



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE
GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

TEMA

**“Características mecánicas del hormigón tradicional y no tradicional
agregando cáscara de cereales”**

TUTOR

Mgtr. JAIME ALFONSO AMON VALLE

AUTOR

DENNIS GABRIEL CUADRADO AYALA

GUAYAQUIL

2022



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Características mecánicas del hormigón tradicional y no tradicional agregando cáscara de cereales.	
AUTOR/ES: Cuadrado Ayala Dennis Gabriel.	REVISORES O TUTORES: Mgtr. Jaime Alfonso Amon Valle
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil.
FACULTAD: Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.	CARRERA: Ingeniería civil.
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2022	N. DE PAGS: 123
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Hormigón, cáscaras de cereales, cáscara de trigo, cáscara de cebada, cemento, hormigón ciclópeo, compresión, características mecánicas, hormigón modificado, diseño experimental.	

RESUMEN:

La industria de la construcción es un eje estratégico para el desarrollo de un país, por lo cual la aplicación de innovaciones, el uso de nuevos y mejores materiales y el aprovechamiento de recursos es imprescindible.

El hormigón tradicional en muchas ocasiones se vuelve obsoleto, ya que se evidencia la necesidad de añadir aditivos que lo modifiquen, mejoren sus características mecánicas como aligeramiento del peso e incremento de la resistencia a la compresión, además de volverlo más rentable. El hormigón modificado con cáscaras de cereales de fácil acceso como el trigo y la cebada, lo vuelven más sustentable y generan una disminución en los gastos de transporte y montaje, provocando una reducción en los costos y tiempo de ejecución de obra.

Este proyecto de investigación buscó determinar la influencia del reemplazo de distintos materiales pétreos como la arena y piedra 3/4 por una mezcla en iguales proporciones de cáscara de trigo y cebada, en el peso (densidad) y en la resistencia a compresión del hormigón, para lo cual se realizaron ensayos a los 7, 14 y 28 días a temperatura ambiente, con un enfoque especial a los resultados obtenidos a los 28 días, ya que a este tiempo el hormigón alcanza cerca del 100% de su resistencia. De donde se obtuvo que la mejor composición fue al agregar 5% de cáscara de trigo y cebada, lo que vuelve al hormigón más liviano y con iguales condiciones de resistencia a la compresión que el tradicional.

N. DE REGISTRO (en base de datos):**N. DE CLASIFICACIÓN:****DIRECCIÓN URL (tesis en la web):****ADJUNTO PDF:****SI****NO****CONTACTO CON****AUTOR/ES:**

Cuadrado Ayala Dennis Gabriel.

Teléfono:

0992557024

E-mail:

denniscuadrado@hotmail.com

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MSc. Milton Gabriel Andrade Laborde (Decano) Teléfono: 0991976873 E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec MSc. Alexis Wladimir Valle Benítez (Director de Carrera) Teléfono: 0986487016 E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec
------------------------------------	--

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO DE CUADRADO

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

3%

★ repositorio.ulvr.edu.ec

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Apagado



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado DENNIS GABRIEL CUADRADO AYALA, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, “Características mecánicas del hormigón tradicional y no tradicional agregando cáscara de cereales”, corresponde totalmente a el suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor

Firma:



DENNIS GABRIEL CUADRADO AYALA

C.I. 0604324855

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación “Características mecánicas del hormigón tradicional y no tradicional agregando cáscara de cereales”, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “Características mecánicas del hormigón tradicional y no tradicional agregando cáscara de cereales”, presentado por el estudiante DENNIS GABRIEL CUADRADO AYALA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

A handwritten signature in blue ink that reads "Jaime Amon V." with a stylized flourish at the end.

Mgtr. Jaime Alfonso Amon Valle

C.C. 0923001085

AGRADECIMIENTO

Para la realización del presente Trabajo de titulación quiero agradecer primero a Dios, debido a que este proyecto ha sido una gran bendición en muchos sentidos y me ha permitido alcanzar este sueño tan anhelado cumpliendo todas mis expectativas.

Agradezco a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por haberme permitido formarme en ella y crecer como persona y como profesional con conciencia social.

Los resultados de este proyecto, se los dedico a todas las personas que de alguna manera han contribuido en su culminación. A mi tutor Mgtr. Jaime Amon, gracias por su tiempo y dedicación, ya que con sus conocimientos, motivación y experiencia me ha impulsado a mejorar mis capacidades y conocimientos en el desarrollo de este proyecto. También me gustaría dar gracias a mis docentes, ya que todos han aportado positivamente a mi formación.

De igual manera expreso mi agradecimiento por la colaboración y motivación al personal del laboratorio “LIIC Laboratorio”, en donde me brindaron la apertura necesaria para la realización del tema de mi proyecto.

Gracias a mi familia, ya que cada día me impulsan a mejorar académica y personalmente.

Son muchas las personas que han contribuido en este proyecto, a las que me encantaría dar las gracias su apoyo y por compartirme sus conocimientos en este maravilloso proceso académico.

Dennis Gabriel Cuadrado Ayala

DEDICATORIA

A mis padres Carlos Cuadrado y Rosario Ayala,
con mucho cariño les dedico mi esfuerzo al realizar este proyecto de investigación,
ya que con su apoyo, sacrificio, amor y dedicación me han permitido culminar uno de
mis sueños más anhelados.

A mi hermosa novia Gabriela Joseth Serrano Torres por su apoyo incondicional.

Dennis Gabriel Cuadrado Ayala

ÍNDICE GENERAL

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Tema:	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivo general.....	4
1.5. Objetivos específicos	4
1.6. Hipótesis	4
Para resistencia a la compresión:	5
Para el peso:	5
1.7. Línea de Investigación Institucional/Facultad.	6
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Marco teórico	7
2.1.2. Hormigón.....	8
2.1.2.1. Componentes del hormigón.....	9
2.1.2.1.1. Cemento.....	9
2.1.2.1.2. Agua.	10
2.1.2.1.3. Agregados.....	11
2.1.2.2. Propiedades mecánicas del hormigón.	12
2.1.2.2.1. Resistencia a la compresión	12
2.1.2.2.2. Manejabilidad.....	13
2.1.2.2.3. Peso	15
2.1.2.2.4. Densidad.....	15
2.1.3. Aditivos del hormigón.....	15

2.1.4.	Método para elaboración del hormigón.....	16
2.1.4.1.	Elección del asentamiento.	17
2.1.4.2.	Estimación de la cantidad de agua.....	17
2.1.4.3.	Estimación de la relación agua cemento (a/c).	18
2.1.4.4.	Cálculo del contenido de cemento.....	19
2.1.4.5.	Verificación granulométrica.....	19
2.1.4.6.	Metodología.....	20
2.1.5.	Trigo	21
2.1.6.	Cebada	22
2.1.7.	Uso de cascarillas de cereales en el hormigón	22
2.2.	Marco legal	24
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		29
3.1.	Enfoque de la investigación.....	29
3.2.	Alcance de la investigación	29
3.3.	Técnicas e instrumentos para obtener los datos.....	30
3.3.1.	Materiales	30
3.3.2.	Herramientas	31
3.3.3.	Ensayos.....	31
3.3.4.	Dosificaciones	31
3.3.5.	Ensayo para determinar la densidad del hormigón.....	32
3.3.6.	Análisis estadístico de los datos	32
3.4.	Población y muestra.....	33
3.5.	Presentación y análisis de resultados	34
3.5.1.	Análisis de colorimetría del agua	34
3.5.2.	Contenido de humedad.....	34

3.5.3. Análisis granulométrico del agregado grueso NTE INEN 696 (ASTM C - 136)	36
3.5.4. Análisis granulométrico del agregado fino NTE INEN 696 (ASTM-136)	39
3.5.5. Análisis de masa unitaria.....	42
3.5.5.1. Masa unitaria suelta del agregado fino de acuerdo a la norma NTE INEN 858.	42
3.5.5.2. Masa unitaria suelta del agregado grueso respecto a la norma NTE INEN 858.	43
3.5.5.3. Masa unitaria suelta del cemento basada en la norma NTE INEN 858.	44
3.5.6. Análisis de densidad saturada.....	45
3.5.6.1. Densidad saturada superficialmente seca de agregado fino NTE INEN 856	45
3.5.6.2. Densidad saturada superficialmente seca de agregado grueso 857.	45
3.5.6.3. Densidad óptima de una muestra de agregado INEN NTE 858 C29	47
3.5.7. Tabla de resultados de ensayos realizados en laboratorio para la correcta dosificación de hormigón	48
3.5.8. Cálculos para la mezcla requerida: Método de densidad óptima	49
3.5.9. Resistencia en MPa con 3 dosificaciones.....	61
3.5.10. Peso en kg con 3 dosificaciones	65
3.5.11. Resistencia del hormigón con 5% de cáscara de trigo y cebada vs el tradicional	67
3.5.12. Peso del hormigón con 5% de cáscara de trigo y cebada vs el tradicional	71

