño máximo nominal de la muestra:

Tabla 22: Estimación del módulo de finura [Fuente: ACI Comité 211]

Tamaño nominal del agregado, mm	Volumen de agregado grueso* varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	MF= 2.4	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81
* Volúmenes seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común.				

3.15. Elaboración de mezclas

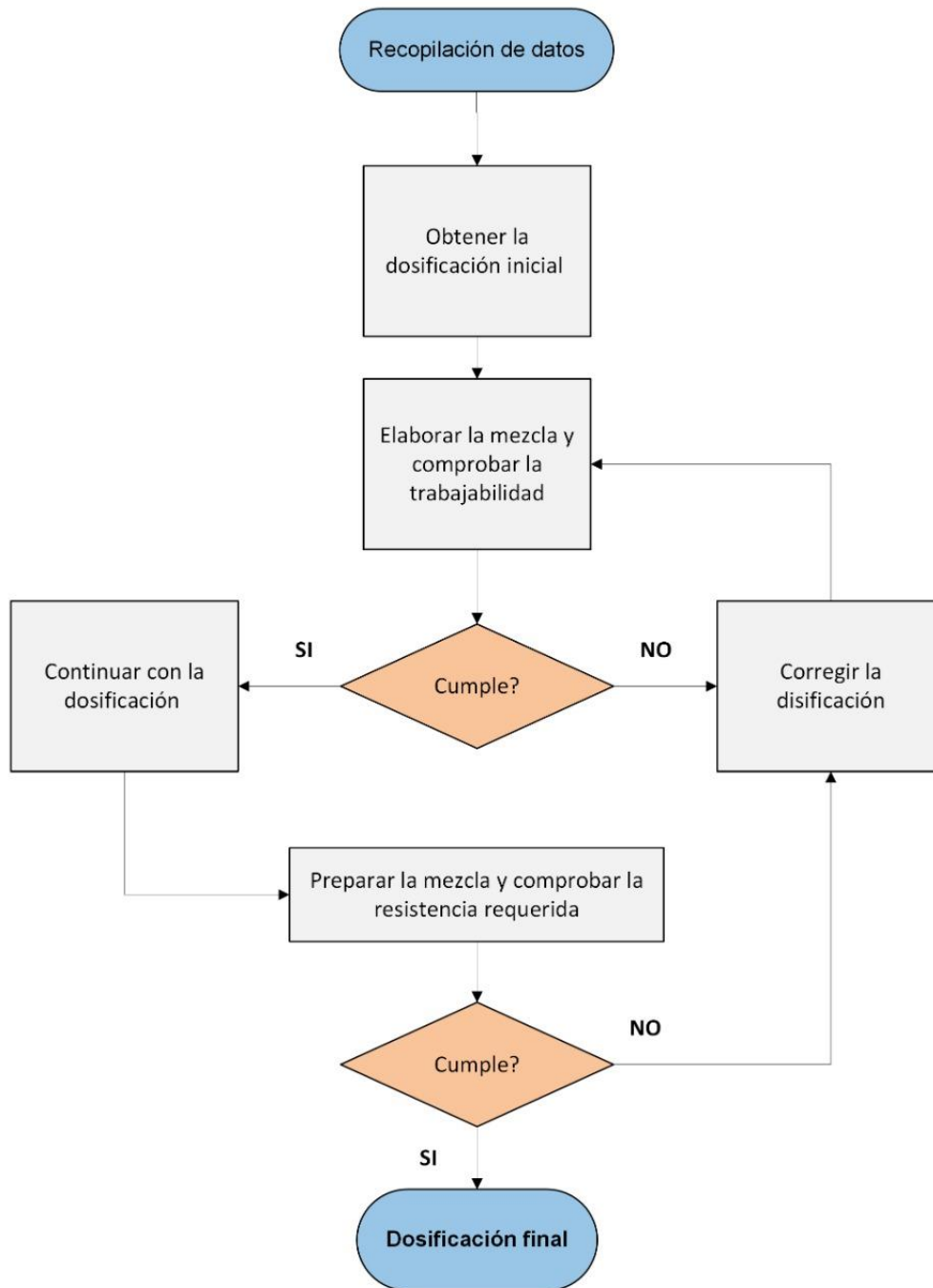


Figura 15: Diagrama de flujo para la elaboración del hormigón mediante el método ACI [autores]

3.15.1. Diseño patrón y optimizado en laboratorio

- ❖ Preparación de los materiales y las cantidades a utilizar.
- ❖ Ensayo de los materiales a utilizar tales como: agregado grueso $\frac{3}{4}$, agregado fino y agua.
- ❖ Ensayos del paso N°1: Granulometría, Absorción, Peso específico, Humedad, Abrasión y Colorimetría.
- ❖ Preparación de la dosificación del diseño (Hoja de cálculo automatizada en Excel).
- ❖ Modificación de la dosificación de la mezcla de hormigón patrón, cambiando las proporciones de los materiales.
- ❖ Realización de la mezcla de hormigón patrón (excepto paso N°5) y optimizado:
 - Se introduce todo el agregado grueso $\frac{3}{4}$ a la mezcladora.
 - Se limpia el agregado con poca agua.
 - Se introduce toda la arena fina.
 - Se riega un poco más de agua para que se vaya mezclando mejor los agregados.
 - Se hecha todo el cemento.
 - Se introducen los aditivos con el agua sobrante.
- ❖ Finalmente se aprecia la consistencia, para obtener una mezcla homogénea.
- ❖ Realizar el ensayo de densidad a la mezcla de hormigón.
- ❖ Realizar el ensayo de asentamiento por medio del Cono de Abrams.
- ❖ Colocar aceite a los 8 moldes de cilindros para proceder a echar la mezcla en los mismos.
- ❖ Se realizan 25 varilladas dentro del cilindro en la mitad de la mezcla, 15 golpes de pestillos de goma en el exterior del cilindro y por último 25 varilladas al tope del cilindro dentro del mismo.
- ❖ Pasar una espátula al tope de cada cilindro para nivelar la mezcla.
- ❖ Esperar para el ensayo de compresión de los 8 cilindros cada: 3,7,14 y 28 días, manteniéndolos en la piscina previo a sus roturas.

3.15.2. Diseño para Prueba industrial

- ❖ Preparación de los materiales y las cantidades a utilizar.
- ❖ Ensayo de los materiales a utilizar tales como: agregado grueso $\frac{3}{4}$, agregado fino y agua.
- ❖ Ensayos del paso N°1: Granulometría, Absorción, Peso específico, Humedad, Abrasión y Colorimetría.
- ❖ Preparación de la dosificación del diseño (Hoja de cálculo automatizada en Excel).
- ❖ Modificación de la dosificación de la mezcla de hormigón patrón, cambiando las proporciones de los materiales.
- ❖ Realización de la prueba industrial en la Planta Hernández.
 - Colocar las cantidades exactas de los materiales en la Planta Mezcladora automatizada para obtener 1m^3 del producto.
- ❖ Toma de muestras de la mezcla de hormigón de la prueba industrial:
 - Se aprecia la consistencia, para obtener una mezcla homogénea.
- ❖ Ejecutar el ensayo de densidad a la mezcla de hormigón.
- ❖ Realizar el ensayo de asentamiento por medio del Cono de Abrams.
- ❖ Colocar aceite a los 8 moldes de cilindros para proceder a echar la mezcla en los mismos.
- ❖ Se realizan 25 varilladas dentro del cilindro en la mitad de la mezcla, 15 golpes de pestillos de goma en el exterior del cilindro y por último 25 varilladas al tope del cilindro dentro del mismo.
- ❖ Pasar una espátula al tope de cada cilindro para nivelar la mezcla.
- ❖ Esperar para el ensayo de compresión de los 8 cilindros cada: 3,7,14 y 28 días, manteniéndolos en la piscina previo a sus roturas.

3.16. Diseño patrón

3.16.1. Corrección de humedad

Antes de realizar la dosificación del diseño patrón se hace la corrección de humedad, debido a que los materiales utilizados en cada ensayo no se van a encontrar en las mismas condiciones, ya sea por factores climáticos o algún otro factor externo.

El cálculo de aporte de agua que posee cada material se lo obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Aporte de agua} = \% \text{ Humedad} - \% \text{ Absorción (ecu 1.)}$$

Tabla 23: Porcentaje de contenido de agua [autores]

Material	Propiedades físicas		Aporte de agua
	Absorción	Humedad	
Arena	2,71 %	5,80 %	+ 3,09 %
Grava de ¾"	1,97 %	1,3 %	- 0,67 %

Aporte de agua Kg

$$\text{Aporte de agua} = \text{Peso seco} * \text{Aporte de agua (ecu 2.)}$$

Agregado fino

$$1099 * 0,0309 = +33,96 \text{ Kg}$$

Agregado grueso

$$869 * 0,0067 = -5,83 \text{ Kg}$$

Agua efectiva

$$\text{Agua de diseño} * \text{Aporte de agua (ecu 3.)}$$

$$\text{Agua efectiva} = 189 - (33,96 - 5,83) = 160,87 \text{ Kg}$$

Dosificación

Tabla 24: Dosificación del diseño patrón [autores]

PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

MATERIAL	Pe	Pe (SSS)	PUS	PUC	% CA	%CH	MF	TN Max	
	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	ABSORCION	HUMEDAD	Mód. Finura	mm	
Cemento	2980								
Arena Gruesa		2564	1580	1690	2,71%	5,80%	3,0		
Grava de 3/4"		2688	1460	1560	1,97%	1,30%		25 mm	
Aire		1,00%							
<u>DOSIFICACION POR m³</u>									
MATERIAL		PESO SSS/ m ³		PESO NATURAL/m ³		Vólumen	por lts	Peso Lab	
		Kg		Kg				23	lts
Cemento		270	kg	270,00	kg	91	lts	6,21	kg
Agua		189	kg	160,87	kg	189	lts	3,70	kg
Arena Gruesa		1099	kg	1132,84	kg	429	lts	26,06	kg
Grava de 3/4"		869	kg	869,01	kg	323	lts	19,99	kg
Aire						10	lts	0,0	
MasterPolyheed 939	0,55%	1,49	kg	1,49	kg	1,20	lts	34,16	g
MasterGlenium 3700	0,25%	0,68	kg	0,68	kg	0,63	lts	15,53	g
TOTAL		2427		2433		1042	lts	56,0	kg
		Relación a/c	0,70			Densidad	2330	Kg/m³	
		Relación finos	0,570						

La dosificación que actualmente utiliza la empresa, presentando una cantidad de cemento de 270 kg., además de cumplir con los ensayos de humedad y absorción para los agregados, demostrando que existe una mayor humedad para la arena, mientras que para la grava $\frac{3}{4}$ una mayor absorción. La densidad conseguida para este diseño es de 2330 kg/cm^3 cumpliendo con el rango establecido del hormigón a nivel mundial.

3.17. Diseño optimizado

3.17.1. Corrección de humedad

Para una correcta dosificación del diseño optimizado se debe realizar la corrección de humedad a los agregados al igual que fue con el diseño modelo, calculando el aporte de agua que estos poseen con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Aporte de agua} = \% \text{ Humedad} - \% \text{ Absorción}$$

Tabla 25: Porcentaje de contenido de agua [autores]

Material	Propiedades físicas		Aporte de agua
	Absorción	Humedad	
Arena	2,71 %	4,70 %	+ 1,99 %
Grava de $\frac{3}{4}$ "	1,97 %	1,3 %	- 0,67 %

Aporte de agua Kg (ecu2)

Agregado fino

$$1177 * 0,0199 = +23,42 \text{ Kg}$$

Agregado grueso

$$823 * 0,0067 = -5,41 \text{ Kg}$$

Agua efectiva (ecu3)

$$\text{Agua efectiva} = 180 - (23,42 - 5,41) = 161,98 \text{ Kg}$$

Dosificación

Tabla 26: Dosificación del diseño optimizado [autores]

PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

MATERIAL	Pe Kg/m ³	Pe (SSS) Kg/m ³	PUS Kg/m ³	PUC Kg/m ³	% CA ABSORCION	%CH HUMEDAD	MF Mód.Finura	TN Max mm
Cemento	2980							
Arena Gruesa		2564	1580	1690	2,71%	4,70%	3,0	
Grava de 3/4"		2688	1460	1560	1,97%	1,30%		25 mm
Aire		1,00%						

DOSIFICACION POR m³

MATERIAL		PESO SSS/ m ³ Kg		PESO NATURAL/m ³ Kg		Volumen	por lts	Peso Lab. 23 lts	
Cemento		257	kg	257,00	kg	86	lts	5,91	kg
Agua		180	kg	161,98	kg	180	lts	3,73	kg
Arena Gruesa		1177	kg	1200,86	kg	459	lts	27,62	kg
Grava de 3/4"		823	kg	822,86	kg	306	lts	18,93	kg
Aire						10	lts	0,0	
MasterPolyheed 939	0,55%	1,41	kg	1,41	kg	1,15	lts	33	g
MasterGlenium 3700	0,25%	0,64	kg	0,64	kg	0,60	lts	15	g
TOTAL		2437	kg	2443	kg	1042	lts	56,2	kg
	Relación a/c	0,70				Densidad	2340	Kg/m³	
	Relación finos	0,600							

En relación con el diseño modelo, de acuerdo con el desempeño visto en el laboratorio se procedió a realizar la dosificación observando que se puede reducir 13 kg. la cantidad de cemento, basándonos en los análisis estadísticos previamente realizados, con el fin de disminuir considerablemente dicho material, siendo capaz de cumplir con la resistencia establecida de 210 kg/cm^2 sin necesidad de estar al límite de esta.

La dosificación presenta una disminución del cemento aproximadamente del 5%. En cuanto a la relación de finos se realizó una pequeña variación debido que en el momento de realizar la mezcla ésta presentaba un exceso de agregado grueso, lo que afectaba o disminuía la trabajabilidad, por la cual se cambió la proporción de relación de finos aumentando 5%.

Existe una variación en las proporciones de los agregados, manteniendo un equilibrio entre ambos diseños. Además, se realizó ensayos de humedad para los agregados, obteniendo un coeficiente de humedad de 4,7 % para la arena y 2,71 % para el coeficiente de absorción, presentando igualdad entre ellos, por consiguiente, la arena utilizada en el diseño optimizado posee menor humedad. Para el agregado $\frac{3}{4}$ permanecieron iguales los valores para ambos diseños. La densidad conseguida para este diseño es de 2340 kg/cm^3 siendo mayor al diseño modelo.

3.18. Prueba industrial

3.18.1. Corrección de humedad

$$\% \text{ Aporte de agua} = \% \text{ Humedad} - \% \text{ Absorción}$$

Tabla 27: Porcentaje de contenido de agua [autores]

Material	Propiedades físicas		Aporte de agua
	Absorción	Humedad	
Arena	2,70 %	5,28 %	+ 2,58 %
Grava de ¾"	1,97 %	1,22 %	- 0,75 %

Aporte de agua Kg (ecu2)

Agregado fino

$$1177 * 0,0258 = +30,38 \text{ Kg}$$

Agregado grueso

$$823 * 0,0075 = -6,17 \text{ Kg}$$

Agua efectiva (ecu3)

$$\text{Agua efectiva} = 180 - (30,37 - 6,17) = 155,69 \text{ Kg}$$

Dosificación

Tabla 28: Dosificación del diseño optimizado prueba industrial [autores]

<u>PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES</u>									
MATERIAL	Pe	Pe (SSS)	PUS	PUC	% CA	%CH	MF	TN Max	
	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	ABSORCION	HUMEDAD	Mód. Finura	mm	
Cemento	2980								
Arena Gruesa		2564	1580	1690	2,7%	5,28%	3,0		
Grava de 3/4"		2688	1460	1560	1,97%	1,22%		25 mm	
Aire		1,00%							
<u>DOSIFICACION POR m³</u>									
MATERIAL		PESO SSS/ m ³		PESO NATURAL/m ³		Volumen	por Its	Peso Lab.	
		Kg	Kg	Kg	Kg			23	Its
Cemento		257	kg	257,00	kg	86	Its	5,91	kg
Agua		180	kg	155,69	kg	180	Its	3,73	kg
Arena Gruesa		1177	kg	1207,8	kg	459	Its	27,62	kg
Grava de 3/4"		823	kg	822,85	kg	306	Its	18,93	kg
Aire						10	Its	0,0	
MasterPolyheed 939	0,55%	1,41	kg	1,41	kg	1,15	Its	33	g
MasterGlenium 3700	0,25%	0,64	kg	0,64	kg	0,60	Its	15	g
TOTAL		2437	kg	2443	kg	1042	Its	56,2	kg
	Relación a/c		0,70			Densidad		2340	Kg/m³
	Relación finos		0,600						

Se replica el diseño optimizado que se realizó en el laboratorio, teniendo en cuenta que es un ambiente exhaustivamente controlado y elaborado por un personal, mientras que en la prueba industrial no ocurre lo anterior mencionado, expuesto al ambiente ante cualquier tipo de situación o inconveniente, este a su vez se encuentra automatizada el proceso de elaboración por todos los equipos o máquinas, y controlado desde la cabina por un operador calificado.

Los factores que variaron en la dosificación del diseño en comparación con la prueba optimizada son los porcentajes de contenido de humedad y absorción, debido a que para cada proceso se debe realizar los ensayos específicos de los agregados calculando nuevamente la cantidad de agua a utilizar.

Se obtiene que al día 3 de la rotura se encuentra un 12% menos que el diseño optimizado, pero en las siguientes roturas correspondientes a los 7, 14 y 28 días se mantienen en el mismo rango de porcentaje aproximadamente $\pm 2\%$.

3.19. Temperatura

La temperatura de la mezcla que se obtiene en laboratorio es de 30°C la cual se encuentra en el rango establecido por el American Concrete Institute (ACI) 305 3.2 la cual indica que en climas cálidos el hormigón debe máximo a 35°C si es que no existe alguna otra especificación por el ingeniero o arquitecto.

La temperatura de la mezcla entregada puede variar de acuerdo con el tipo de construcción que se va a realizar. Si el hormigón va a ser utilizado para grandes construcciones como por ejemplo en puentes, entonces se debe bajar la temperatura usando agua fría (con hielo) debido a que al tener encofrado mucho material este tiende a calentarse producto de reacciones exotérmicas dando como resultados a fisuras y fallas en la resistencia.

3.20. Resistencia a la compresión

Este ensayo se basa en la NTE INEN 1573 y la ASTM C39 estableciendo el método correcto para determinar la resistencia que poseen cilindros de hormigón con cemento hidráulico sometidos a la compresión. De tal manera que los resultados obtenidos encaminen para que se pueda tener mejor control en la calidad de la dosificación, mezclado y colocación del hormigón. El procedimiento adecuado para el curado de estos especímenes es en húmedo por lo que al momento de realizar este ensayo se debe de seguir las siguientes tolerancias de tiempo en la que debe romperse los cilindros de acuerdo con la edad de ensayo.

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0,5 h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

Figura 16: Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo [Fuente: NTE INEN 1573]

3.21. Resultados

Tabla 29: Resultados de los ensayos a compresión de todos los diseños [autores]

ENSAYO A LA COMPRESIÓN CILINDROS DE HORMIGÓN						
DISEÑO	CANTIDAD DE CEMENTO	RELACIÓN A/C	EDAD	RESISTENCIA ESPECIFICADA	RESISTENCIA OBTENIDA	PORCENTAJE ALCANZADO
MODELO	270 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	239 Kg/cm ²	114 %
	270 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	241 Kg/cm ²	115 %
PATRÓN	270 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	233 Kg/cm ²	111 %
	270 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	240 Kg/cm ²	114 %
OPTIMIZADO	257 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	218 Kg/cm ²	104 %
	257 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	218 Kg/cm ²	104 %
INDUSTRIAL	257 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	220 Kg/cm ²	105 %
	257 Kg	0,70	28 días	210 Kg/cm ²	226 Kg/cm ²	107 %

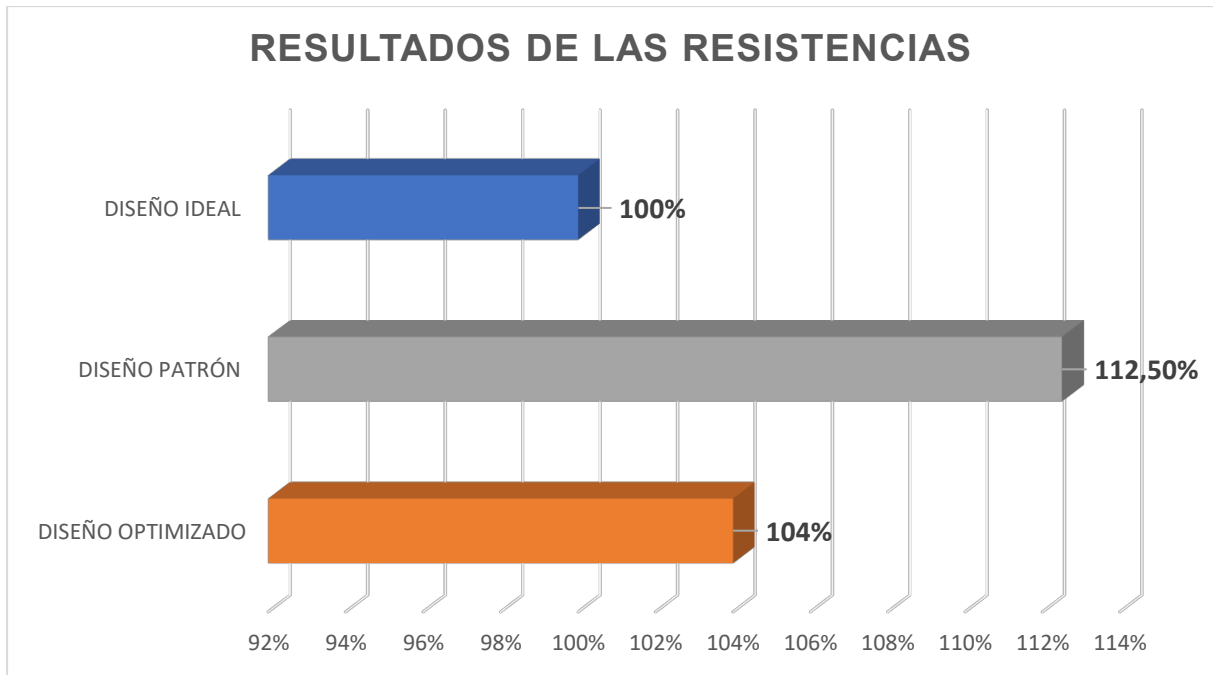


Figura 17: Resultados de las resistencias del diseño patrón y optimizado [autores]

Conociendo el sobre diseño de la mezcla actual del cliente se realizó la optimización de esta mediante el método ACI 211, el cual se basa en ensayos de laboratorio. Se obtuvo los resultados que se pueden observar en la Figura 17, manifestando que hay una reducción del 8,5% a la resistencia del diseño patrón.

La resistencia del diseño optimizado que es del 104% se encuentra en un rango aceptable por encima a la resistencia ideal del 100%, la cual no se recomienda reducir al límite la resistencia del diseño por motivos de que pueda existir una incertidumbre al momento de elaborar la mezcla y no alcanzar la resistencia establecida.

3.22. Especificaciones técnicas

Las normas que se tomaron en consideración para este proyecto son las establecidas por la Norma técnica ecuatoriana NTE y los procesos regularizados a través del instituto ecuatoriano de normalización INEN la cual se basa en la American Society for Testing and Materials (ASTM)

- ❖ Requisitos de desempeño para cementos Hidráulicos NTE INEN 2380
- ❖ Requisitos para agregados de concretos NTE INEN 872 - ASTM C33
- ❖ Requisitos de agua para mezcla NTE INEN 2617
- ❖ Requisitos Cemento Portland NTE INEN 152
- ❖ Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso NTE INEN 696
- ❖ Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino NTE INEN 856
- ❖ Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso NTE INEN 857
- ❖ Determinación del valor de la degradación del árido grueso (Ensayo de Abrasión) NTE INEN 860
- ❖ Determinación del contenido total de humedad NTE INEN 862
- ❖ Asentamiento NTE INEM 1578 - ASTM C143
- ❖ Temperatura del hormigón ACI 305 3.2
- ❖ Contenido de aire NTE INEN 3122
- ❖ Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo NTE INEN 1576 - ASTM C31
- ❖ Resistencia a la compresión NTE INEN 1573 - ASTM C39
- ❖ Criterios de aceptación del hormigón premezclado NTE INEN 1855
- ❖ Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto ACI 21

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

4.1. Objetivos

Realizar una evaluación comparativa del impacto ambiental de la mezcla no optimizada y la optimizada a fin de cuantificar los beneficios ambientales.

4.2. Descripción general medio ambiental de la planta

El tipo de cemento que actualmente utiliza la empresa es de alta resistencia (HE) por lo que el análisis que se presenta en este capítulo es enfocado en este tipo de cemento.

La planta se encuentra en la zona rural de la ciudad de Esmeraldas en la Parroquia San Mateo. Según las visitas de campo se puede observar que existen grandes cantidades de polvo originados por los materiales al momento de ingresarlos a los galpones y a la mezcladora, además de cualquier tipo de transporte utilizado en la constructora para la producción del hormigón. En la planta automatizada posee una cabina encapsulada donde se encuentra el operador y es quien ingresa y controla los diseños de hormigón.

El uso del agua no es controlado debido a que al momento de lavar los vehículos de transporte o cualquier tipo de equipos se desperdicia mucha cantidad de agua. Además de que en la Provincia existe problemas con el abastecimiento de agua potable, los cuales no son comunicados con anticipación.

Existe un buen manejo de la energía en la constructora, ya que solo se utiliza lo necesario para las diferentes actividades que se realizan en la planta, oficinas, laboratorio e instalaciones.

Los vehículos de transporte que posee la constructora son actuales y se encuentran en constante mantenimiento, lo que conlleva a reducir las emisiones de CO₂ originadas por los mismos.

La certificación actualmente vigente emitida por parte del Ministerio del Ambiente es la siguiente: *“INTERSECCIÓN CON EL SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS (SNAP), PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO (PFE), BOSQUES Y VEGETACIÓN PROTECTORA (BVP), PARA EL PROYECTO: CONSTRUCTORA LEONARDO HERNÁNDEZ S.A., UBICADA EN LA PROVINCIA DE ESMERALDAS”*, por la cual mediante el análisis de la información a través del sistema (SUIA) informa que la zona donde se encuentra ubicada la empresa no presenta intersección con áreas protegidas.

El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas (GADPE) aprueba y otorga el permiso de Registro Ambiental y Plan de Manejo Ambiental.

4.4. Evaluación comparativa de impactos ambientales antes y después de la optimización

Los parámetros más importantes que se van a evaluar a continuación para el impacto ambiental se refieren a las emisiones de gases de efecto invernadero CO₂, el consumo de agua y el consumo de energía que presenta la constructora “Leonardo Hernández”.