3.5.13. Pruebas de hipótesis entre el hormigón añadido cáscara de cereales y el tradicional	73
3.5.13.1. Pruebas de normalidad para la variable de respuesta resistencia a la compresión.	73
3.5.13.2. Prueba de hipótesis para resistencia a la compresión entre el hormigón modificado y el tradicional.	77
3.5.13.3. Prueba de normalidad para la variable de respuesta peso.	79
3.5.13.4. Prueba de hipótesis del peso en kg del 5% vs tradicional.	82
3.5.14. Análisis de correlación	84
3.5.14.1. Análisis de correlación entre la resistencia del hormigón añadido el 5% de cáscara de cereales y el hormigón tradicional.	84
3.5.14.2. Análisis de correlación entre el peso del hormigón añadido el 5% de cáscara de cereales y el hormigón tradicional.	88
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	100
Anexo 1: Resultados de los ensayos con cilindros de hormigón tradicional	100
Anexo 2: Resultados de los ensayos con cilindros + cereales al 5%	101
Anexo fotográfico	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Línea de Investigación Institucional/Facultad Dominio.....	6
Tabla 2: Clasificación de los agregados pétreos según su tamaño.....	12
Tabla 3: Valores de asentamiento recomendados según el tipo de construcción	17
Tabla 4: Requerimientos aproximados de agua de mezclado	18
Tabla 5: Relación entre valores de resistencia a la compresión y valores de relación A/C	19
Tabla 6: Recomendaciones granulométricas para agregado grueso, según la norma ASTM C33	20
Tabla 7: Composición química del agua potable de Riobamba.....	30
Tabla 8: Tabla de resultados de colorimetría	34
Tabla 9: Contenido de humedad del agregado fino	34
Tabla 10: Contenido de humedad del agregado grueso	35
Tabla 11: Análisis granulométrico del agregado grueso.....	36
Tabla 12: Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso	38
Tabla 13: Análisis granulométrico del agregado fino	39
Tabla 14: Resultados del análisis granulométrico del agregado fino.....	40
Tabla 15: Masa unitaria suelta del agregado fino	42
Tabla 16: Masa unitaria suelta del agregado grueso	43
Tabla 17: Masa unitaria suelta del cemento	44
Tabla 18: Densidad saturada superficialmente seca de agregado fino.....	45
Tabla 19: Densidad saturada superficialmente seca de agregado grueso	45
Tabla 20: Densidad óptima de una muestra de agregado.....	47
Tabla 21: Resultados de ensayos realizados en laboratorio para la correcta dosificación de hormigón.....	48
Tabla 22: Relación agua cemento vs. resistencia del hormigón	51
Tabla 23: Resultados de la dosificación teórica del hormigón	54
Tabla 24: Valores finales para la dosificación del hormigón.....	55
Tabla 25: Verificación del asentamiento.....	55
Tabla 26: Dosificación al peso.....	56

Tabla 27: Pesos por cada metro cúbico de hormigón (kg).....	56
Tabla 28: Pesos por cada saco de 50 kg (kg)	56
Tabla 29: Dosificación en volúmenes aparentes de parihuela (33x33x33 cm)....	56
Tabla 30: Dosificación de mezcla tradicional para 8 cilindros	59
Tabla 31: Dosificación de mezcla al 5% de cereales	60
Tabla 32: Datos de resistencia en MPa de 8 cilindros por cada concentración de cáscara de cereales	61
Tabla 33: Datos del peso obtenido en 2 cilindros por cada concentración de cáscara de cereales	65
Tabla 34: Datos de resistencia en MPa de cilindros con el 5% de cáscara de cereales y tradicionales	67
Tabla 35: Datos de pesos en kg de cilindros añadidos cáscara de cereales y tradicionales	71
Tabla 36: Prueba de normalidad para los valores de resistencia a la compresión de cilindros modificados con el 5% de cáscara de cereales y tradicionales	74
Tabla 37: Estadísticos descriptivos para la resistencia a la compresión	77
Tabla 38: Prueba de igualdad de varianzas y t para las muestras de resistencia a la compresión	77
Tabla 39: Prueba de normalidad para el peso de cilindros modificados con el 5% de cáscara de cereales y tradicionales	79
Tabla 40: Estadísticos descriptivos para los datos de peso	82
Tabla 41: Prueba de igualdad de varianzas y t para las muestras de peso	82
Tabla 42: Análisis de correlación de la resistencia del hormigón modificado y tradicional.....	84
Tabla 43: Análisis de modelos de regresión para la resistencia del hormigón tradicional y modificado	86
Tabla 44: Análisis de correlación del peso del hormigón modificado y tradicional	88
Tabla 45: Análisis de modelos de regresión para el peso del hormigón tradicional y modificado.....	90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Trigo.....	21
Ilustración 2: Pila de cáscara de cereales como el trigo y la cebada.....	23
Ilustración 3: Muestra del agregado grueso	38
Ilustración 4: Tamices de acuerdo con la norma ASTM C-696	102
Ilustración 5: Probetas de hormigón NTE INEN 1576	102
Ilustración 6: Asentamiento cono de Abrams NTE INEN 1578.....	102
Ilustración 7: Determinación de la resistencia a compresión NTE INEN 1573 ASTM C – 39	103
Ilustración 8: Resultados de ensayos a compresión norma AST C39.....	103
Ilustración 9: Dosificación con el 5% de cáscara de cereales	104
Ilustración 10: Dosificación con el 10% de cáscara de cereales	104
Ilustración 11: Dosificación con el 15% de cáscara de cereales.....	104
Ilustración 12: Hormigón mezclado con cáscara de trigo y cebada.....	105
Ilustración 13: Pesaje de cilindros modificados y tradicionales	105

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo para el contenido de cemento	19
Ecuación 2: Cantidad de agregado grueso	49
Ecuación 3: Cantidad de agregado fino	50
Ecuación 4: Densidad de la mezcla.....	50
Ecuación 5: Porcentaje de vacíos	50
Ecuación 6: Volumen aparente de mezcla	51
Ecuación 7: Volumen de vacíos	51
Ecuación 8: Densidad de la pasta.....	52
Ecuación 9: Peso de la pasta	53
Ecuación 10: Cantidad de agua	53
Ecuación 11: Cantidad de cemento	53
Ecuación 12: Corrección de la dosificación teórica por humedad para el agregado fino	54
Ecuación 13: Corrección de la dosificación teórica por humedad para el agregado grueso	54
Ecuación 14: Cantidad de agregado grueso	57
Ecuación 15: Cantidad de agregado fino	57
Ecuación 16: Volumen aparente de mezcla	58
Ecuación 17: Volumen de vacíos	58
Ecuación 18: Cantidad de agua	58
Ecuación 19: Volumen aparente de mezcla	59
Ecuación 20: Volumen de vacíos	59
Ecuación 21: Cantidad de agua	60
Ecuación 22: Modelo de regresión cuadrático para Resistencia del hormigón ...	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados de los ensayos con cilindros de hormigón tradicional	100
Anexo 2: Resultados de los ensayos con cilindros + cereales al 5%	101

INTRODUCCIÓN

El éxito en la construcción de una estructura de hormigón se evidencia en su capacidad de soportar durante la vida útil para la que ha sido proyectada y mantener las condiciones mecánicas sin producir rasgos de degradación (Toirac Corral, 2009).

Un producto de hormigón se considera duradero si al ser usado y pasar el tiempo, puede mantener la forma, la calidad y las propiedades mecánicas de ejercicio, para las cuales había sido creado. Sin embargo, esto no siempre es posible, y surge la necesidad de dejar de usar el hormigón tradicional, el cual es un material de construcción compuesto por tres componentes básicos: cemento, árido y agua (Nistal Cordero et al., 2012), para reemplazarlo por un hormigón modificado, el cual contiene los 3 componentes anteriormente mencionados más un cuarto, que en este proyecto de investigación será un aditivo a base de cáscaras de cereales.

Actualmente, los cereales tienen presencia en los cinco continentes y su nivel de producción se ha incrementado notablemente debido a la demanda de la población (Ramos Gamiño, 2013), pero no todo el producto es aprovechado, ya que las industrias piladoras retiran las cáscaras de los cereales y las desechan, generando un desperdicio de recursos.

Este proyecto busca lograr un hormigón con mejores características mecánicas mediante la adición y aprovechamiento de las cáscaras de trigo y cebada, cereales producidos en la Sierra ecuatoriana, específicamente en parroquias aledañas a la ciudad de Riobamba.

En el capítulo I, se detalla el planteamiento y formulación del problema, el objetivo que es comparar el hormigón tradicional con uno modificado con cáscaras de cereales, hipótesis y línea de investigación. En el capítulo II está el marco teórico, el cual es el sustento del proyecto, en donde se han colocado definiciones y teoría de relevancia que avalen los procedimientos realizados. Después, en el capítulo III está la metodología de la investigación, en donde se explica el uso del enfoque cuantitativo, el alcance, la población, muestra y el diseño de experimentos factorial llevado a cabo. Finalmente, están los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.Tema:

"Características mecánicas del hormigón tradicional y no tradicional agregando cáscara de cereales".

1.2.Planteamiento del problema

Ecuador ha presentado por muchos años un problema de hábitat, relacionado estrechamente con la pobreza, en donde se observan asentamientos humanos inadecuados, venta ilegal de terrenos y una alta demanda de habitabilidad básica como derecho humano (Ricaurte Romero & Hechavarría Hernández, 2017). A pesar que existen 4,7 millones de viviendas construidas, hay más de 2,7 millones de hogares que sufren de déficit habitacional, según un diagnóstico del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (Miduvi), es por ello que el Gobierno Nacional espera invertir \$3.400 millones para construir 200.000 viviendas en el sector rural entre 2021 y 2025, para entregarlas de manera gratuita (Torres, 2021).

La vivienda para la población, constituye uno de los ejes fundamentales en la planificación urbana y es el derecho de todos tener una vivienda digna y adecuadamente diseñada en función de las características de su entorno (Pérez - Pérez, 2016). Sin embargo, han surgido varios problemas como los altos costos en las materias primas para la construcción (Santos Alay & Zúñiga Forgett, 2019) y nace la necesidad de crear propuestas innovadoras que mejoren la calidad de la estructura habitacional y por ende de la población.

El hormigón es un material de uso estructural en obras civiles, el cual necesita ser fraguado y endurecido; su costo de producción es elevado debido a las múltiples actividades realizadas en su proceso de producción; y su vida útil es de aproximadamente 50 años, a pesar de presentar inconvenientes como desprendimientos de los agregados,

debido a las acciones físicas, químicas y medio ambientales, sin olvidar que su aislamiento térmico e impermeabilidad no son muy buenas (Santos Alay & Zúñiga Forgett, 2019).

Todo ensayo realizado a un material de construcción supone un Control de Calidad sobre el mismo, lo que se hace imprescindible a la hora de asegurar una construcción fiable y resistente (Nistal Cordero et al., 2012). Es así, que se buscan nuevas opciones en el proceso de elaboración del hormigón, las cuales mejoren sus propiedades mecánicas.

En el afán de lograr este mejoramiento, actualmente, se considera añadir “Aditivos” al hormigón, que son aquellas sustancias o productos que, incorporados a este material antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento (Nistal Cordero et al., 2012).

La resistencia y durabilidad del hormigón depende de cómo trabaje el conjunto de materiales que lo componen, por lo que se propone usar cáscaras de cereales para analizar comparativamente el comportamiento mecánico de un cilindro de hormigón tradicional y uno modificado con estas sustancias.