El alcance de este capítulo se enfoca en el cálculo del ahorro de los parámetros anteriormente mencionados en la etapa de elaboración de la mezcla de hormigón, cuya resistencia establecida es de 210 kg/cm^2 . Para una mejor comprensión y entendimiento del ahorro para la empresa, se realiza una relación de semejanza convirtiendo dicho ahorro a una situación más clara.

4.4.1. Emisión de gases de infecto invernadero

Según (Petroche & Ramirez, 2022) establece en la Tabla 30 las emisiones globales de CO₂ que se origina al usar diferentes tipos de cementos existentes y más vendidos en el Ecuador tales como: GU (mayor consumo), HE (alta resistencia) y el MH (moderado calor de hidratación), la misma que se analiza para 1 Ton de cemento.

Tabla 30: Resultado de las categorías de impacto de la evaluación del ciclo de vida para 1 tonelada de cemento hidráulico compuesto
[Fuente: (Petroche & Ramirez, 2022)]

Impact Categories	Unit	GU ¹	This Study HE ²	MH ³	Literature Reviewed
Global Warming Potential—GWP100	kg CO ₂ -Eq	545.78	696.81	465.89	632–950 ⁴ 452–850 ⁵
Terrestrial Acidification Potential—TAP100	kg SO ₂ -Eq	1.03	1.27	0.88	1.467–4.1 ⁶ 0.87–1.16 ⁷
Freshwater Eutrophication Potential—FEP	kg P-Eq	3.59 × 10 ⁻³	4.23 × 10 ⁻³	3.22 × 10 ⁻³	1.23 × 10 ⁻² ⁸
Marine Eutrophication Potential—MEP	kg N-Eq	0.054	0.067	0.047	—
Ozone Depletion Potential—ODP	kg CFC ⁻¹¹ -Eq	2.83 × 10 ⁻⁵	3.59 × 10 ⁻⁵	2.43 × 10 ⁻⁵	9.60 × 10 ⁻⁹ 4.20 × 10 ⁻⁵ ⁹
Photochemical Oxidant Formation Potential—POFP	kg NMVOC-Eq	1.34	1.68	1.16	1.09 ⁸
Particulate Matter Formation Potential—PMFP	kg PM10-Eq	0.48	0.56	0.42	—
Fossil Depletion Potential—FDP	kg oil-Eq	54.85	69.30	47.14	—

Analizando los resultados obtenidos se puede definir que el cemento HE es el que presenta mayor emisión de CO₂ al ambiente con 696.81 kg CO₂-Eq por 1 Ton.

Cálculo de CO₂ por Kg de cemento

$$696,81 \frac{Kg CO_2 - Eq}{Ton_{cem}} \quad \begin{matrix} 1000 Kg \\ 1 Kg \end{matrix}$$

$$X$$

$$X = 0,697 \frac{Kg CO_2 - Eq}{Kg_{cem}}$$

Cálculo de CO₂ por Kg de cemento para el diseño modelo

$$0,697 \frac{Kg CO_2 - Eq}{Kg_{cem}} * 270 Kg_{cem} = 188,19 Kg CO_2 - Eq$$

Cálculo de CO₂ por Kg de cemento para el diseño optimizado

$$0,697 \frac{Kg CO_2 - Eq}{Kg_{cem}} * 257 Kg_{cem} = 179,13 Kg CO_2 - Eq$$

Reducción de CO₂-Eq

$$Re = (188,19 - 179,13) Kg CO_2 - Eq = 9,06 Kg CO_2 - Eq$$

Porcentaje de reducción de CO₂-Eq

188,19 Kg CO ₂ - Eq	100 %
9,06 Kg CO ₂ - Eq	%Re

$$\%Re = 4,81\%$$

Gráfica de emisiones de CO₂ producidas por ambos diseños en 1m³

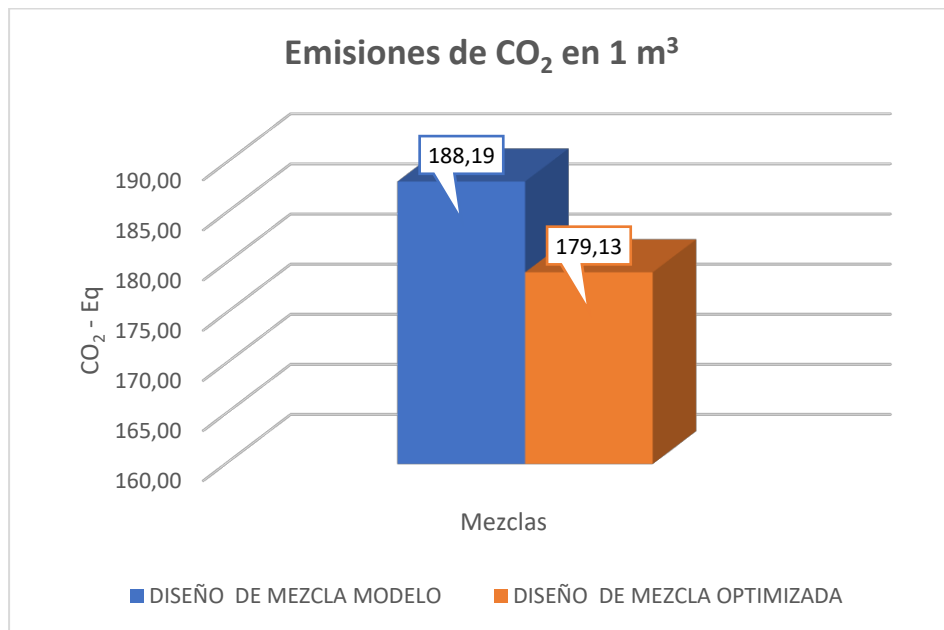


Figura 18: Emisiones de CO₂ en 1 m³ para los diseños de mezcla modelo y optimizada [autores]

Tabla 31: Resultados de las emisiones de CO₂ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m³ [autores]

EMISIONES DE CO2	DISEÑO DE MEZCLA MODELO	DISEÑO DE MEZCLA OPTIMIZADA
CO ₂ - Eq	188,19	179,13

Con la información básica suministrada por el cliente se tiene que en promedio la producción de hormigón mensual es de 1200 m³, por lo que se procede a calcular la reducción de CO₂ que tendría anualmente la mezcla.

Emisión anual de CO₂ mezcla modelo

*CO₂ por Kg de cemento para 1 m³ * Producción anual (2021)*

$$188,19 \frac{Kg CO_2 - Eq}{m^3} * (1200 * 12)m^3 = 2709,9 * 10^3 [Kg CO_2 - Eq]$$

Emisión anual de CO₂ mezcla optimizada

*CO₂ por Kg de cemento para 1 m³ * Producción anual (2021)*

$$179,13 \frac{Kg CO_2 - Eq}{m^3} * (1200 * 12)m^3 = 2579,5 * 10^3 [Kg CO_2 - Eq]$$

Reducción de CO₂-Eq

$$Re = (2709.9 * 10^3 - 2579.5 * 10^3) Kg CO_2 - Eq = 130400 Kg CO_2 - Eq$$

Porcentaje de reducción de CO₂-Eq

$$2709.9 * 10^3 Kg CO_2 - Eq \quad 100 \%$$

$$130400 Kg CO_2 - Eq \quad \%Re$$

$$\%Re = 4,81\%$$

Gráfica de emisiones de CO₂ producidas por ambos diseños en 1m³ anualmente

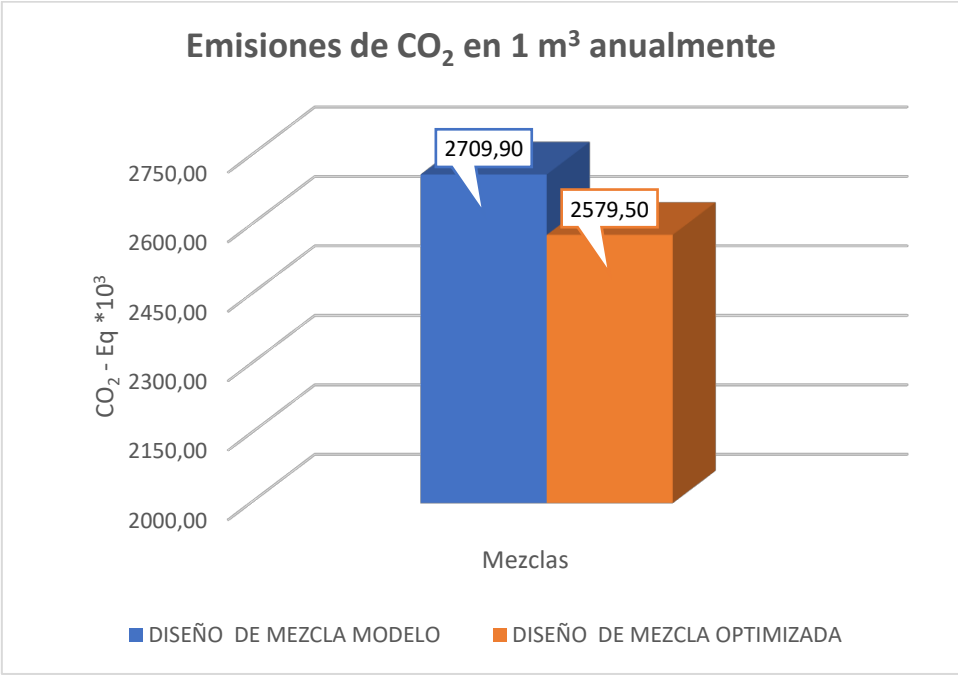


Figura 19: Emisiones de CO₂ en 1 m³ por año para los diseños de mezcla modelo y optimizada [autores]

Tabla 32: Resultados de las emisiones de CO₂ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m³ por año [autores]

EMISIONES DE CO ₂	DISEÑO DE MEZCLA MODELO	DISEÑO DE MEZCLA OPTIMIZADA
CO ₂ - Eq	2709.9 * 10 ³	2579.5 * 10 ³

Produciendo mezclas de hormigón anualmente se observa que existe una reducción bastante considerable de emisiones de CO₂ expuestas al medio ambiente.

La constructora posee vehículos con motores que funcionan a Diésel tales como: mixer, retroexcavadora, camionetas y volquetas, capaces de realizar trabajo pesado en cualquier tipo de terreno. Estos vehículos por cada litro de combustible quemado generan 2,65 Kg de CO₂ por lo que, para mejor apreciación de los resultados obtenidos, se realiza la siguiente conversión. (Roncero, 2009)

$$10,6 \text{ Kg } CO_2$$

$$130400 \text{ Kg } CO_2 - Eq$$

$$1 \text{ galón}$$

$$X$$

$$X = 12301,89 \text{ galones de diesel}$$

Se obtiene que dicho ahorro en emisiones de CO₂ es equivalente a dejar de consumir aproximadamente 12302 galones de diésel al año.

4.4.2. Consumo de agua

Reducción de consumo de agua

$$Re = (189 - 180) \text{ Lts} = 9 \text{ Lts}$$

Porcentaje de reducción de agua por 1 m³

189 Lts	100 %
9 Lts	%Re

$$\%Re = 4,76$$

Gráfica de consumo de agua producidas por ambos diseños por cada 1m³

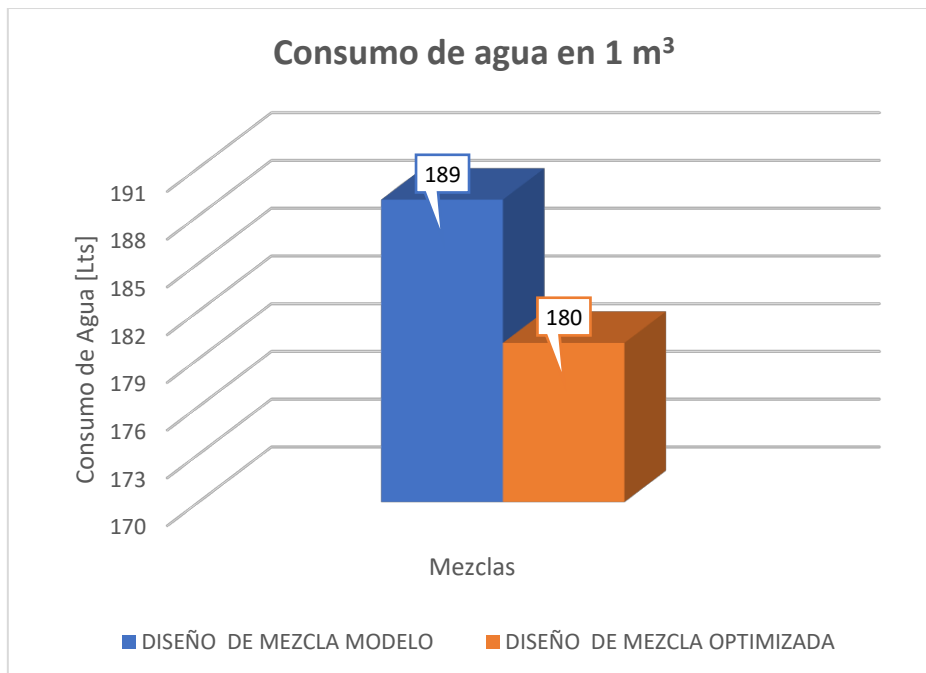


Figura 20: Consumo de agua en Lts en 1m³ para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores]

Tabla 33: Resultados del consumo de agua en Lts para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m³ [autores]

CONSUMO DE AGUA	DISEÑO DE MEZCLA MODELO	DISEÑO DE MEZCLA OPTIMIZADA
Lts	189	180

Se puede observar que existe una disminución del consumo de agua en la constructora utilizando el diseño de mezcla optimizada, logrando reducir 9 Lts de agua equivalente a un 5% aproximadamente.

Se procede a calcular el consumo de agua por cada 1 m³ anualmente:

Consumo de agua mezcla modelo

$$Lts \text{ por } 1 \text{ m}^3 * \text{Producción anual (2021)}$$

$$189 \frac{Lts}{m^3} * (1200 * 12)m^3 = 2721,6 * 10^3 Lts$$

Emisión anual de agua mezcla optimizada

$$Lts \text{ por } 1 \text{ m}^3 * \text{Producción anual (2021)}$$

$$180 \frac{Lts}{m^3} * (1200 * 12) m^3 = 2592,0 * 10^3 Lts$$

Reducción de consumo de agua

$$Re = (2721,6 * 10^3 - 2592,0 * 10^3) Lts = 129600 Lts$$

Porcentaje de reducción de agua

$2721,6 * 10^3 Lts$	100 %
$129600 Lts$	%Re

$$\%Re = 4,76$$

Gráfica de consumo de agua producidas por ambos diseños en 1 m³ anualmente

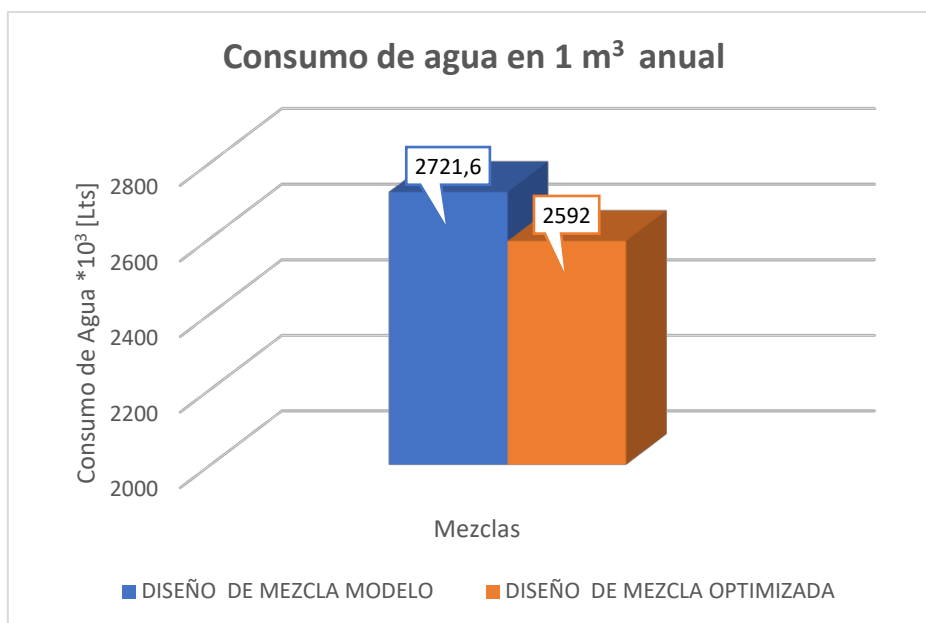


Figura 21: Consumo de agua en Lts en 1m³ por años para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores]

Tabla 34: Resultados del consumo de agua en Lts para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1 m³ por año [autores]

CONSUMO DE AGUA	DISEÑO DE MEZCLA MODELO	DISEÑO DE MEZCLA OPTIMIZADA
Lts	2721,6 * 10 ³	2592,0 * 10 ³

Población (habitantes)	Clima	Dotación Media Futura (l/hab/día)
Hasta 5,000	frío	120 – 150
	templado	130 – 160
	cálido	170 – 200
5,000 a 50,000	frío	180 – 200
	templado	190 – 220
	cálido	200 – 230
más de 50,000	frío	> 200
	templado	> 220
	cálido	> 230

Figura 22: Dotaciones media futura [Fuente: Norma CPE INEN 005-9]

La provincia de esmeraldas según el último censo realizado en el 2010 habita aproximadamente 500.000 personas con clima cálido, por lo que siguiendo la Figura 22 propuesta por la Norma CPE INEN 005-9 la dotación media futura mínima debe ser de $230 \frac{Lts}{hab*d}$.

$$Numero\ de\ personas = \frac{12960\ Lts}{230 \frac{Lts}{hab * d}} = 563,48\ hab * dia$$

Números de personas dotadas de agua por un año

$$563,48\ hab * día * \frac{1\ año}{365\ días} = 1,54\ hab * año$$

Este ahorro es equivalente a la dotación de agua potable de aproximadamente 1 persona por año.

4.4.3. Consumo de energía

Para el cálculo del consumo de energía se debe realizar un procedimiento estándar en el tiempo de la etapa de mezclado, por lo que se ha elaborado el siguiente cálculo en función a la literatura de otro documento. En nuestro caso no se cuenta con los datos específicos del diseño más vendido, debido a que el proceso de mezclado de cliente es muy variado.

El consumo general de energía para la producción de mezclas de hormigón en una planta oscila entre 2,81 – 5,4 GJ por cada Tonelada de cemento, por lo que en promedio representa 4,11 GJ (Petroche & Ramirez, 2022)

Cálculo de energía por 1 m³

$$4,11 \frac{GJ}{Ton_{cem}} \qquad \frac{1000\ Kg}{1\ Kg}$$

$$X$$

$$X = 0,0041 * \frac{GJ}{Kg_{cem}}$$

Cálculo de energía por Kg de cemento para el diseño modelo

$$0,0041 \frac{GJ}{Kg_{cem}} * 270 Kg_{cem} = 1,11 GJ$$

Cálculo de energía por Kg de cemento para el diseño optimizado

$$0,0041 \frac{GJ}{Kg_{cem}} * 257 Kg_{cem} = 1,05 GJ$$

Reducción de energía

$$Re = (1,11 - 1,05) GJ = 0,06 GJ$$

Porcentaje de reducción de energía

1,11 GJ	100 %
0,06 GJ	%Re

$$\%Re = 5,41\%$$

Gráfica de emisiones de energía producidas por ambos diseños en 1m³

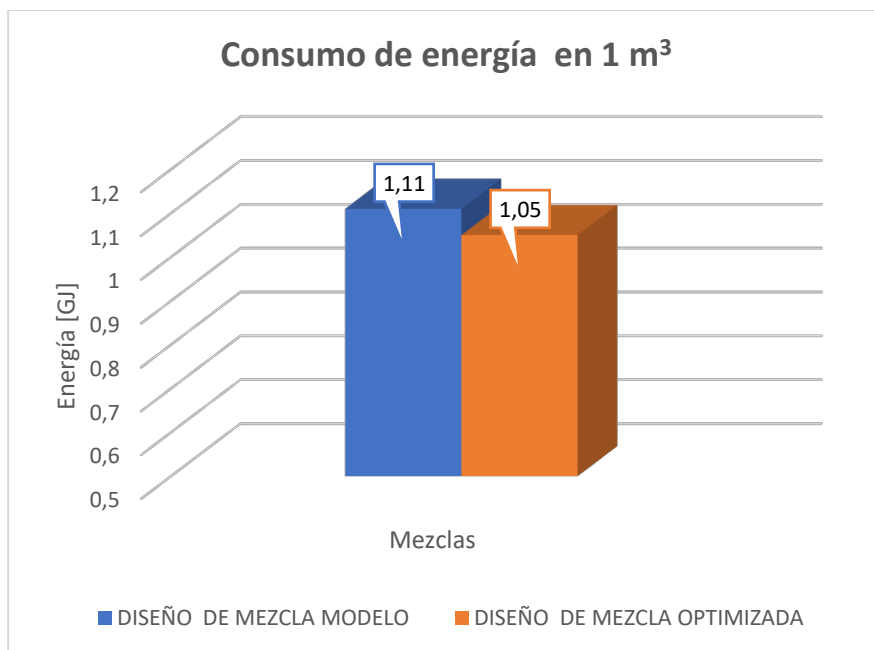


Figura 23: Consumo de energía en GJ en 1m³ para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores]

Tabla 35: Resultados del consumo de ebergía en GJ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m³ [autores]

CONSUMO DE ENERGÍA	DISEÑO DE MEZCLA MODELO	DISEÑO DE MEZCLA OPTIMIZADA
GJ	1,11	1,05

Emisión anual de energía mezcla modelo

*GJ por Kg de cemento para 1 m³ * Producción anual (2021)*

$$1,11 \frac{GJ}{m^3} * (1200 * 12) m^3 = 15984 [GJ]$$

Emisión anual de energía mezcla optimizada

*GJ por Kg de cemento para 1 m³ * Producción anual (2021)*

$$1,05 \frac{GJ}{m^3} * (1200 * 12)m^3 = 15120 [GJ]$$

Reducción de energía

$$Re = (15984 - 15120) GJ = 864 GJ$$

Porcentaje de reducción de energía

15984 GJ	100 %
864 GJ	%Re

$$\%Re = 5,41\%$$

Gráfica de emisiones de energía producidas por ambos diseños en 1m³ anualmente

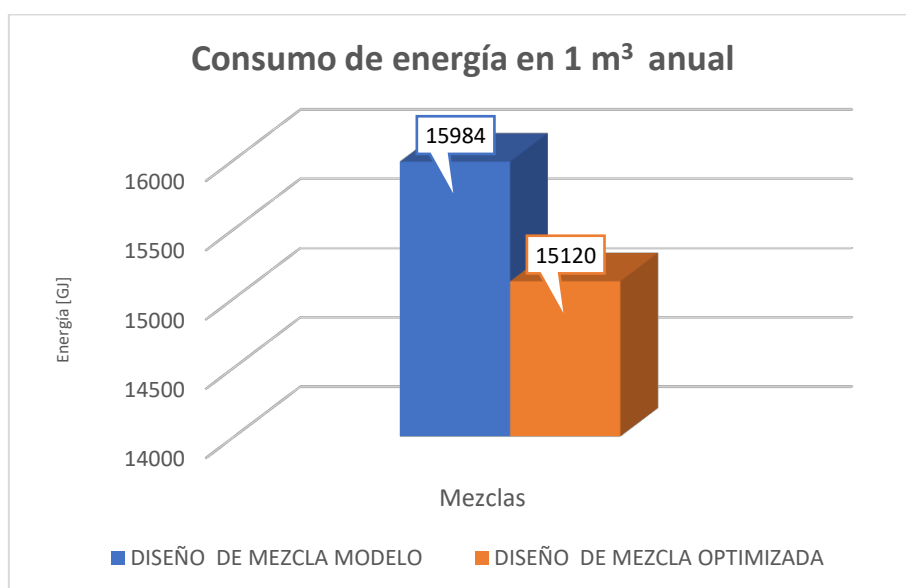


Figura 24: Consumo de energía en GJ en 1m³ por año para los diseños de mezcla modelo y optimizado [autores]

Tabla 36: Resultados del consumo de ebergía en GJ para los diseños de mezcla modelo y optimizado en 1m³ por año [autores]

CONSUMO DE ENERGÍA	DISEÑO DE MEZCLA MODELO	DISEÑO DE MEZCLA OPTIMIZADA
GJ	15984	15120

Según (Datosmacro, 2021) establece el consumo aproximado de electricidad en Ecuador, teniendo como valor lo siguiente:

$$26,35 \text{ GWh es equivalente a } 9,49 \times 10^4 \text{ GJ}$$

Según (Prensa Latina, 2022) las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) establece que para el año 2022 Ecuador tendría una población aproximada de 18 millones de habitantes.

Conociendo los datos estadísticos se procede a calcular el consumo de energía por habitante:

$$CE = \frac{9,49 * 10^4 \text{ GJ}}{18 \text{ mill}} = 5,27 * 10^{-3} \text{ GJ/hab}$$

Números de personas dotadas de energía por un año

$$\frac{0,06 \text{ GJ}}{5,27 * 10^{-3} \text{ GJ/hab}} = 11,39 \text{ hab * año}$$

Este ahorro representa a la dotación de energía de 11 habitantes por año aproximadamente.

4.5. Conclusiones y Recomendaciones

- Mediante los cálculos realizados con anterioridad y basándose en datos estadísticos, se puede concluir que para las emisiones de gases de efecto invernadero CO₂ originadas por el cemento, se obtiene que para la producción de 1 m³ de hormigón la reducción es de 4,81% de estas emisiones, así mismo para el consumo de agua se obtiene que el ahorro es de 4,76%, mientras que el consumo de energía se encuentra un poco elevado en comparación a los otros, consiguiendo un ahorro de 5,41% con respecto al diseño modelo.
- Se recomienda almacenar el agua de lluvia para utilizarla en la limpieza de vehículos, equipos, instalaciones y planta de hormigón, además de que exista un poco más de control con respecto al lavado de las ruedas ya que las mismas levantan mucho polvo, es por ello que se deben limpiar regularmente a la entrada y salida de la constructora.
- Para la elaboración estándar de las mezclas para diferentes resistencias es recomendable establecer el tiempo de mezclado, para llevar un mejor control para próximas optimizaciones.

CAPITULO 5

5. PRESUPUESTO

Este proyecto se enfoca únicamente en la producción de la mezcla de hormigón para la resistencia de diseño de 210 Kg/cm². De tal manera que para el presupuesto no se considerará otras etapas como movilización, transporte de material, gastos administrativos, entre otros.