El añadir materiales lignocelulósicos en la elaboración de productos de la construcción, es una tendencia que gana más fuerza conforme pasa el tiempo, ya que se obtienen productos similares o mejores a los tradicionales, y que además son amigables con el ambiente. La cascarilla de arroz es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo (Vargas et al., 2013), la cual puede ser aprovechada como parte del diseño del hormigón e influir en el mejoramiento de sus características mecánicas.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo se comportan las características mecánicas de las mezclas de hormigón con cáscaras de cereales con respecto a las características de las mezclas de hormigón ciclópeo 210 Kg/cm²?

1.4.Objetivo general

Comparar las características mecánicas de las mezclas de hormigón con cáscaras de trigo y cebada, con las características mecánicas de las mezclas de hormigón ciclópeo 210 Kg/cm².

1.5.Objetivos específicos

- Definir la óptima dosificación para la mezcla de hormigón añadido cáscaras de cereales para que cumpla con la normativa vigente.
- Describir las características mecánicas del hormigón con cáscaras de trigo y cebada.
- Comparar las características mecánicas del hormigón tradicional con las características mecánicas del hormigón añadido cáscaras de cereales.

1.6.Hipótesis

Se considerarán los parámetros poblacionales de la siguiente manera para la resistencia a la compresión:

μ_1 = promedio de resistencia a la compresión del hormigón tradicional ciclópeo

μ_2 = promedio de resistencia a la compresión del hormigón modificado con cáscaras de trigo y cebada

Así también, se considerarán los parámetros poblacionales de la siguiente manera para el peso:

μ_1 = promedio de peso del hormigón tradicional ciclópeo

μ_2 = promedio de peso del hormigón modificado con cáscaras de trigo y cebada

Para resistencia a la compresión:

H₀: No existe diferencia significativa en el promedio de la resistencia a la compresión entre el hormigón ciclópeo y el modificado con cáscaras de trigo y cebada.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

H₁: Existe diferencia significativa en el promedio de la resistencia a la compresión entre el hormigón ciclópeo y el modificado con cáscaras de trigo y cebada.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Para el peso:

H₀: El promedio del peso del hormigón modificado con cáscaras de trigo y cebada es mayor o sin diferencia significativa que el promedio del peso del hormigón tradicional.

$$H_0: \mu_2 \geq \mu_1$$

H₁: El promedio del peso del hormigón modificado con cáscaras de trigo y cebada es menor que el promedio del peso del hormigón tradicional.

$$H_1: \mu_2 < \mu_1$$

En la presente investigación se compararon las medias del peso y de la resistencia a la compresión, para el hormigón ciclópeo y el modificado con cáscaras de trigo y cebada; con la finalidad de determinar si existe o no diferencia significativa.

La validez de la hipótesis nula se realizará con la técnica de prueba de hipótesis y con el uso de la distribución de probabilidad adecuada, pudiendo ser esta la distribución normal, T-Student, etc.

1.7.Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Tabla 1: Línea de Investigación Institucional/Facultad Dominio

Dominio	Línea de investigación institucional	Sublínea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción

Fuente: (Universidad Laica Vicente de Guayaquil, 2017)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico

El derecho a una vivienda digna y de calidad para todos los ciudadanos de un país, es uno de los esfuerzos primordiales de los gobiernos, pero hay muchas barreras para lograrlo, así como los altos costes de construcción o la poca durabilidad de los materiales. Para dar solución a estos inconvenientes es necesario tomar como referencias las buenas prácticas nacionales e internacionales, la propia experiencia y realizar experimentación e investigaciones sobre nuevos materiales o la modificación de los mismos para mejorar sus características y abaratar costos.

Debido a la gran demanda de viviendas, la industria de la construcción va en crecimiento, pero la necesidad de construir edificaciones a un menor costo es innegable. Es por ello que en los últimos tiempos esta industria ha dado un giro hacia la sostenibilidad y el aprovechamiento de recursos.

La construcción sustentable constituye una manera de satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructura actuales, pero sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades en el futuro, siempre tomando en cuenta aspectos medio ambientales, socioeconómicos y culturales. Específicamente, implica aspectos como el diseño y administración de edificaciones, construcción y rendimiento de materiales y el buen uso de recursos (Holcim Ecuador S.A., 2021).

Pero, la construcción sustentable va mucho más allá del empleo de nuevos materiales, sino que exige experiencia en arquitectura, ingeniería y construcción pero con el enfoque de satisfacer las demandas de generaciones futuras (Holcim Ecuador S.A., 2021).

La Bio Construcción o Construcción Sostenible plantea no solo la necesidad de un ahorro de energía y la optimización de los recursos en la construcción, sino también la

incorporación de elementos ecológicos, económicos y estéticos (Aguilar Lara, 2016; Holcim Ecuador S.A., 2021), que generen un impacto positivo.

La utilización de cáscaras de trigo y cebada en el hormigón es una propuesta dirigida hacia la Bio Construcción, puesto que la producción de 1 tonelada de cemento genera aproximadamente 1 tonelada de CO₂, y se estima que en la actualidad se producen cerca de dos billones de toneladas a nivel mundial, lo que significaría el 7% del total de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Aguilar Lara, 2016). Debido a esto, el proponer soluciones que reduzcan el impacto ambiental mediante el aprovechamiento de recursos que actualmente se desperdician como las cáscaras de cereales, es urgente. Además, la obtención de este material orgánico no necesitaría uso combustible porque se lo puede hacer manualmente e incluso si se lo realizaría en producción masiva, se podría hacer uso de energías limpias en las piladoras.

2.1.2. Hormigón

El concreto hidráulico u hormigón, es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena, grava y en algunos casos de aditivos. En la actualidad es el material más empleado en construcciones, debido a características como duración, resistencia, impermeabilización, facilidad de producción y economía (Gutiérrez De López, 2003).

Este material, al igual que las piedras naturales, posee una alta resistencia a la compresión, pero una baja resistencia a la tracción (generalmente es el 10% de su resistencia a los esfuerzos de compresión), por lo cual se refuerza con varillas de acero, para que sean estas las que soporten tales esfuerzos (hormigón armado) (Gutiérrez De López, 2003).

Se ha determinado que en la evaluación de la calidad del hormigón intervienen aproximadamente 200 variables, de las cuales unas son inherentes al diseño y otras al proceso de elaboración. Es por ello que la dosificación y producción del hormigón es un trabajo complejo en el que se deben seguir las normas establecidas respecto a dosificación, calidad del agregado y proceso de fabricación; y en la medida en que se adapten tecnologías foráneas a las condiciones propias de la región, empleando materiales nativos y soluciones autóctonas, se ganará en economía (Gutiérrez De López, 2003).

Las primeras construcciones con hormigón inician hace muchos años, ya que, en el periodo del imperio Romano, ya se observa el éxito en el uso de este material. Los primeros usos del hormigón fue como refuerzos para la resistencia a flexión de losas y forjados, y para ayudar en el proceso constructivo, como herramienta de sujeción de los encofrados directamente de los perfiles, evitando así, el requerimiento de usar apeos o cimbras (Nistal Cordero et al., 2012).

En 1817, Vicat, propuso por primera vez el procedimiento de fabricación del cemento, que en términos generales se sigue utilizando hoy día. Sin embargo, el prototipo del cemento moderno fue producido en 1845 por Isaac Johnson, quien por primera vez utilizó una temperatura suficientemente elevada, para formar clinker de la arcilla y la piedra caliza, las cuales son sus como materias primas (Gutiérrez De López, 2003).

2.1.2.1. Componentes del hormigón.

2.1.2.1.1. *Cemento.*

La era del cemento empieza en 1750 con John Smeaton, quien mezcló cal con arcillas y obtuvo un buen producto que usó para reparar el Faro de Eddyston. Después, en 1824 Joseph Aspdin, conoció los estudios de Smeaton y patentó el "Cemento Portland", el cual es un material de apariencia similar a las piedras de construcción extraídas en Portland, ciudad al sur de Inglaterra, de allí su nombre (Gutiérrez De López, 2003).

La denominación de cemento se usa para designar toda sustancia con condiciones de pegante de cualquier origen. El cemento Portland es el producto obtenido al pulverizar el Clinker y añadirle yeso (Gutiérrez De López, 2003).

Clasificación de los cementos Portland:

- Cemento Portland tipo 1: destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales.
- Cemento Portland tipo 1M: alcanza resistencias superiores a las del tipo 1.
- Cemento Portland tipo 2: es resistente a la acción moderada de sulfatos y el desprendimiento de calor es menor que en los cementos normales.

- Cemento Portland tipo 3: alcanza alta resistencia inicial.
- Cemento Portland tipo 4: el desprendimiento de calor es bajo.
- Cemento Portland tipo 5: ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.
- Cemento Portland Blanco: elaborado con materias primas seleccionadas que no contienen óxido de hierro, por eso la coloración. Se usa para decoración (Gutiérrez De López, 2003).

La finura del cemento está directamente relacionada con la hidratación del mismo, ya que el tamaño de los granos (su finura) tiene gran influencia en la velocidad de hidratación, en el desarrollo de calor, en la retracción y en el aumento de resistencia con la edad. Cuando el cemento es muy fino, endurece más rápidamente y por lo tanto desarrolla alta resistencia en menor tiempo; sin embargo, libera mayor cantidad de calor, por lo que aumenta la retracción y la susceptibilidad a la fisuración; además una molienda fina aumenta los costos de producción y hace que el cemento sea más susceptible a hidratarse con la humedad ambiental, por lo que reduce su vida útil (Gutiérrez De López, 2003).

La finura se expresa por el área superficial de las partículas contenidas en un gramo de cemento y se llama superficie específica; se mide en cm^2/g (Gutiérrez De López, 2003).

Al mezclar el cemento con el agua, se forma una pasta en estado plástico, la cual sigue endureciendo hasta que deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega al mínimo de temperatura, a partir de este momento empieza el proceso de endurecimiento y la pasta ya fraguada va adquiriendo resistencia (Gutiérrez De López, 2003).