Los costos unitarios que engloba el proceso de la elaboración de la mezcla de hormigón en la planta de la constructora son proporcionados por el cliente, puesto que se manejan diferentes valores de acuerdo con el tipo de negocio realizado entre el cliente y el proveedor.

Los costos indirectos y utilidades que utiliza la empresa son del 30% con respecto al costo de elaboración del hormigón, por la cual se mantuvo ese valor para no alterar su planificación financiera adquirida a lo largo de su experiencia.

Análisis económico

A continuación, se realiza el análisis de los materiales utilizados para la elaboración de hormigón con precios establecidos en la ciudad de Esmeraldas, dicho análisis se va a cotizar para 1.042 m³. debido a que, por cada producción puede haber residuos que se queden en la planta automatizada o el mixer, además, de que el material en estado fresco posee mayor volumen que el endurecido y ya compactado.

Análisis de materiales

Costo del cemento

El tipo de cemento que utiliza la constructora es de alta resistencia (HE) de la marca Holcim. Debido a que el precio solo lo proporcionan para empresas o clientes corporativos se coloca al precio que le dan al cliente que es de \$0,14 por Kg de cemento.

Costo de los agregados

Agregado grueso $\frac{3}{4}$: El costo del m^3 de este agregado actualmente en la ciudad de Esmeraldas para venta al público es de \$18 aproximadamente, dependiendo de la zona donde se encuentra el cliente.

Agregado fino: El valor de venta por m^3 para el público para el agregado fino es alrededor de \$13,50 dependiendo del lugar al que se tenga que abastecer.

Costo de los aditivos

En cuestiones de aditivos los precios de ventas al público no se encuentran disponibles por motivo que solo se realiza la cotización a empresas. Teniendo esa consideración, el costo para nuestro cliente es de \$1,27 por Lt para el aditivo Plastificante - Retardante Máster Polyheed 939 y \$1,19 por Lt para el aditivo Superplastificante Máster Rheobuilt 3700.

Costo del agua

En la actualidad la provincia de Esmeraldas se encuentra constantemente en problemas con tuberías y abastecen a la ciudad pocos días a la semana, teniendo el valor de \$0,20 m^3 aproximadamente.

Análisis del producto

Costo del hormigón

El valor actual del hormigón según la (Cámara de la industria de la construcción, 2022) en su revista de abril -junio del año 2022. La empresa Holcim es uno de los más grandes proveedores de hormigón premezclado en el mercado actual cuya resistencia de 210 Kg/cm^2 posee un valor de \$93,06 por m^3 .

5.4. EDT

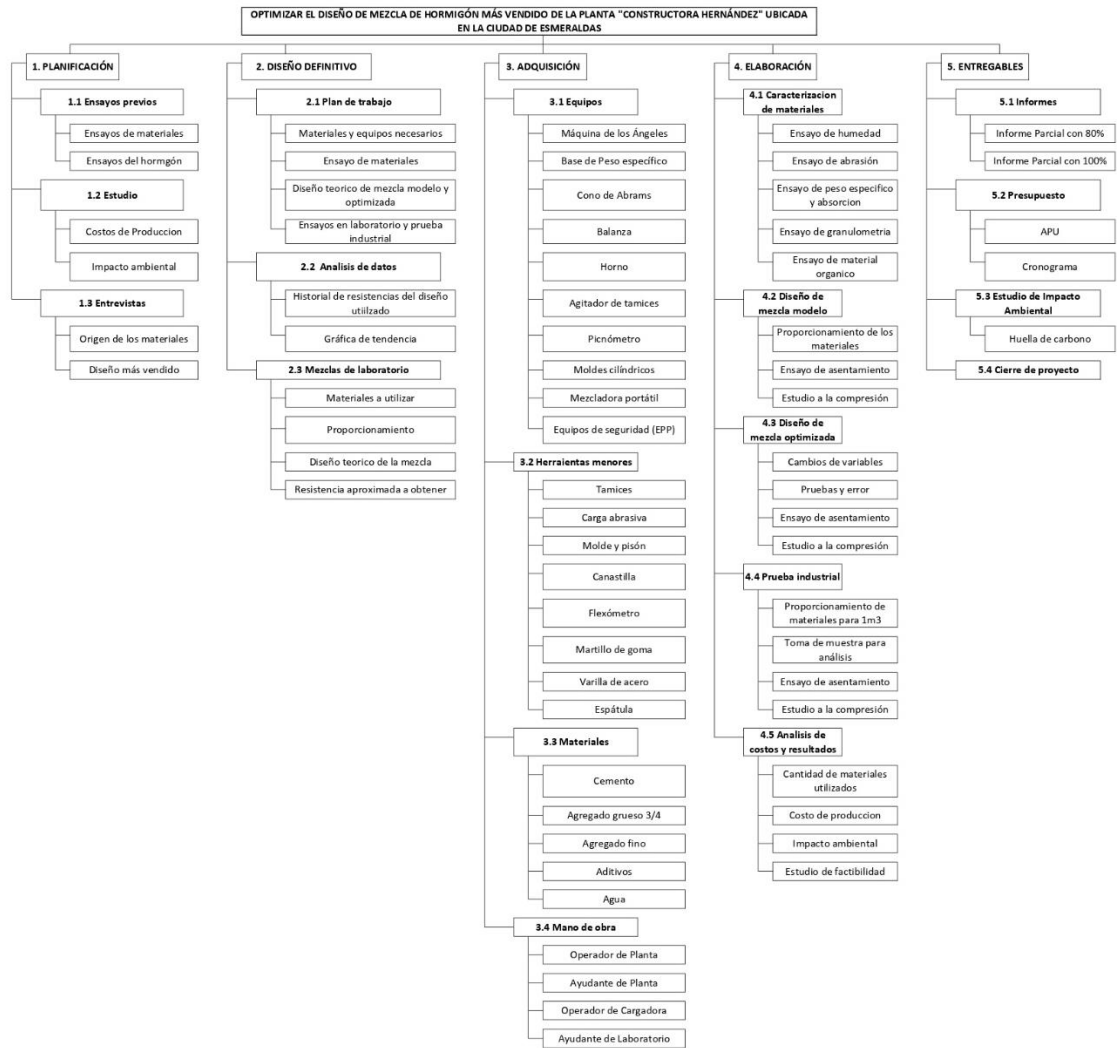


Figura 25: Estructura de desglose de trabajo [autores]

5.5. Descripción de rubros

Equipos

- Mezcladora

La mezcladora de hormigón es el equipo encargado de mezclar los materiales en grandes volúmenes de producción para dar como resultado el concreto, teniendo como ventajas una mezcla homogénea, consumo bajo de energía, corto tiempo de mezcla y alto rendimiento de trabajo. Dicho equipo utilizado por el cliente es capaz de producir $21 \text{ m}^3/\text{h}$. (JIANXIN MACHINERY, s.f)

- Cargadora

Es un vehículo autopropulsado con una cuchara de capacidad $1,72 \text{ m}^3$ en la parte frontal del mismo, con el fin de cargar materiales sueltos o de excavar removiendo material del suelo para descargarlos en las zonas de almacenamiento, volquetas y tolvas a distancias mínimas.

- Mixer

Es un camión que posee un tambor mezclador, con el fin de transportar la mezcla de hormigón manteniendo la humedad y propiedades. El tambor realiza la acción de mezclar mientras se dirige al lugar de construcción para evitar que se endurezca el hormigón, además de tener una capacidad que se encuentra entre 2 y 8 m^3 . Cabe recalcar que después de la descarga del material se debe de limpiar de manera exhaustiva el tambor para evitar cualquier residuo adherido a las paredes. (Bardahl , 2020)

Mano de obra

- Operador de planta

Es el encargado de ingresar y verificar la dosificación del diseño de la mezcla de hormigón utilizada en la planta automatizada, además, de estar pendiente a cualquier imprevisto que pueda ocurrir en el proceso de elaboración.

- Operador de Cargadora

Persona calificada para manejar la cargadora garantizando seguridad ante cualquier situación.

- Operador de Mixer

Es la persona encargada de transportar la mezcla de hormigón en el camión mezclador y descargarlo en el lugar de construcción solicitado al tiempo indicado. Además, de tener la precaución de ir por la ruta más adecuado tomando en consideración pendientes y calles que se encuentren en mal estado.

Materiales

La descripción de los materiales a más detalle se encuentra en el Capítulo 2.

5.6. Análisis de costos unitarios

Tabla 37: Análisis de precios unitarios del diseño patrón para 1m³

[autores]

PROYECTO:	APU Diseño Patrón				
ID:	APU-001				UNIDAD: mixer
RUBRO:	Hormigón Premezclado f'c 210 kg/cm ² Agregado 3/4 - Sin Bomba (1 m ³)				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Mezcladora	1,0000	23,9700	23,9700	0,0476	1,1414
Cargadora Frontal	1,0000	10,9600	10,9600	0,0476	0,5219
Mixer	1,0000	34,8800	34,8800	0,0476	1,6610
			SUBTOTAL M		3,3243
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Operador de Planta	1,0000	4,0900	4,0900	0,0476	0,1948
Operador de Cargadora	1,0000	4,0900	4,0900	0,0476	0,1948
Operador de Mixer	1,0000	4,2900	4,2900	0,0476	0,2043
			SUBTOTAL N		0,5939
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Cemento Holcim HE	kg	270,00	\$ 0,14	39,0420	
Agregado grueso ¾	m ³	0,63	\$ 13,44	8,5344	
Agregado fino	m ³	0,66	\$ 10,59	6,9557	
Aditivo Plastificante - Retardante Máster Polyheed 939	lts	1,49	\$ 1,27	1,8878	
Aditivo Superplastificante Máster Rheobuilt 3700	lts	0,68	\$ 1,19	0,8003	
Agua	m ³	0,19	\$ 0,20	0,0378	
			SUBTOTAL O		57,2580

TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O)	61,1762
INDIRECTOS Y UTILIDADES	30,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	79,5291
VALOR OFERTADO	79,53

Tabla 38: Análisis de precios unitarios del diseño optimizado para 1m³

[autores]

PROYECTO:	APU Diseño Optimizado		UNIDAD:	mixer	
ID:	APU-002				
RUBRO:	Hormigón Premezclado f'c 210 kg/cm ² Agregado 3/4 - Sin Bomba (1 m ³)				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Mezcladora	1,0000	23,9700	23,9700	0,0476	1,1414
Cargadora Frontal	1,0000	10,9600	10,9600	0,0476	0,5219
Mixer	1,0000	34,8800	34,8800	0,0476	1,6610
			<i>SUBTOTAL M</i>		3,3243
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Operador de Planta	1,0000	4,0900	4,0900	0,0476	0,1948
Operador de Cargadora	1,0000	4,0900	4,0900	0,0476	0,1948
Operador de Mixer	1,0000	4,2900	4,2900	0,0476	0,2043
			<i>SUBTOTAL N</i>		0,5939
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Cemento Holcim HE	kg	257,00	\$ 0,14	37,1622	
Agregado grueso ¾	m ³	0,56	\$ 13,44	7,5770	
Agregado fino	m ³	0,74	\$ 10,59	7,8871	
Aditivo Plastificante - Retardante Máster Polyheed 939	lts	1,41	\$ 1,27	1,7969	
Aditivo Superplastificante Máster Rheobuilt 3700	lts	0,64	\$ 1,19	0,7618	
Agua	m ³	0,18	\$ 0,20	0,0360	
			<i>SUBTOTAL O</i>		55,2210

TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O)	59,1392
INDIRECTOS Y UTILIDADES 30,00%	17,7418
COSTO TOTAL DEL RUBRO	76,8810
VALOR OFERTADO	76,88

Ahorro del costo de producción por m³

Costo producción del diseño modelo – Costo producción del diseño optimizado

$$Ahorro_{m^3} = \$79,53 - \$76,88 = \$2,65$$

Ahorro anual

$$Ahorro_{m^3} * Producción\ anual\ (2021)$$

$$\$2,65 * (1200\ m^3 * 12) = \$38160$$

Análisis de factibilidad

El presente proyecto se enfoca en obtener un procedimiento para optimizar la mezcla de hormigón manteniendo los requisitos solicitados por el cliente, puesto que se puede replicar para diferentes diseños de mezclas siguiendo el mismo procedimiento.

Para que el proceso realizado sea bueno se debe cumplir con algunas condiciones para el éxito de este, las cuales son: Presentar las maquinas correctamente calibradas, contar con los materiales y equipos necesarios para la realización de los diferentes ensayos, tener todos los equipos de seguridad industrial para cada uno de los empleados, mantener una buena limpieza de los vehículos y disponer con personal capacitados para las diferentes áreas.

Presentando una alteración en las proporciones de los materiales en la dosificación de la mezcla de hormigón se logró disminuir las emisiones de efecto invernadero (CO₂), el consumo del agua y energía. Además, de contribuir con los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) Organización de las Naciones Unidas, (2015):

- Agua limpia y saneamiento
- Industria innovación e infraestructura
- Producción y consumo responsables

Presentando un análisis de costos se realizó una comparación entre los valores actuales de producción de la empresa y los obtenidos por la optimización de la mezcla de $210 \frac{kg}{cm^2}$, se obtuvo que por cada m^3 se puede ahorrar \$2,65 mientras que, anualmente teniendo una producción mensual de $1200 m^3$ se tiene \$38160, por lo que dicho proceso de optimización es muy factible.

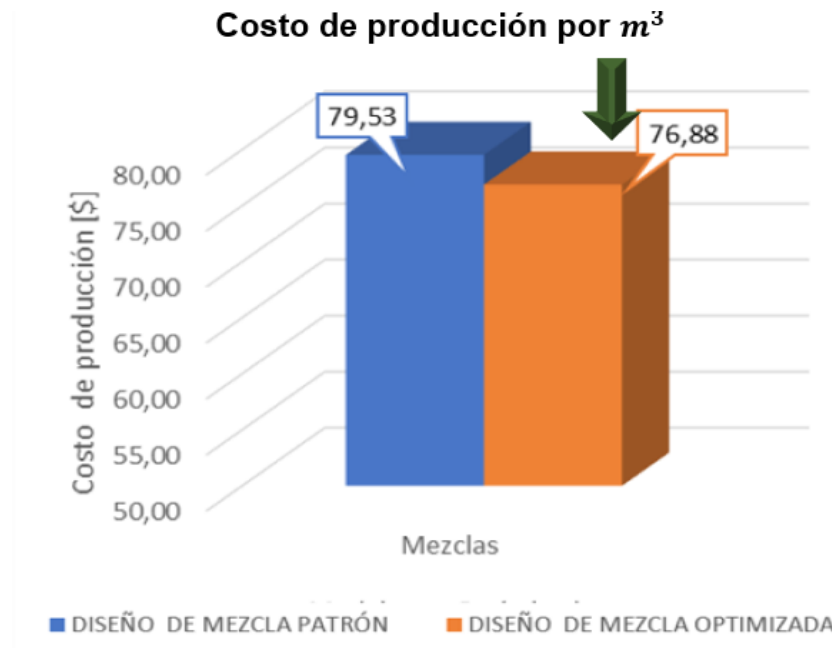


Figura 26: Comparación de costos de la mezcla modelo con la mezcla optimizada [autores]

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.4. Conclusiones

- Se realizó el análisis estadístico de los diferentes diseños mencionados anteriormente, teniendo una desviación estándar de 0,67 MPa, una operación de la planta excelente y cumpliendo los requisitos de resistencia del ACI, sin embargo, la mezcla que actualmente utiliza la planta se encuentra sobre diseñada en 4,16 MPa. Por lo tanto, se concluye que se puede optimizar el diseño de la mezcla de hormigón con resistencia de 21 MPa (210 kg/cm²).
- Variando las proporciones de los materiales en el diseño de la mezcla optimizada se redujo 13 Kg de cemento, obteniendo una resistencia a los 28 días de 218 Kg/cm², además se realizó una prueba industrial en la constructora para mejor visualización de los resultados en 1 m³, esta a su vez presentó una resistencia similar a la mezcla realizada en laboratorio de 223 Kg/cm². En definitiva, la dosificación mejorada cumple con las resistencias mínimas requeridas, asimismo es apto para ser replicado en los distintos tipos de diseños.
- Se puede concluir que el diseño optimizado cumple con la reducción del impacto ambiental, abarcando los siguientes parámetros: gases de efecto invernadero (CO₂) disminuyendo un 4,81%, el consumo del agua 4,76% y el consumo de energía 5,41%. Por lo que dicho diseño contribuye a disminuir la contaminación del medio ambiente.
- Comparando los costos de producción entre el diseño actual y el optimizado se obtuvo que por m³ de hormigón se tiene un ahorro de \$2,65 y anualmente con una producción promedio de 1200 m³ mensual, dicho ahorro sería de \$38160. Por lo que se puede concluir que el diseño optimizado es muy factible en el ámbito económico.

6.5. Recomendaciones

- Se requiere llevar un mejor registro para seguir optimizando, mejor gestión de los datos, mientras más registro se posea más confiable será la evaluación estadística, puesto que es de gran importancia para intentar reducir la cantidad de los materiales porque así se conoce mejor el comportamiento de estos.
- Se recomienda que la empresa organice charlas técnicas para mantener actualizados a los colaboradores en tema de tecnología de hormigón y materiales.
- Mantener una calibración continua de los equipos en el laboratorio, y máquinas en cuestión de la planta que posee la empresa, para evitar errores en las resistencias de cualquier diseño de mezcla de hormigón.
- Para aumentar la productividad de la planta se recomienda regularizar el tiempo de los procesos en la elaboración de la mezcla de hormigón.
- Es recomendable replicar este mismo proceso para otros diseños de mezclas que tiene la empresa para establecer una mejora continua y así generar mayores utilidades para el cliente.

BIBLIOGRAFÍA

- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de mezclas de concreto*. E.E.U.U: Portland Cement Association.
- Alejandra, A. A., & Costa Alume, A. P. (2019). *Variabilidad del tiempo de fraguado del hormigón debido a la mezcla de aditivos retardantes y plastificantes*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51464/1/T-70550.pdf>
- Bardahl . (2020). *¿Qué es y cómo funciona un camión mezclador?* Obtenido de <https://www.bardahlindustria.com/que-es-y-como-funciona-un-camion-mezclador/>
- BECOSAN . (28 de Junio de 2021). *Hormigón fresco*. Obtenido de <https://www.becosan.com/es/hormigon-fresco/>
- Bolivar , O. G. (2006). *Dosificación de mezclas de hormigón métodos ACI 211.1, WEYMOUTH, FULLER, BOLOMEY, FAURY*. Medellín.
- Bustamante Collaguazo, C. A. (2021). *Análisis comparativo de mezclas de hormigón con ripio y mezclas de hormigón tradicional*. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/4780/1/T-ULVR-3854.pdf>
- Cámara de la industria de la construcción. (Junio de 2022). *Revista Construcción*. Obtenido de <https://www.camicon.ec/http-www-camicon-ec-wp-content-uploads-revista-ene-feb-web-pdf/>
- Cañas, J. S. (2007). *Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No 200 en agregado mineral por lavado*. San Salvador.
- Carvajal Taco, J. M. (Mayo de 2013). *MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 21$ MPa), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA SAN RAMÓN, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y CEMENTO CHIMBORAZO*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1719/1/T-UCE-0011-48.pdf>
- Carvajal Vega, M. C., & Cortés Pomar, G. (2019). *Evaluación del uso de aditivos sobre la mezcla convencional de concreto en morteros de cemento ART para el aumento de su resistencia*. Obtenido de <blob:https://web.whatsapp.com/1bb74b34-521c-4c7b-8635-0dd07f06b595>
- Centeno Giraldo, J. E. (2017). *Optimización en el diseño de mezcla de 3000 PSI en la planta metro cúbico concretos*. Obtenido de <https://repositorio.udes.edu.co/bitstream/001/2303/1/Optimizaci%C3%B3n%20en%20el%20dise%C3%B1o%20de%20mezcla%20de%203000%20PSI%20en%20la%20planta%20Metro%20C%C3%ABico%20Concretos.pdf>
- CHRYSO. (28 de Septiembre de 2021). *Aditivos España* . Obtenido de Agregados en el Hormigón: <https://www.chryso.es/news/879/agregados-en-el-hormig-n-chryso-aditivos>
- Concreto Supermix . (25 de Agosto de 2017). *Agregados para la construcción y minería* . Obtenido de <https://www.supermix.com.pe/agregado/>

- Datosmacro. (2021). *Expansión*. Obtenido de Consumo de electricidad: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo>
- Gómez, J., Niño, J., & Osorio, J. (2010). *Tecnología del concreto*. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO.
- Herrera, P., & Vargas, H. (2018). *Optimización de mezclas de concreto mediante la aplicación de método Walker y la introducción de un aditivo experimental*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11931/2018paulherrera.pdf?sequence=1>
- JIANXIN MACHINERY. (s.f). *Planta dosificadora de concreto*. Obtenido de <http://es.zzjxcorp.com/products/hzsjbz/273.html>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. . Obtenido de blob:<https://web.whatsapp.com/f5e5c52b-88b0-4f00-bb14-a4532858d6f8>
- León, C., & Rosero, G. (05 de Septiembre de 2016). *Opyimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7870/1/T-UCE-0011-243.pdf>
- León, M. R. (27 de Mayo de 2010). *Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes*. Obtenido de Scielo.
- Neville, A. (2013). *Tecnología del concreto*. Obtenido de blob:<https://web.whatsapp.com/69e7c511-d09b-4539-a054-883cbc49a3d3>
- Organización de las Naciones Unidas. (25 de septiembre de 2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Osorio, E. (2012). *Módulo de Elasticidad del Hormigón*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Osorio, J. (2020). *Hidratación del concreto: Agua para mezcla*. Obtenido de ARGOS : <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-del-agua-en-el-concreto>
- Petroche, D., & Ramirez, A. (2022). The enviromental profile of clinker, cement and concrete: A life cycle perspective study based on Ecuadorian Data. *Buildings*, 18. Obtenido de [http://www.buildings-12-00311-v3%20\(1\).pdf](http://www.buildings-12-00311-v3%20(1).pdf)
- Prensa Latina. (18 de Mayo de 2022). *Noticias*. Obtenido de Presentan en Ecuador mecanismos para el censo poblacional 2022: <https://www.prensa-latina.cu/2022/05/18/presentan-en-ecuador-mecanismos-para-el-censo-poblacional-2022#:~:text=Las%20previsiones%20del%20INEC%20indican,de%2018%20millones%20de%20habitantes>
- Rivadeneira, B. (Mayo de 2013). *Módulo estático de elasticidad del Hormigon en base a su resistencia a la compresión*. Obtenido de Universidad Central de Ecuador : <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1786/1/T-UCE-0011-47.pdf>
- Rivera, G. (s.f). *Civil Geeks*. Obtenido de Concreto Simple: [file:///C:/Users/W10/Escuela%20Superior%20Polit%C3%A9cnica%20del%20Litoral/TESIS%20DOC%20-%20General/Documentos%20gu%C3%ADas/tesis%20pasadas/Tecnologia_Concreto_y_Mortero_Rivera%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/W10/Escuela%20Superior%20Polit%C3%A9cnica%20del%20Litoral/TESIS%20DOC%20-%20General/Documentos%20gu%C3%ADas/tesis%20pasadas/Tecnologia_Concreto_y_Mortero_Rivera%20(1).pdf)

- Romea, C. (2014). *El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario*. Obtenido de <https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/download/77/311/491-1?inline=1>
- Roncero, A. (25 de Noviembre de 2009). *Emisiones de CO2: Qué contamina más, gasolina o diesel?* Obtenido de Auto10: <https://www.auto10.com/reportajes/emisiones-de-co2-que-contamina-mas-un-gasolina-o-un-diesel/588>
- Sánchez, N., & Ardila, J. (2013). *Optimización de la mezcla de concreto hidráulico por medio de la inclusión de escoria acera reemplazando el agregado fino*. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001198.pdf>
- Santiago Patricio, E. (2011). *ACADEMIA*. Obtenido de Tipos de Aditivos: <blob:https://web.whatsapp.com/4f1e9a43-5265-48d6-8a79-2c32627f2fcd>
- Tecnocrete. (Abril de 2022). *Ingeniería y Tecnología del Hormigón* . Obtenido de Agregados : <http://www.tecnocrete.com.ec>
- TOXEMENT. (2019). *EUCLID GROUP TOXEMENT*. Obtenido de Aditivos para Concreto: <blob:https://web.whatsapp.com/88356cb9-a662-49d0-b632-b344d99c7dd3>
- Yancha, A. (Mayo de 2013). *Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: <blob:https://web.whatsapp.com/00dc5c40-8b37-4b56-adfa-cadb2fd5304f>

ANEXOS A

TABLAS Y GRÁFICAS

Tabla 39: Desviación estándar del historial de ensayos [autores]

Numero de ensayos	Cilindro 1	Porcentaje	Cilindro 2	Porcentaje2	Promedio [MPa]
1	25,00 MPa	121%	24,01 MPa	117%	24,51 MPa
2	24,56 MPa	119%	23,59 MPa	115%	24,08 MPa
3	23,59 MPa	115%	23,93 MPa	116%	23,76 MPa
4	24,76 MPa	120%	24,58 MPa	119%	24,67 MPa
5	24,88 MPa	121%	25,27 MPa	123%	25,08 MPa
6	24,44 MPa	119%	26,01 MPa	126%	25,23 MPa
7	24,15 MPa	117%	24,61 MPa	120%	24,38 MPa
8	24,08 MPa	117%	25,02 MPa	121%	24,55 MPa
9	26,01 MPa	126%	25,64 MPa	125%	25,83 MPa
10	23,92 MPa	116%	24,96 MPa	121%	24,44 MPa
11	24,06 MPa	117%	23,00 MPa	112%	23,53 MPa
12	25,98 MPa	126%	24,20 MPa	118%	25,09 MPa
13	25,61 MPa	124%	24,67 MPa	120%	25,14 MPa
14	24,95 MPa	121%	25,37 MPa	123%	25,16 MPa
15	24,97 MPa	121%	24,06 MPa	117%	24,52 MPa
16	25,00 MPa	121%	24,87 MPa	121%	24,94 MPa
17	24,78 MPa	120%	24,66 MPa	120%	24,72 MPa
18	25,40 MPa	123%	26,10 MPa	127%	25,75 MPa
19	24,81 MPa	120%	23,92 MPa	116%	24,37 MPa
20	25,34 MPa	123%	26,05 MPa	126%	25,70 MPa
21	24,65 MPa	120%	24,00 MPa	117%	24,33 MPa
				Desviación estándar	0,61 MPa

Tabla 40: Evaluación del hormigón [autores]