2.1.2.1.2. Agua.

El agua es un componente importante en la mezcla del hormigón, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante (Gutiérrez De López, 2003).

Para cada cantidad de cemento existe un porcentaje de agua requerida para la hidratación del cemento, y se suele colocar una cantidad adicional para aumentar la fluidez y manejabilidad de la pasta y para que cumpla la función de lubricante con los agregados. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el hormigón, va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, es por ello que cuando se requiera una mezcla muy fluida, se sugiere agregar aditivos plastificantes en vez de agua (Gutiérrez De López, 2003).

2.1.2.1.3. Agregados.

Los agregados, también conocidos como áridos, son materiales de origen natural o artificial, que tienen un valor muy importante al momento de diseñar el hormigón, ya que brindan resistencia y durabilidad (Coro Paillacho, 2014).

Estos elementos constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante, por ejemplo, el volumen de los agregados en el concreto hormigón va de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, y en los pavimentos del 75% al 90% (Gutiérrez De López, 2003).

Para obtener hormigones de buena calidad es esencial utilizar agregados de la mejor calidad, limpios y de alta resistencia, que cumplan con tamaños o granulometrías establecidos en las normas técnicas ecuatorianas (Coro Paillacho, 2014).

Los agregados que intervienen en la elaboración del hormigón son de dos clases: fino y grueso. Se denomina arena al agregado fino, que es un material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 Micras (0.074 mm.); a diferencia de la grava o agregado grueso, que es un material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm (Coro Paillacho, 2014; Gutiérrez De López, 2003). En la siguiente tabla, se indica la clasificación de los agregados según su tamaño:

Tabla 2: Clasificación de los agregados pétreos según su tamaño

Tamaño de las partículas en mm (Tamiz)	Denominación corriente	Clasificación como agregado para concreto
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002 – 0,074 (No. 200)	Limo	
0,075 – 4,76 (No. 200) – (No. 4)	Arena	Agregado fino
4,76 – 19,1 (No. 4) – (3/4")	Gravilla	Agregado grueso
19,1 – 50,8 (3/4") – (2")	Grava	
50,8 – 152,4 (2") – (6")	Piedra	
> 152,4 (6")	Rajón Piedra bola	

Fuente: (Niño Hernández, 2010)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En este trabajo serán utilizados sólo agregados naturales empleados en la construcción, lo cuales pueden obtenerse por la explotación de bancos de material, depósitos de rocas que afloran en la superficie terrestre como canteras o minas, o por extracción y clasificación del material que arrastran los ríos (Gutiérrez De López, 2003).

2.1.2.2. Propiedades mecánicas del hormigón.

2.1.2.2.1. Resistencia a la compresión.

La resistencia del hormigón es muy variable, ya que depende de la calidad de los componentes, del proceso de mezclado, de la conservación o curado y del tiempo de fraguado (Coro Paillacho, 2014).

El proceso de mezclado del hormigón consiste en recubrir el agregado con la pasta de cemento hasta lograr una masa homogénea. La conservación o curado del hormigón se realiza por inmersión en agua o en una cámara de humedad y es imprescindible por la influencia decisiva que tiene en la resistencia. En cuanto a la edad, se ha observado que la resistencia del hormigón aumenta con el transcurso del tiempo (Coro Paillacho, 2014).

La resistencia a la compresión es la característica más importante del hormigón, debe ser utilizada como condición para aceptarlo y está relacionada con la capacidad resistente de los elementos (probetas cilíndricas o vigas de hormigón), con la adherencia o deslizamiento de las armaduras y con el fenómeno de la fisuración (Coro Paillacho, 2014).

La cantidad de cemento en la mezcla, es decir su proporción, es decisiva en la resistencia, a medida que se aumenta la cantidad de cementos aumenta la resistencia, sin embargo, mezclas en un alto contenido de cemento (por encima de 470 kg por m³ de concreto) tienen un retroceso en su resistencia, especialmente cuando tienen tamaños máximos muy grandes (Gutiérrez De López, 2003).

La relación agua-cemento influye de manera importante en la resistencia del hormigón. Una determinada relación agua-cemento produce distintas resistencias de acuerdo al tipo de agregado utilizado y al tipo de cemento (Gutiérrez De López, 2003).

La resistencia a la compresión es la característica mecánica más importante del concreto, la cual se expresa en términos de esfuerzo en kg/cm² o en lbs/pul² (p.s.i), donde 1 p.s.i = 0.07 kg/cm² o en megapascales (Gutiérrez De López, 2003).

Se emplearán estos valores de resistencia especificada a la compresión:

- Valor mínimo para el hormigón normal: $f'_c = 21$ MPa
- Valor máximo para elementos de hormigón liviano: $f'_c = 35$ MPa.

Donde: f'_c es la resistencia especificada a la compresión del Hormigón (MPa) (NEC Estructuras de Hormigón Armado, 2014).

2.1.2.2.2. Manejabilidad.

La manejabilidad o trabajabilidad es una propiedad del hormigón fresco que le permite ser colocado, compactado adecuadamente y ser terminado sin segregación ni exudación (Gutiérrez De López, 2003).

No debe confundirse la manejabilidad con la consistencia o fluidez, relacionada ésta con el estado de la mezcla seca (dura) o fluida (blanda), es decir, se refiere al grado de humedad de la mezcla (Gutiérrez De López, 2003).

Los factores que influyen en la trabajabilidad son:

- El contenido de agua de mezclado, es el principal factor que influye en la manejabilidad del concreto; se expresa en Kg o litros por m³ de hormigón.

- El contenido de aire, naturalmente atrapado o adicionado, aumenta la manejabilidad de la mezcla, ya que las burbujas funcionan como balineras de los agregados permitiendo su movilidad.

- La buena gradación de los agregados.

- Los agregados gruesos con partículas planas y alargadas o de forma cúbica con superficie rugosa, disminuyen la manejabilidad de la mezcla.

- El bajo contenido de arena en proporción con el contenido de agregado grueso determina una mezcla poco manejable. Pero si el contenido de arena es elevado hay necesidad de añadir agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable presentándose también segregación o exudación.

- Algunas condiciones de clima y temperatura pueden alterar la manejabilidad de la mezcla (Gutiérrez De López, 2003).

Medida de manejabilidad:

No se conoce ningún método directo para determinar la manejabilidad de una mezcla. Existen métodos que miden otras propiedades del concreto que se pueden relacionar con su trabajabilidad (Gutiérrez De López, 2003).

2.1.2.2.3. *Peso*

La densidad o peso específico se define como la relación de peso a volumen; su valor varía entre 3,08 a 3,20 g/cm³ para el cemento portland tipo I, pero el cemento que tiene adiciones tiene un peso específico menor porque el contenido de Clinker es menor (Gutiérrez De López, 2003).

El peso específico del cemento no indica la calidad del cemento, pero se usa en el diseño y control de mezclas de concreto; sin embargo, un peso específico bajo y una finura alta indican que el cemento tiene adiciones (Gutiérrez De López, 2003).

2.1.2.2.4. *Densidad.*

La densidad depende directamente de la roca madre de donde se extrajo y se define como la relación entre la masa y el volumen (Romero Quintero & Hernández Rico, 2014).

2.1.3. *Aditivos del hormigón*

Los primeros aditivos para hormigón empezaron a fabricarse y comercializarse en España, a finales de los años cincuenta y primeros años de los sesenta del pasado siglo XX. Esto inició como un proceso de aprovechamiento de subproductos de otros procesos industriales, como el cloruro cálcico que resultaba de la elaboración de Sosa, y las lejías sulfíticas resultantes de la pasta de papel. Sin embargo, estos “productos químicos” no contaban con algún certificado de calidad que los avale (Nistal Cordero et al., 2012).

En la década de los setenta y de los ochenta, la fabricación de aditivos dejó de hacerse en la “vieja cocina”, para pasar a producirse en fábricas cada vez más dotadas de recursos humanos y técnicos. Esto ocurrió, debido a su uso habitual y alta demanda en la fabricación del hormigón por sus notables beneficios (Nistal Cordero et al., 2012).

Después, en el año 1981, se conforma un comité para elaborar la normativa española para aditivos del hormigón, con dos objetivos fundamentales:

- Recopilar y estudiar la normativa internacional, así como la bibliografía relacionada con esta materia.

- Elaborar los documentos de trabajo base de los proyectos de norma española (proyecto UNE).

Fruto de este trabajo, en 1983 se publicó la primera norma española que hablaba exclusivamente acerca de aditivos, la norma UNE 83.200 de “Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Clasificación y definiciones” (Nistal Cordero et al., 2012).

Debido al incremento de la población, hay más demanda de viviendas, tanto en el sector rural y urbano, incrementando así la necesidad de materiales para la construcción. Actualmente, las diferentes técnicas de construcción buscan aprovechar los elementos que están en nuestro alrededor (Lara Guerrero et al., 2020), aún mejor si estas están siendo desperdiciadas como es el caso de las cáscaras de cereales; por tal razón en los últimos años se ha evidenciado como los profesionales de la construcción incluyen ciertos elementos a los materiales construcción como el hormigón.

En varios estudios presentados por Lara Guerrero et al. (2020), se muestra que es evidente la viabilidad de fabricar concretos que posean una adecuada resistencia a la compresión con la inclusión de varios tipos de fibras, entre las cuales están las cascarillas de cereales.

2.1.4. Método para elaboración del hormigón

El método A.C.I. (American Concrete Institute) es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón, basado en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen (Romero Quintero & Hernández Rico, 2014).

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1, que a su vez, está basa en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas (Romero Quintero & Hernández Rico, 2014).

En este método se requiere previo al diseño de la mezcla, tener datos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar.

2.1.4.1. Elección del asentamiento.

Para esta prueba se recomienda usar los valores de la siguiente tabla, los cuales se usan cuando el método de compactación usado es la vibración (para otros métodos se deben sumar 2.5 cm a los valores de esta tabla) (Romero Quintero & Hernández Rico, 2014).