Numero de ensayos	FECHA DE MOLDEO	Resistencia a los 28 días					Criterio de aceptación	
		Cilindro 1	Cilindro 2	Promedio [MPa]	Promedio [Kg/cm ²]	Promedio 3 valores consecutivos	Promedio de 3 val. > f'c	Ensayo > f'c-3,5 MPa
1	13/01/2021	25,00 MPa	24,01 MPa	24,51 MPa	249,88			Cumple
2	21/10/2021	24,56 MPa	23,59 MPa	24,08 MPa	245,50			Cumple
3	08/12/2021	23,59 MPa	23,93 MPa	23,76 MPa	242,29	245,89	Cumple	Cumple
4	16/12/2021	24,76 MPa	24,58 MPa	24,67 MPa	251,56	246,45	Cumple	Cumple
5	24/12/2021	24,88 MPa	25,27 MPa	25,08 MPa	255,69	249,85	Cumple	Cumple
6	27/12/2021	24,44 MPa	26,01 MPa	25,23 MPa	257,22	254,83	Cumple	Cumple
7	04/01/2022	24,15 MPa	24,61 MPa	24,38 MPa	248,61	253,84	Cumple	Cumple
8	05/01/2022	24,08 MPa	25,02 MPa	24,55 MPa	250,34	252,06	Cumple	Cumple
9	20/01/2022	26,01 MPa	25,64 MPa	25,83 MPa	263,34	254,10	Cumple	Cumple
10	22/01/2022	23,92 MPa	24,96 MPa	24,44 MPa	249,22	254,30	Cumple	Cumple
11	26/01/2022	24,06 MPa	23,00 MPa	23,53 MPa	239,94	250,83	Cumple	Cumple

12	26/01/2022	25,98 MPa	24,20 MPa	25,09 MPa	255,85	248,34	Cumple	Cumple
13	31/01/2022	25,61 MPa	24,67 MPa	25,14 MPa	256,36	250,72	Cumple	Cumple
14	01/02/2022	24,95 MPa	25,37 MPa	25,16 MPa	256,56	256,26	Cumple	Cumple
15	07/02/2022	24,97 MPa	24,06 MPa	24,52 MPa	249,98	254,30	Cumple	Cumple
16	09/02/2022	25,00 MPa	24,87 MPa	24,94 MPa	254,27	253,60	Cumple	Cumple
17	18/02/2022	24,78 MPa	24,66 MPa	24,72 MPa	252,09	252,11	Cumple	Cumple
18	05/03/2022	25,40 MPa	26,10 MPa	25,75 MPa	262,58	256,31	Cumple	Cumple
19	27/03/2022	24,81 MPa	23,92 MPa	24,37 MPa	248,45	254,37	Cumple	Cumple
20	04/04/2022	25,34 MPa	26,05 MPa	25,70 MPa	262,02	257,68	Cumple	Cumple
21	05/04/2022	24,65 MPa	24,00 MPa	24,33 MPa	248,05	252,84	Cumple	Cumple

Tabla 41: Resistencias a la compresión de cilindros de hormigón [autores]

ENSAYO A LA COMPRESIÓN CILINDROS DE HORMIGÓN				
DISEÑO	DÍAS DE ROTURAS	RESISTENCIA ESPECIFICADA	RESISTENCIA OBTENIDA	PORCENTAJE ALCANZADO
PATRÓN	3	210 Kg/cm ²	126 Kg/cm ²	60 %
	7		175 Kg/cm ²	83 %
	14		221 Kg/cm ²	105 %
	28		237 Kg/cm ²	113 %
OPTIMIZADO	3	210 Kg/cm ²	119 Kg/cm ²	57 %
	7		156 Kg/cm ²	74 %
	14		192 Kg/cm ²	91 %
	28		218 Kg/cm ²	104 %
INDUSTRIAL	3	210 Kg/cm ²	96 Kg/cm ²	45 %
	7		155 Kg/cm ²	74 %
	14		190 Kg/cm ²	91%
	28		223 Kg/cm ²	106%

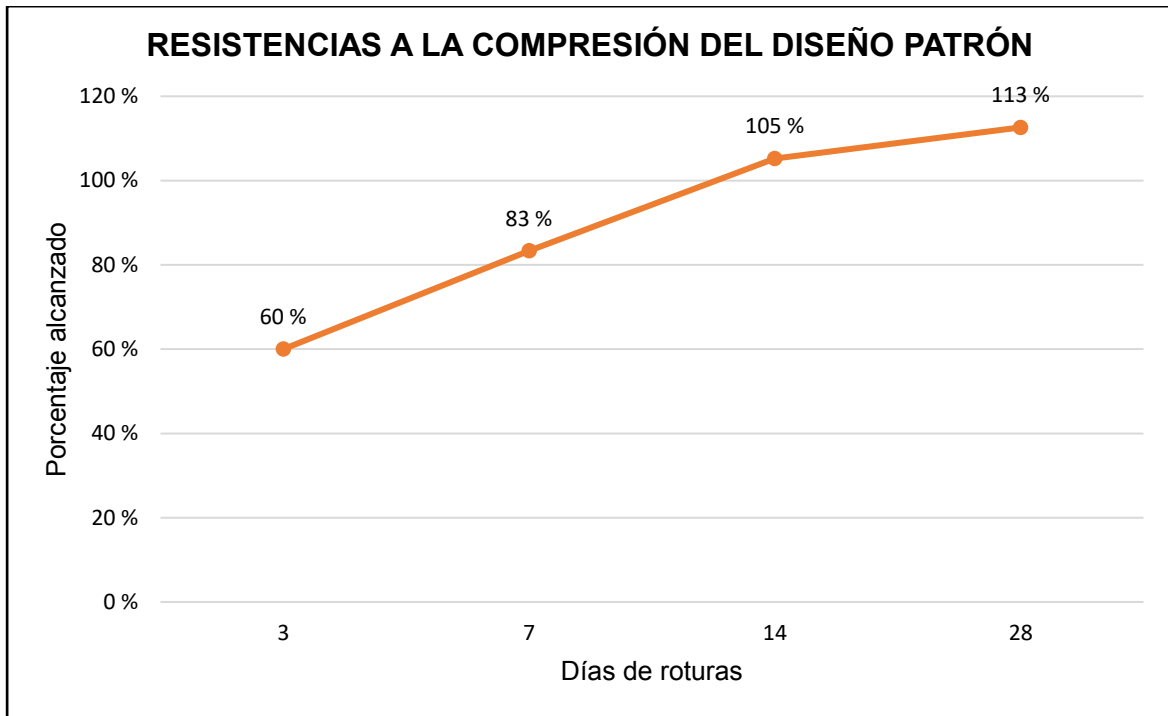


Figura 27: Resistencia del diseño patrón [autores]

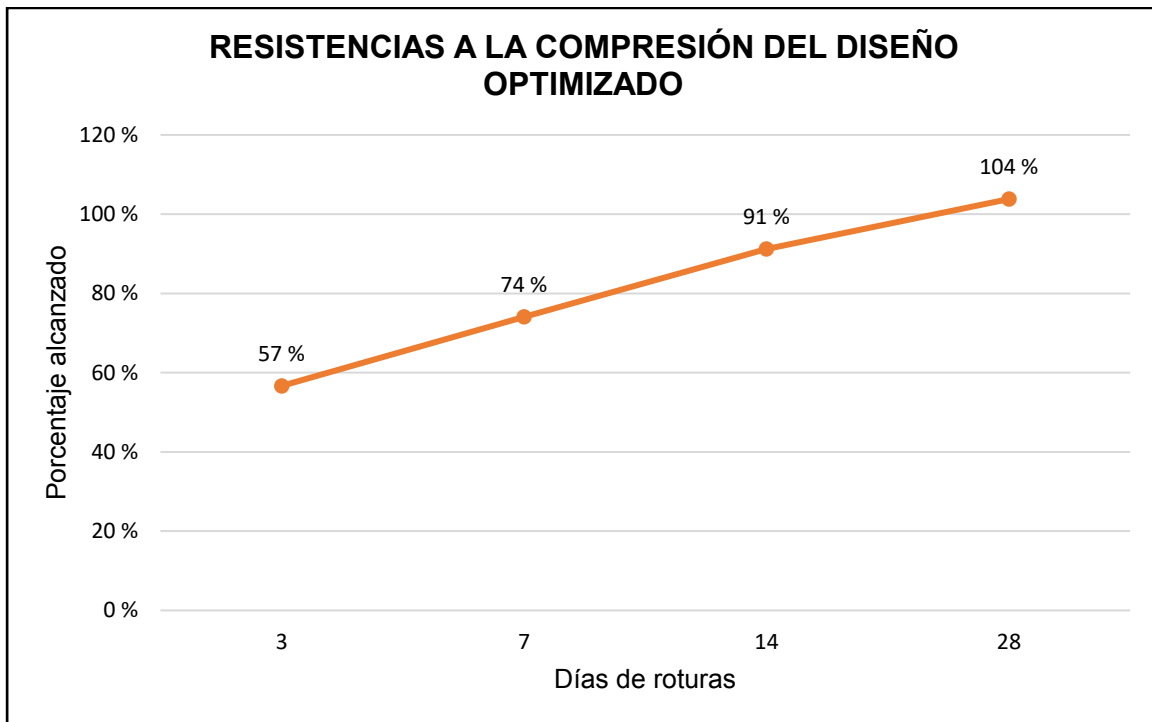


Figura 28: Resistencia del diseño optimizado [autores]

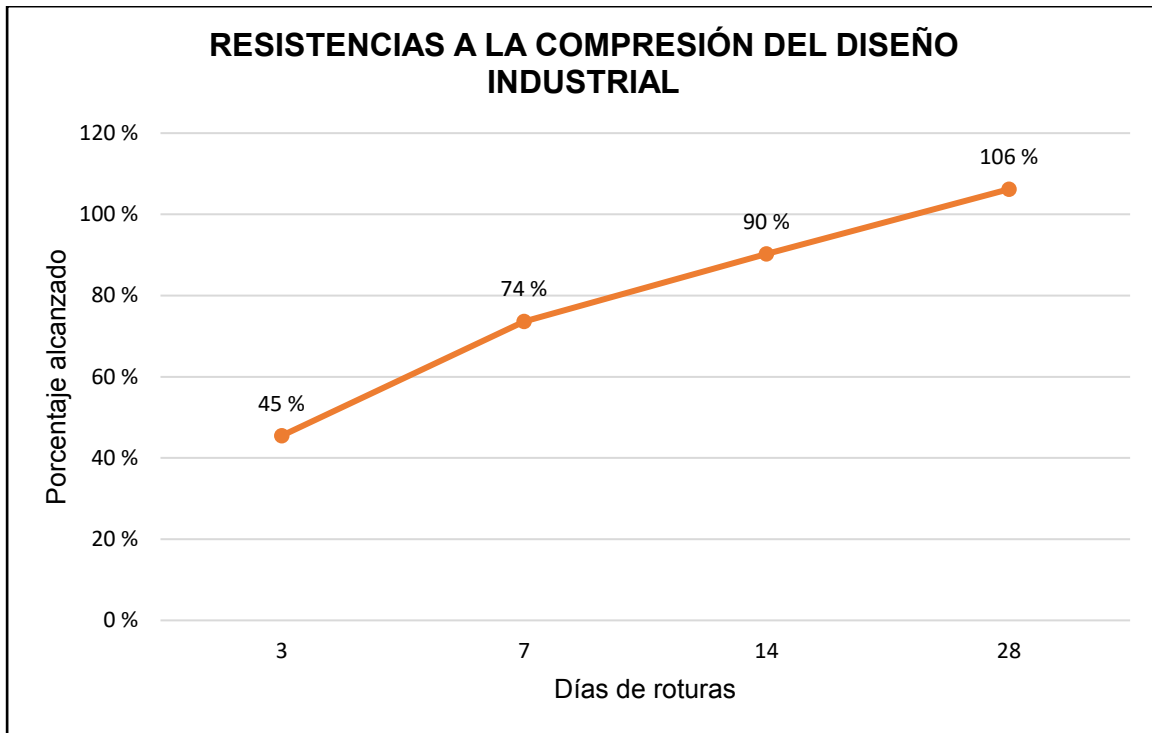


Figura 29: Resistencia del diseño industrial [autores]

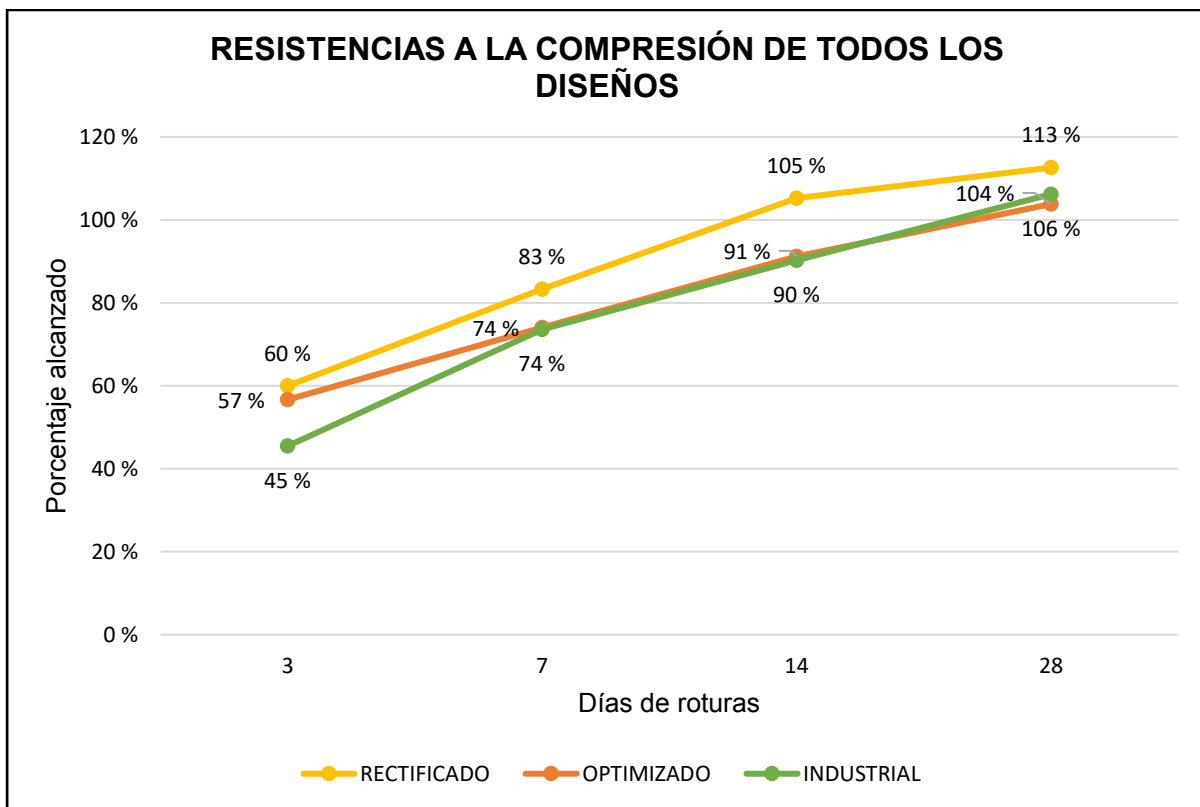


Figura 30: Resistencia en general de los diseños [autores]

ANEXOS B

ENSAYOS DE LABORATORIO

**ENSAYO DE ABRASION
(AGREGADO GRUESO)**

NORMA: NTE INEN 860

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Tabla 42: Ensayo de Abrasión [autores]

Planta:	Constructora Hernández		
Agregado:	$\frac{3}{4}$	Fecha de Muestreo:	20/4/2022
Fuente:	Río Esmeraldas	Fecha de Ensayo:	20/4/2022
Masa inicial (g):	5000,0	Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan

Muestra: Piedra			
Tipo de Gradación	Peso Inicial (g)	Retenido Tamiz No.12	Pérdida %
B	5000	4045	19,1

ENSAYO DE MATERIAL ORGANICO (AGREGADO FINO)

NORMA: NTE INEN 855

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Fecha de inicio del ensayo: 09 de noviembre de 2021

Fecha de finalización del ensayo: 10 de noviembre de 2021

Agregado: Arena de Río



Figura 31: Ensayo de material orgánico [Fuente: Holcim]

Interpretación del color:

Arena Lavada: Color No. 1 equivalente a Color Normalizado Gardner No. 5

Se puede decir que la arena, no contiene impurezas orgánicas.

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
(AGREGADO FINO)**

NORMA: NTE INEN 856

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Tabla 43: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado fino [autores]

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO			
1	Masa del picnómetro vacío	150,00	g
2	Masa del picnómetro + arena en SSS	650,00	g
3	Masa del picnómetro + arena en SSS + agua	957,00	g
4	Masa del picnómetro + 500ml	650,00	g
5	Volumen desalojado	193,00	cm ³
Peso Específico del Agregado		2,59	g/cm³
		2590	kg/cm³

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
1	Masa del agregado en Estado SSS	500,00	g
2	Masa del agregado seco al horno	487,00	g
Capacidad de Absorción		2,7	%

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
(AGREGADO GRUESO)**

NORMA: NTE INEN 857

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Tabla 44: Ensayo de Peso específico y Absorción para agregado grueso [autores]

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO 3/4			
1	Masa del agregado en Estado SSS	3040,00	g
2	Masa del agregado sumergido en agua	1908,00	g
3	Volumen desalojado	1132,00	cm ³
Peso Específico del Agregado		2,69	g/cm³
		2680	kg/m³

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
1	Masa del agregado en Estado SSS	3040,00	g
2	Masa del agregado seco al horno	2981,2	g
Capacidad de Absorción		1,97	%
		2,0	%

**ENSAYO DE HUMEDAD DEL DISEÑO MODELO
(AGREGADO GRUESO Y FINO)**

NORMA: NTE INEN 862

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Tabla 45: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/4 [autores]

Planta:	Constructora Hernández	Fecha de Muestreo:	20/4/2022
Agregado:	Piedra 3/4"	Fecha de Ensayo:	20/4/2022
Fuente:	Río Esmeraldas	Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan
Masa inicial (g):		3000,0	
Masa seca (g):		2962,0	
Porcentaje de humedad (%)		1,3	

Tabla 46: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/8 [autores]

Planta:	Constructora Hernández	Fecha de Muestreo:	20/4/2022
Agregado:	Piedra 3/8"	Fecha de Ensayo:	20/4/2022
Fuente:	Río Esmeraldas	Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan
Masa inicial (g):		2500,0	
Masa seca (g):		2476,0	
Porcentaje de humedad (%)		1,0	

Tabla 47: Ensayo de Humedad para agregado fino [autores]

Planta:	Constructora Hernández	Fecha de Muestreo:	20/4/2022
Agregado:	Arena seca	Fecha de Ensayo:	20/4/2022
Fuente:	Río Esmeraldas	Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan
Masa inicial (g):		1000,0	
Masa seca (g):		945,0	
Porcentaje de humedad (%)		5,8	

**ENSAYO DE HUMEDAD DEL DISEÑO OPTIMIZADO
(AGREGADO GRUESO Y FINO)**

NORMA: NTE INEN 862

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Tabla 48: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/4 [autores]

Planta:	Constructora Hernández	Fecha de Muestreo:	14/5/2022
Agregado:	Piedra 3/4"	Fecha de Ensayo:	14/5/2022
Fuente:	Río Esmeraldas	Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan
Masa inicial (g):		3000,0	
Masa seca (g):		2960,0	
Porcentaje de humedad (%)		1,3	

Tabla 49: Ensayo de Humedad para agregado grueso 3/8 [autores]

Planta:	Constructora Hernández	Fecha de Muestreo:	14/5/2022
Agregado:	Piedra 3/8"	Fecha de Ensayo:	14/5/2022
Fuente:	Río Esmeraldas	Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan
Masa inicial (g):		2500,0	
Masa seca (g):		2474,0	
Porcentaje de humedad (%)		1,1	

Tabla 50: Ensayo de Humedad para agregado fino [autores]

Planta:	Constructora Hernández	Fecha de Muestreo:	14/5/2022
Agregado:	Arena seca	Fecha de Ensayo:	14/5/2022
Fuente:	Río Esmeraldas	Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan
Masa inicial (g):		1000,0	
Masa seca (g):		955,0	
Porcentaje de humedad (%)		4,7	

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA
(AGREGADO GRUESO)**

NORMA: NTE INEN 696

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Tabla 51: Granulometría de agregado grueso $\frac{3}{4}$ [autores]

Granulometría de Agregado Grueso $\frac{3}{4}$					
Planta:	Constructora Hernandez				
Agregado:	3/4	Fecha de Muestreo:		19/4/2022	
Fuente:	Río Esmeraldas	Fecha de Ensayo:		19/4/2022	
Masa inicial (g):	5000,0	Realizado Por:		Martínez Carlos y Ortiz Alan	
Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	0,0	0	0	100
25 mm	1 in.	19,0	0,4	0	100
19 mm	¾ in.	1210,0	24,2	24,6	75,4
12.5 mm	½ in.	2126,0	42,6	67,2	32,8
9.5 mm	3/8 in.	1477,0	29,6	96,8	3,2
4,75 mm	No. 4	110,0	2,2	99,0	1,0
2,36 mm	No. 8	---	---	---	---
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
Bandeja		48,0	1,0	100,0	0,0
Masa final (g):	4990,0		Módulo de Finura	2,9	
Pérdida ≤0.5%:	Ensayo válido				

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA
(AGREGADO FINO)**

NORMA: NTE INEN 696

CIUDAD: Esmeraldas - Provincia de Esmeraldas

Tabla 52: Granulometría de agregado fino [autores]

Granulometría de Agregado Fino					
Planta:	Constructora Hernandez				
Agregado:	Arena		Fecha de Muestreo:	19/4/2022	
Fuente:	Río Esmeraldas		Fecha de Ensayo:	19/4/2022	
Masa inicial (g):	500,0		Realizado Por:	Martínez Carlos y Ortiz Alan	
Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	---	---	---	---
19 mm	¾ in.	---	---	---	---
12.5 mm	½ in.	---	---	---	---
9.5 mm	3/8 in.	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75 mm	No. 4	0,50	0,10	0,10	99,90
2,36 mm	No. 8	60,00	12,04	12,14	87,86
1,18 mm	No. 16	74,00	14,84	26,98	73,02
600 µm	No. 30	137,00	27,48	54,46	45,54
300 µm	No. 50	152,00	30,49	84,95	15,05
150 µm	No. 100	56,00	11,23	96,19	3,81
Bandeja		19,00	3,81	100,00	0,00
Masa final (g):	498,5		Módulo de Finura	2,75	
Pérdida ≤0.5%:	Ensayo válido				

ANEXOS C

PRUEBA FOTOGRAFICA

Ensayos de los materiales





















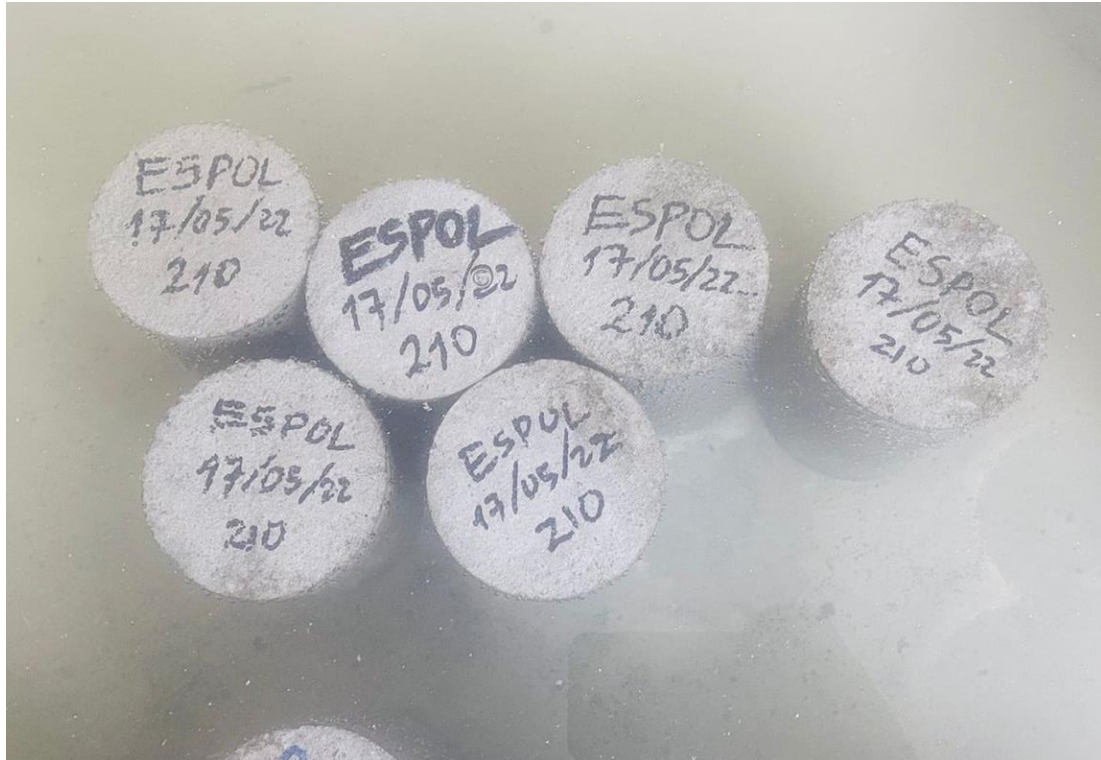


Diseño optimizado





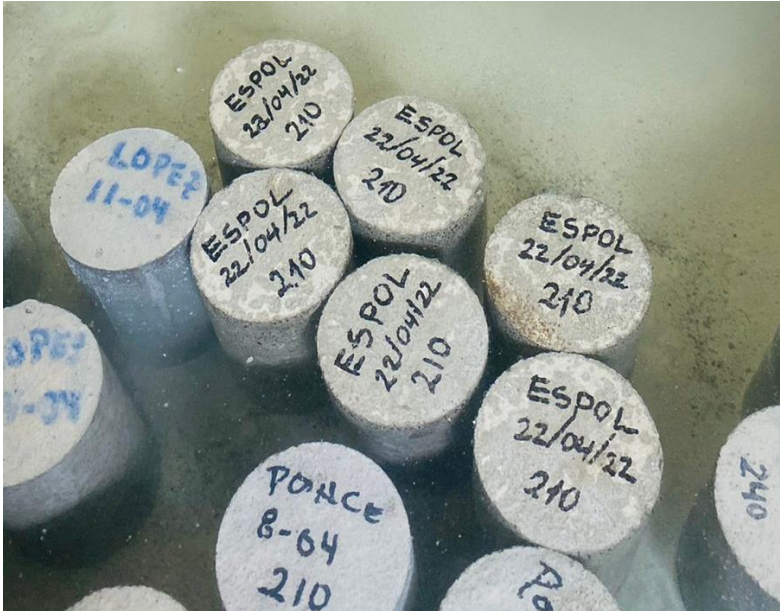






Diseño patrón













Prueba Industrial