Tabla 3: Valores de asentamiento recomendados según el tipo de construcción

ASENTAMIENTO (CM)	CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0-2,0	MUY SECA	MUY PEQUEÑO	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2,0-3,5	SECA	PEQUEÑO	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,5-5,0	SEMI-SECA	PEQUEÑO	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales
5,0-10,0	MEDIA	MEDIO	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración
10,0-15,0	HUMEDA	ALTO	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Fuente: (Niño Hernández, 2010)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

2.1.4.2. Estimación de la cantidad de agua.

Para mejorar la manejabilidad, adherencia e hidratación de mezclas de hormigón se requiere ciertas cantidades de agua. En la siguiente tabla se indica el requerimiento de agua en la mezcla, que está en función del asentamiento y el TMN (tamaño máximo nominal) (Romero Quintero & Hernández Rico, 2014).

Tabla 4: Requerimientos aproximados de agua de mezclado

Condición del contenido de aire	Asentamiento cm	Agua en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicados							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	---
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	---
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son las máximas para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

** Los valores de asentamiento para un concreto que contenga un agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de asentamiento efectuado después de remover las partículas mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo.

Fuente: (Niño Hernández, 2010)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

2.1.4.3. Estimación de la relación agua cemento (a/c).

Este es uno de los factores más relevantes en el diseño de mezclas de hormigón, porque con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. Para establecer esta relación se utiliza la tabla adjunta.

Tabla 5: Relación entre valores de resistencia a la compresión y valores de relación A/C

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS		CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)	CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)
Kg/cm ²	PSI		
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,50
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,40	0,35

Fuente: (Niño Hernández, 2010)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

2.1.4.4. Cálculo del contenido de cemento.

Para realizar este cálculo se utiliza la siguiente ecuación, la cual relaciona el agua y la relación agua/cemento (a/c), cuyos valores ya se han calculado en los pasos 4.4 y 4.5.

Ecuación 1: Cálculo para el contenido de cemento

$$C = \frac{a}{a/c}$$

Fuente: (Niño Hernández, 2010)

2.1.4.5. Verificación granulométrica.

Esta prueba ayuda a verificar los valores de resistencia en la mezcla de hormigón. Para ello se deben seguir los parámetros indicados en la norma ASTM C33, los cuales se indican en la siguiente tabla:

Tabla 6: Recomendaciones granulométricas para agregado grueso, según la norma ASTM C33

AGREGADO	TAMAÑO NORMAL (mm)	MATERIAL QUE PASA CADA UNO DE LOS SIGUIENTES TAMICES (PORCENTAJE)												
		101,60 mm 4"	90,50 mm 3 1/2"	76,10 mm 3"	64,00 mm 2 1/2"	50,80 mm 2"	38,10 mm 1 1/2"	25,40 mm 1"	19,00 mm 3/4"	12,70 mm 1/2"	9,51 mm 3/8"	4,76 mm #4	2,38 mm #8	1,19 mm #16
0	90,50 a 38,10	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
1	64,00 a 38,10			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
2	50,80 a 4,76				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
3	38,10 a 4,76					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
4	25,40 a 4,76						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
5	19,00 a 4,76							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
6	12,70 a 4,76								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
7	9,51 a 2,38									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
8	50,80 a 25,40				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
9	38,10 a 19,00					100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5				

Fuente: (Niño Hernández, 2010)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

2.1.4.6. Metodología.

El método A.C.I. para el diseño de mezclas de concreto usa agregados pétreos (agregado grueso- grava y agregado fino-arena) de origen aluvial y cemento Portland tipo 1.

Para la correcta realización de método, se recomiendan los siguientes parámetros:

- Probetas con cemento + 10% de agregado orgánico (cáscaras de cereales).
- Probetas con cemento + 20% de agregado orgánico (cáscaras de cereales).
- Probetas con cemento + 25% de agregado orgánico (cáscaras de cereales).
- Probetas con cemento + 30% de agregado orgánico (cáscaras de cereales).

Se puede obtener el peso de las muestras de concreto endurecido a los 28 días. Se sugiere también quince cilindros por cada porcentaje de reemplazo de cáscara de cereales, para un total de 90 cilindros (Romero Quintero & Hernández Rico, 2014).

2.1.5. *Trigo*

La relación entre el trigo y la civilización humana ha sido muy estrecha, ya que es el cultivo más antiguo sembrado por el hombre en inmensas extensiones y en grandes cantidades (Moreno et al., 2001).

El trigo constituye la base estratégica para la autosuficiencia económica de los países. Es un componente indispensable en la dieta humana y también se emplea como alimento en la dieta animal en forma de forraje (Moreno et al., 2001).



Ilustración 1: Trigo

Fuente: (Ramos Gamiño, 2013)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Los principales cereales consumidos por el hombre son el trigo, arroz y cebada, los cuales pertenecen a la familia de los pastos, Gramínea. Dentro de esta se encuentra la tribu Triticeae y el género Triticum, el cual tiene alrededor de 30 variantes. El trigo harinero y el trigo cristalino son los tipos comerciales, en donde el harinero (*Triticum aestivum*) cubre cerca de 90 % del área mundial total sembrada (Moreno et al., 2001).

La producción de trigo en Ecuador es significativamente inferior a los volúmenes que se demanda de este cereal, ya que ha ido decreciendo hasta llegar en la actualidad a una cantidad de solo 8144 ha. (Montenegro Montenegro, 2012).

Aun considerando la importancia del trigo para la alimentación, también se observa el desperdicio de parte de este producto, así como la cáscara, de la cual solo el 37% se destina a la alimentación de animales de granja o es aprovechada en la forma de paja (Ramos Gamiño, 2013).

La piel externa, pericarpio, salvado o cáscara del trigo es la parte más dura del grano, se compone básicamente de fibra y minerales como el magnesio, potasio, calcio, sodio y hierro. Los minerales que contiene, en principio, no son asimilables por el cuerpo humano, sino que requieren de una larga fermentación para serlo, por lo que esta parte del grano no es aprovechada (Trigos Antiguos, 2018).

2.1.6. Cebada

La cebada es el quinto cereal de mayor producción a nivel mundial. En Ecuador, se produce y se importa este cereal, del cual el 40% de la producción se usa para producir cerveza, mientras que los excedentes se comercializan en mercados locales y sirven para generar subproductos para la alimentación animal y humana, sin embargo, componentes como la cáscara son desperdiciados en los procesos productivos (Lema-Aguirre et al., 2016).

Mientras que la fibra está en la cáscara exterior de la mayoría de los granos, en el caso de la cebada ésta se encuentra en todo el grano, esto adicional a que su cáscara no es completamente digerible, hace que se deseche este componente (Sweet, 2014).

2.1.7. Uso de cascarillas de cereales en el hormigón

El uso de materiales naturales como materia prima ha generado varios estudios desde los años 90, en donde se afianzó el interés en materiales alternativos (Vargas et al., 2013) que puedan utilizarse para sustituir parcialmente a los tradicionales, en especial en la industria de la construcción.

Debido al procesamiento de productos de las actividades agrícolas, se generan toneladas de desechos sólidos, que en la mayoría de casos no se aprovechan, y que resultan

en un problema de contaminación. Es por ello, que surge la necesidad de crear formas de aprovechar estos desechos, para así disminuir la contaminación provocada por estos y a la vez, obtener algún beneficio de los mismos. Los desechos agroindustriales son materiales lignocelulósicos, es decir que los contenidos de celulosa y lignina representan los mayores porcentajes de su composición. Dado que ambos son polímeros de gran abundancia en la naturaleza y su fuente se encuentra en las estructuras de las paredes celulares de las plantas, son recursos renovables y con múltiples usos potenciales (Vargas et al., 2013).

Las cascarillas de trigo y cebada son subproductos generados del proceso de molienda de los granos provenientes de los campos de cultivo, y se encuentran en la parte exterior del grano maduro (Vargas et al., 2013). La razón de su selección como materiales naturales a utilizar en este trabajo de investigación, se debe a su alta disponibilidad, a sus propiedades físicas y químicas, y a la problemática ambiental que se presenta al no disponer correctamente de estos desechos agroindustriales.

El uso de estos nuevos materiales afecta las propiedades finales del hormigón, como por ejemplo mostrando construcciones más livianas, pero con buena resistencia a los esfuerzos realizados sobre las mismas. Otra característica de interés es que el hormigón con cascarilla de cereales incorporadas, podría ser biodegradable, siendo esto de tanta relevancia para la conservación del ambiente (Vargas et al., 2013).



Ilustración 2: Pila de cáscara de cereales como el trigo y la cebada

Fuente: (Vargas et al., 2013)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En estudios anteriores ya se observa la novedosa utilización de desechos de agrofibras en el mejoramiento de las características de materiales de la construcción. Es así que en la investigación realizada por Basta et al. (2002) se usa papel periódico como materia prima económica para la producción de paneles de construcción livianos. Los resultados indicaron que los residuos de papel periódico con un 6 % de silicato de sodio mejoraron la resistencia al fuego y a la compresión de los paneles producidos, además de que la absorción de agua fue relativamente baja en comparación con los producidos por otros tratamientos.

En Romero Quintero & Hernández Rico (2014) se han hecho estudios sobre el uso de las cenizas orgánicas volantes, donde se ha comprobado que, con porcentajes de reemplazo de cenizas por cemento, entre rangos del 10% al 30% en mezclas de hormigón, el agua de mezclado por unidad de volumen del hormigón generalmente no necesita aumentar y en ocasiones puede ser reducida. También se encontró que para edades muy tempranas, no hay efecto alguno en el aumento de la resistencia; mientras que a edades superiores a 28 días, el hormigón normal puede igualar o superar su resistencia, plazo que se tomará en cuenta para la obtención de datos en esta investigación.

El aprovechamiento de las cáscaras de cereales en el hormigón busca satisfacer la necesidad de reducir la creciente contaminación y mejorar la economía, mediante el uso de recursos naturales renovables, además de mejorar las características físico mecánicas del hormigón al volverlo más liviano, reforzado y resistente a la exposición de ciertos factores ambientales. Estas cáscaras son materiales lignocelulósicos con baja densidad, alta dureza, y baja conductividad térmica, que tienen la capacidad de modificar las características finales del producto de interés a obtener, que en este caso es el hormigón (Vargas et al., 2013).

2.2. Marco legal

- Constitución de la República del Ecuador:

Art. 14.- La población tiene derecho de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, en donde prime la sostenibilidad y el buen vivir o sumak kawsay. Es de interés público, preservar el ambiente, los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, prevenir el daño ambiental y la recuperar los espacios naturales dañados (Constitución de La República Del Ecuador, 2008).

- Ley orgánica de educación superior LOES

Art. 8.- Serán Fines de la Educación Superior. –

a) Aportar al desarrollo del pensamiento universal, a la generación de producción científica y al intercambio o transferencia de las innovaciones tecnológicas;

b) Fortalecer un espíritu reflexivo en los estudiantes, para el logro de su autonomía personal, en un marco de libertad de pensamiento;

d) Formar académicos y profesionales con conciencia ética y solidaria, responsables, que contribuyan al desarrollo de las instituciones del país, al orden democrático, y a la participación social;

f) Fomentar y realizar programas de investigación de índole científico, tecnológico y pedagógico, que ayuden al mejoramiento y cuidado del ambiente, en pro del desarrollo sustentable nacional;

h) Contribuir en el desarrollo local y nacional de manera permanente, a través de la investigación en universidades (Ley Orgánica de Educación LOES, 2018).

- En esta investigación se requiere de cumplir adecuadamente el proceso de elaboración de hormigón. En el Ecuador, el INEN es la institución competente para normar estos procesos y los establece mediante el Sistema Ecuatoriano de la Calidad y las norma Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) (INEN, 2022), es así que se utilizarán las siguientes normas:
- La normativa NEC es la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la cual contiene varias normativas de obligatorio cumplimiento a nivel nacional, los requisitos mínimos de seguridad y calidad que deben cumplir las

edificaciones en Ecuador, en todas las etapas del proceso constructivo con hormigón (NEC Estructuras de Hormigón Armado, 2014).

- La evaluación de los resultados de pruebas de resistencia del hormigón toma en cuenta que la producción está sometida a variaciones en los componentes, medición, pruebas y resultados de los ensayos. A causa de esta variabilidad existente, se debe dosificar el hormigón para obtener una resistencia promedio f'_{cr} muy por encima de la especificada f'_c (NEC Estructuras de Hormigón Armado, 2014).
- Norma ASTM C 31/C 31M Práctica normalizada para la preparación y curado en obra de probetas para ensayo del hormigón.
- Norma ASTM C 33 Especificación de los áridos para el hormigón.
- Norma ASTM C 94/C 94M – 03a Especificaciones normalizadas para el hormigón premezclado.
- Norma ASTM C 39/C 39M Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas de hormigón.
- Norma ASTM C 143/C 143M Método de ensayo normalizado para determinar el descenso de cono del hormigón elaborado con cemento hidráulico.
- Norma ASTM C 172 Práctica normalizada para el muestreo de la mezcla de hormigón fresco.
- La norma ACI contiene el reglamento para establecer los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones con hormigón, así como para la aceptación del diseño y cumplimiento de normativa para revisión de la autoridad competente o de sus representantes (Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural ACI 318S-14, 2014).
- NTE INEN 1504: 2017

Cementos. Aditivos de proceso. Requisitos y métodos de ensayo.

Esta norma establece los requisitos y métodos de ensayo que deben cumplir los aditivos de proceso incorporados en el cemento (NTE INEN 1504: Cementos. Aditivos de Proceso. Requisitos y Métodos de Ensayo, 2017).

Así también, como requisito indispensable para el buen empleo de esta norma, se aplicarán:

NTE INEN 490, Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos

NTE INEN 152, Cemento portland. Requisitos

NTE INEN 488, Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista

NTE INEN 2380, Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos

NTE INEN 872, Áridos para hormigón. Requisitos

NTE INEN 1508, Cemento hidráulico. Determinación de la contracción por secado

NTE INEN 2154, Solventes. Determinación de la humedad

- NTE INEN 156:2009 (Segunda revisión)

Cemento hidráulico. Determinación de la densidad:

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico, mediante el método del frasco volumétrico de Le Chatelier. Este método se relaciona con el diseño y control de mezclas de hormigón (NTE INEN 156:2009. Cemento Hidráulico. Determinación de La Densidad, 2009).

- NTE INEN 696: 2011 (Primera revisión).

Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso:

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado. Este método de

ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón (NTE INEN 696: 2011. Áridos. Análisis Granulométrico En Los Áridos, Fino y Grueso, 2011).

- NTE INEN 856: 2010.

Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino:

Esta norma establece el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido fino. Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido (NTE INEN 856: 2010. Áridos. Determinación de La Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción Del Árido Fino, 2010).

- NTE INEN 858: 2010.

Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos:

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) del árido, en condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o en una mezcla de ellos, basándose en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a los áridos que no exceden de un tamaño máximo nominal de 125 mm (NTE INEN 858: 2010. Determinación de La Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y El Porcentaje de Vacíos, 2010).

- NTE INEN 857:2010.

Áridos. Determinación de la Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso:

Esta norma establece el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido grueso (NTE INEN 857:2010. Áridos. Determinación de La Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción Del Árido Grueso, 2010).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de esta investigación será cuantitativo, del tipo experimental, debido a que usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento (Hernández Sampieri et al., 2003).

Se ha seleccionado este enfoque ya que se tiene el propósito de determinar con la mayor confiabilidad posible, la relación causa – efecto (Álvarez Monje, 2011) entre la adición de cáscaras de cereales y las variables de resultado del hormigón. Es así que se hará uso de un diseño experimental, que busca exponer a estímulos experimentales a una muestra y comparar sus características con otro grupo que no ha recibido este tratamiento. Es por ello que se hará uso de una rigurosa manipulación de variables, en donde esté implícita la asignación al azar de las corridas experimentales para asegurar resultados confiables (Álvarez Monje, 2011).

3.2. Alcance de la investigación

Se hará uso del tipo correlacional, debido a que surge la necesidad de plantear una hipótesis en la cual se proponga una relación entre 2 o más variables (Ramos Galarza, 2020). Debido a que se requiere del enfoque cuantitativo, se aplicarán procesos estadísticos inferenciales que buscan extrapolar los resultados de la investigación para beneficiar a toda la población, mediante innovaciones en los procesos constructivos.

3.3. Técnicas e instrumentos para obtener los datos

3.3.1. Materiales

Entre los principales materiales a utilizar serán:

- Cemento Portland tipo 1, marca “Cemento Chimborazo”

Este cemento está compuesto químicamente por un 48% de C_3S , 27% de C_2S , 12% de C_3A y un 8% de C_4AF , debido a esta mezcla se compensa el calor de hidratación y aumenta de forma rápida la resistencia mecánica. La densidad está alrededor de 3,15 g/cm³, sin embargo, en el cemento adicionado, este valor es inferior y su valor normalmente oscila entre 2,90 g/cm³. Esta propiedad es importante en el cálculo del diseño de la mezcla de concreto, porque sirve para determinar el espacio que ocupa una determinada masa de cemento en dicha mezcla (Niño Hernández, 2010).

- Agregado fino y grueso
- Cáscaras secas de cebada y trigo
- Agua (sin contenido orgánico)

El agua utilizada en esta investigación será de la red de agua potable de la ciudad de Riobamba, cuya composición química es:

Tabla 7: Composición química del agua potable de Riobamba

DETERMINACIONES	UNIIDADES	LÍMITES ESTABLECIDOS EN LA NORMA INEN 1108	Valores actuales
pH	Unid	6,5 – 8,5	7,34
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	1736
Dureza	mg/L	200	522
Calcio	mg/L	70	76
Magnesio	mg/L	30 - 50	81
Sólidos Totales	mg/L	1000	1212
Sólidos Disueltos	mg/L	500	1070

Fuente: (Donoso Lliquin, 2013)

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.3.2. Herramientas

Las herramientas más importantes serán:

- Cilindros normalizados
- Varillas normalizadas
- Mazo de goma
- Pala redonda y cuadrada
- Carretilla
- Diésel
- Guaípe

Existen varios métodos de fabricación de hormigón, sin embargo, el método A.C.I será el empleado en esta investigación, ya que es el más aplicado y confiable. Es por ello, que se necesitará emplear las siguientes técnicas e instrumentos:

3.3.3. Ensayos

Los ensayos para realizar en agregados finos y gruesos son:

- Análisis granulométrico tamaño de partículas por tamizado empleando la norma INEN 696 – 2011, INEN 872 2011
- Densidad específica. INEN 857 - 2010
- Porcentaje de absorción
- Densidad aparente
- Porcentaje de humedad INEN 862 – 2011
- Densidad específica.

3.3.4. Dosificaciones

Consiste en encontrar las cantidades correctas de los componentes que deben ser combinados para que exista una mezcla homogénea y que cumpla con las condiciones de resistencia, durabilidad, economía, para obtener un hormigón más liviano.

Los materiales por usar son:

- Agregados finos y gruesos

- Cemento Chimborazo Portland Puzolánico tipo I, de fraguado normal.
- Agua sin contenido orgánico.
- Cilindros normalizados para muestras de hormigón.
- Cáscaras de los cereales en porcentajes.

3.3.5. Ensayo para determinar la densidad del hormigón

Se va a usar el método de ensayo normalizado de acuerdo con la ASTM C-138, en donde se requiere de los siguientes materiales: un recipiente normalizado con volumen conocido, una balanza, una varilla lisa y de sección circular normalizada de 16 mm y longitud máxima de 600 mm y mínima de 400 mm, placa de enrase, un mazo de goma y una cuchara.

Primero se debe encontrar el peso del cilindro vacío, después se llena el recipiente en tres capas a 1/3 del volumen, varillar la capa 25 veces en todo el espesor, sin golpear la base del recipiente y golpear el recipiente suavemente con el mazo de 10 a 15 veces.

Para el segundo tercio de igual manera, se debe distribuir el varillado por toda la superficie tratando de no llegar al primer tercio de material, igualmente de 10 a 15 golpes con el mazo de goma.

Y para el tercio final se debe varillar 25 veces sin pasar penetrar la segunda capa, golpeamos de 10 a 15 veces el cilindro y enrazamos la parte superior del recipiente.

Para determinar la masa, se usará el peso del cilindro más el hormigón. Mientras que, para la densidad, se requiere de la diferencia del cilindro con hormigón y el recipiente vacío expresada en kg/m³.

3.3.6. Análisis estadístico de los datos

Se recopilarán datos de laboratorio, de literatura y de normativa vigente nacional.

Los datos obtenidos se someterán a un análisis de supuestos del modelo de análisis de varianza, los cuales deben verificarse antes de dar por válidas las conclusiones de la

etapa de interpretación. La tabla de ANOVA asume que los residuos siguen una distribución normal, son independientes y con varianza constante. Esto se realiza ya que el incumplimiento grave de cualquiera de estos supuestos conduce a conclusiones erróneas (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008).

Después, se procede al análisis del diseño de experimentos e interpretación de la información experimental, lo cual ayuda a entender la influencia de las cáscaras de trigo y cebada en la resistencia a la compresión y el peso de mezclas de hormigón, considerando los porcentajes de reemplazo de cemento por cáscaras de cereales.

Los principales análisis estadísticos de los datos serán:

- Análisis de supuestos
- Comparación de medias
- Modelos de correlación
- Modelos de ajuste de curvas
- Diseño de experimentos factorial 2^k

3.4. Población y muestra

La población estará conformada por la cantidad de datos generados en la investigación respecto de las variables peso y resistencia a la compresión, tanto en el estudio del hormigón tradicional y del adicionado con cáscaras de cereales.

Las hipótesis estarán definidas en el estudio del parámetro poblacional media (μ).

El muestreo se realizará de forma aleatoria y considerando una población infinita, es decir, aquella donde no se conoce el tamaño, no se tiene la posibilidad de contar o construir un marco muestral y se pueden seguir obteniendo unidades de estudio sin fin (Carrillo Flores, 2015).

El tamaño muestral se definirá usando la adecuada fórmula en consideración del parámetro (μ) en estudio. Se considerarán dos muestras de igual tamaño, ya que se obtendrán datos del hormigón tradicional y del modificado con cáscaras de cereales.

3.5. Presentación y análisis de resultados

3.5.1. Análisis de colorimetría del agua

El análisis de colorimetría se realizó según las normas NTE INEN 855 y ASTM C 87-03, en donde se pudo determinar si el agregado fino es apto para la fabricación de hormigón 210 Kg/cm^2 .

Tabla 8: Tabla de resultados de colorimetría

Placa orgánica de colores	Amarillo claro	Amarillo oscuro	Marrón claro	Marrón oscuro	Negro
Número de color en la placa orgánica	1	2	3	4	5
Color estándar Gardner N°	5	8	11	14	16

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En los resultados de colorimetría, se obtuvo un color amarillo oscuro, número 2, el cual indica que el agregado fino es apto para ser utilizado en la fabricación de hormigón 210 Kg/cm^2 .

3.5.2. Contenido de humedad

Tabla 9: Contenido de humedad del agregado fino

Contenido de humedad del agregado fino		
Peso de la muestra húmeda	36.23	33.83
Peso de la muestra seca	36.18	33.82

Peso de la cápsula o tara	16.68	16.64
Contenido de humedad	0.26	0.06
PROMEDIO	0.159	

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Tabla 10: Contenido de humedad del agregado grueso

Contenido de humedad del agregado grueso		
Peso de la muestra húmeda	50.10	49.46
Peso de la muestra seca	48.70	49.10
Peso de la capsula o tara	16.80	17.00
Contenido de humedad	4.39	1.12
PROMEDIO	2.75	

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.5.3. Análisis granulométrico del agregado grueso NTE INEN 696 (ASTM C - 136)

Tabla 11: Análisis granulométrico del agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
No.	TAMIZ	MASA RETEN. PARCIAL (g)	PORCENTAJES		PASA (%)	CANTIDAD INICIAL
	TAMAÑO (mm)		RET. PARCIAL (%)	RET. ACUM. (%)		
3"	75,00	-	-	-	100	Masa suelo seco: 5.000,0 g
2"	63,00	76,00	2	2,00	98	La masa final no debe exceder el 1% de pérdida respecto a la masa inicial
1 1/2"	50,00	115,00	2	4,00	96	
3/4"	25,00	2.103,00	42	46,00	54	
3/8"	9,50	2.205,00	44	90,00	10	Masa inicial= 5000 100%
Nº 4	4,75	476,00	10	100,00	-	Masa final = 4975 99.50%
100	150 µm	-	-	100,00	-	Pérdida 25.00 0.500%
200	75 µm	-	-	100,00	-	OK

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

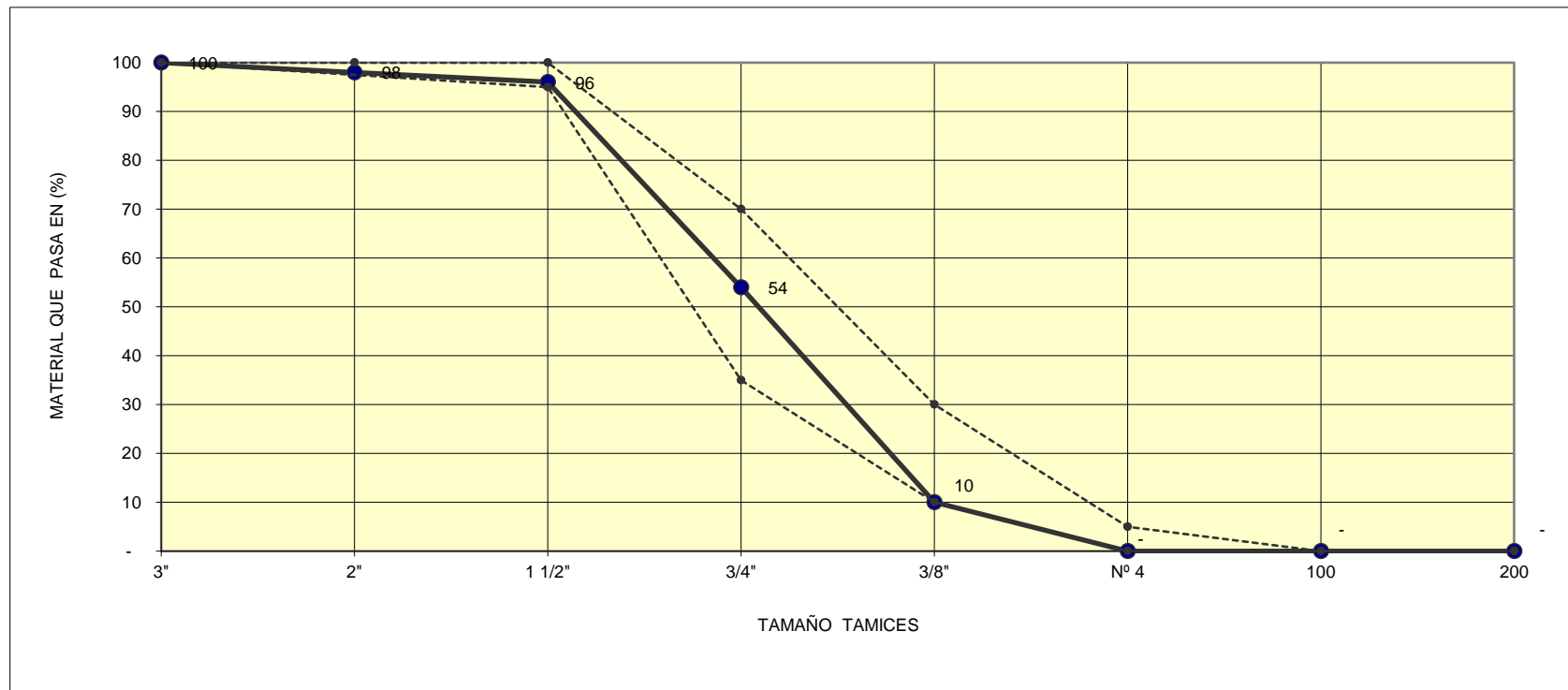


Figura 1: Curva granulométrica del agregado grueso

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Tabla 12: Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso

Resultados	Tamaño máximo de partículas = 2"	Material con aristas
-------------------	----------------------------------	----------------------

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)



Ilustración 3: Muestra del agregado grueso

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.5.4. Análisis granulométrico del agregado fino NTE INEN 696 (ASTM- 136)

Tabla 13: Análisis granulométrico del agregado fino

No.	TAMIZ TAMAÑO (mm)	MASA RETEN. PARCIAL (g)	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORCENTAJES			CANTIDAD INICIAL		
			RETEN. PARCIAL (%)	RETEN. ACUMULADA (%)	PASA (%)			
1/2"	19,00	5,00	-	-	100	Masa suelo seco=	2.000,000	g
3/8"	9,50	24,00	1	1	99			
N° 4	4,75	168,00	8	9	91	Masa final =	2.000,00	g
8	2,36	180,00	9	18	82	Porcentaje=	100,00	%
16	1,80	285,00	14	32	68			OK
30	600 µm	509,00	25	57	43			
50	300 µm	507,00	25	82	18			
100	150 µm	237,00	12	94	6			
Pasa N° 200		85,00	4	98	2			
		SUMA=	98					

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

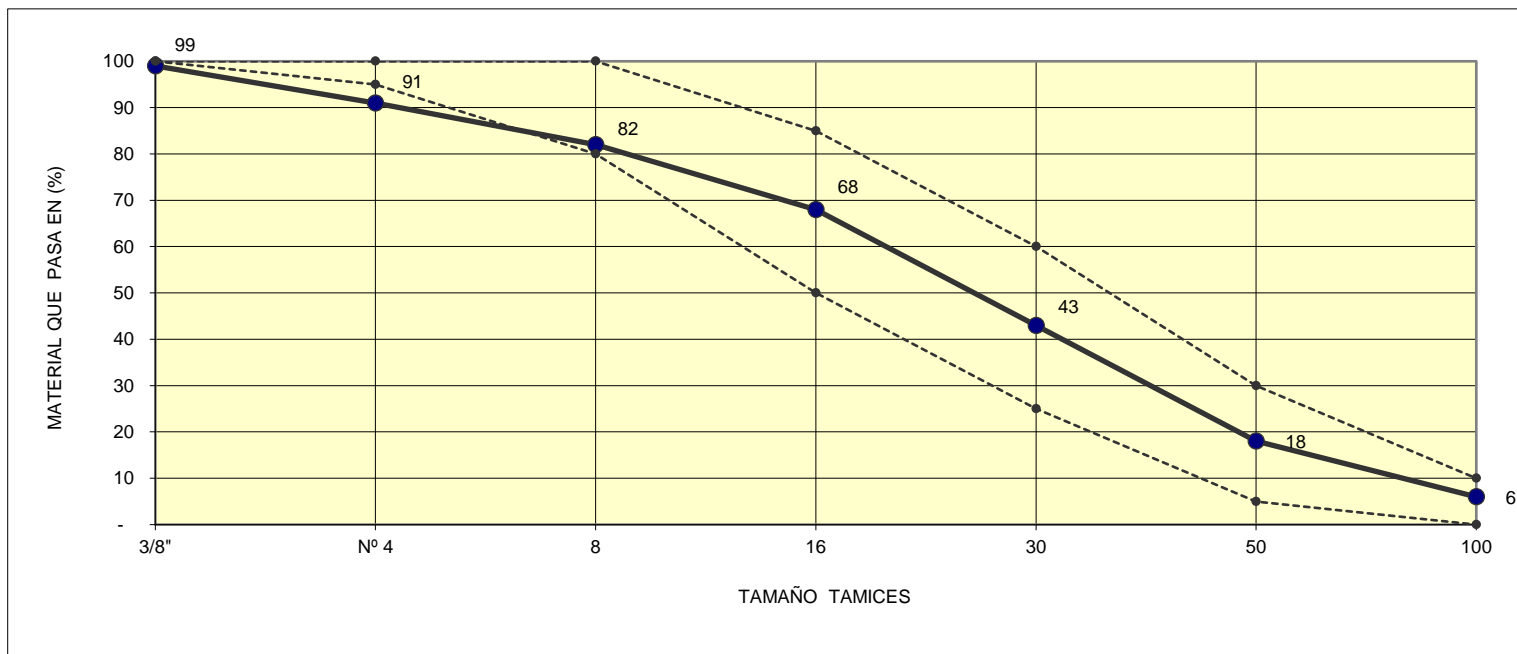


Figura 2: Curva granulométrica del agregado fino

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Tabla 14: Resultados del análisis granulométrico del agregado fino

RESULTADOS	Tamaño Máximo de Partículas = 1/2"	Módulo de finura: 2.92 (si cumple con la normativa)
-------------------	------------------------------------	---

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Estos ensayos permitieron verificar que los materiales de la mina La Guadalupana, ubicada en el Cantón Riobamba están en óptimas condiciones para ser usado en la mezcla de 210 Kg/cm^2 y cumplen con la normativa nacional vigente.



Figura 3: Muestra de agregado fino

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.5.5. Análisis de masa unitaria

3.5.5.1. Masa unitaria suelta del agregado fino de acuerdo a la norma NTE INEN 858.

Tabla 15: Masa unitaria suelta del agregado fino

AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN	DATOS		
Masa del recipiente (g)	1780		
Temperatura del agua (°c)	15,2		
Masa de la placa de vidrio (g)	2860		
Densidad del agua (g/cm3)	0,999157		
Masa del recipiente + placa de vidrio + agua (g)	7440		
Volumen del recipiente (cm3)	2,802,362,391		
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Masa del recipiente + masa del agregado (g)	6391	6370	6260
Masa del agregado (g)	4611	4590	4480
Promedio masa del agregado (g)	4,560,333,333		
MUS (g/cm3)	162,731,749		

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.5.5.2.Masa unitaria suelta del agregado grueso respecto a la norma NTE INEN 858.

Tabla 16: Masa unitaria suelta del agregado grueso

AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCIÓN	DATOS		
Masa del recipiente (g)	7580		
Temperatura del agua (°C)	16,5		
Masa de la placa de vidrio (g)	2860		
Densidad del agua (g/cm ³)	0,99894		
Masa del recipiente + placa de vidrio + agua (g)	24530		
Volumen del recipiente (cm ³)	1,410,495,125		
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Ensayos			
Masa del recipiente + masa del agregado (g)	28840	28940	28680
Masa del agregado (g)	21260	21360	21100
Promedio masa del agregado (g)	21240		
MUS (g/cm ³)	1,505,854,194		

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Este análisis permitió encontrar valores de masa unitaria, para la elección correcta de dosificaciones de mezclas de hormigón, siguiendo el procedimiento de la norma NTE INEN 858.

3.5.5.3.Masa unitaria suelta del cemento basada en la norma NTE INEN 858.

Tabla 17: Masa unitaria suelta del cemento

MASA UNITARIA SUELTA DEL CEMENTO			
DESCRIPCIÓN	DATOS		
Masa del recipiente (g)	1780		
Temperatura del agua (°C)	15,2		
Masa de la placa de vidrio (g)	2860		
Densidad del agua (g/cm ³)	0,999157		
Masa del recipiente + placa de vidrio + agua (g)	7440		
Volumen del recipiente (cm ³)	2,802,362,391		
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Masa del recipiente + masa del agregado (g)	4520	4970	4850
Masa del agregado (g)	2740	3190	3070
Promedio masa del agregado (g)	3000		
MUS (g/cm ³)	1,070,525,357		

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

El valor de la masa unitaria suelta (MUS), determinó la masa por unidad de volumen del cemento en condición suelta.

3.5.6. Análisis de densidad saturada

3.5.6.1. Densidad saturada superficialmente seca de agregado fino NTE INEN 856

Tabla 18: Densidad saturada superficialmente seca de agregado fino

Densidad saturada superficialmente seca de agregado fino		
Masa del agregado	500	g
Masa del picnómetro	445	g
Masa del picnómetro + agua	1084	g
Masa del picnómetro + agua + muestra	1378	g
Densidad=	2,421.117	Kg/m3
	2,421,116,505.00	g/cm3

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.5.6.2. Densidad saturada superficialmente seca de agregado grueso 857.

Tabla 19: Densidad saturada superficialmente seca de agregado grueso

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Masa del agregado al aire	6	Kg
Masa del agregado sumergido en agua	4,74	Kg
Temperatura del agua	16	°C
Densidad SSS agregado grueso	4,757,286	Kg/m3

Densidad SSS agregado grueso	475,729	g/cm ³
Absorción		
Masa de la muestra en estado sss	3000	g
Masa de la muestra seca al horno	2906,8	g
Absorción=	3,21	%
<hr/>		
Densidad sss= Densidad saturada superficialmente seca		

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Ya que es un valor importante en la mezcla de diseño de hormigón se realizaron ensayos de la densidad saturada superficialmente seca del agregado fino y grueso, los cuales dieron como resultado valores para usar en el volumen del agregado grueso y el porcentaje de absorción que permitió hacer las respectivas correcciones de agua.

3.5.6.3.Densidad óptima de una muestra de agregado INEN NTE 858 C29

Tabla 20: Densidad óptima de una muestra de agregado

MEZCLA %		MASA (kg)		Agregado fino a añadir (kg)	Masa de la mezcla (kg)	Densidad aparente (kg/m ³)
AG	AF	AG	AF			
100	0	30	0	0	29,16	2.068
90	10	30	3,333	3,333	31,02	2.2
80	20	30	7,5	4,167	32,62	2.313
70	30	30	12,86	5,36	34,34	2.435
60	40	30	20	7,14	34,58	2.452
50	50	30	30	10	35,7	2.532
40	60	30	45	15	35,02	2.484

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En este ensayo se obtuvo la proporción para una densidad óptima de agregados en la mezcla ideal, la cual es: 60% en agregados gruesos y 40% en agregados finos, puesto que al dejar una mayor cantidad de vacíos entre agregados que posteriormente se llenan de cemento y agua, le darán al hormigón mayor trabajabilidad, cohesión y resistencia.

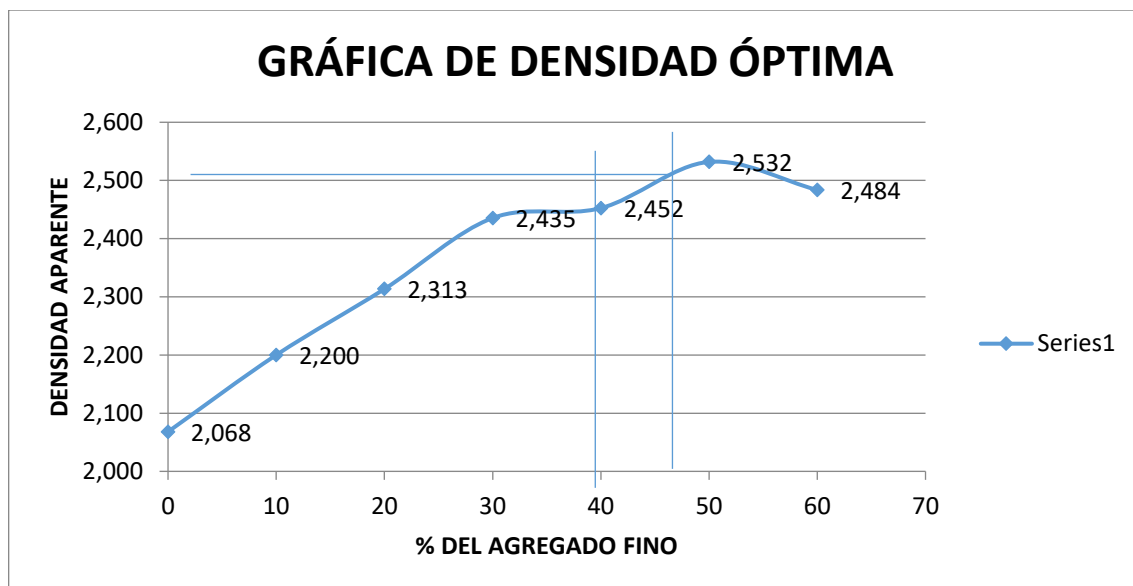


Figura 4: Gráfica de densidad óptima del agregado fino

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.5.7. Tabla de resultados de ensayos realizados en laboratorio para la correcta dosificación de hormigón

Tabla 21: Resultados de ensayos realizados en laboratorio para la correcta dosificación de hormigón

Resumen de resultados				
Material	Dsss (gr/cm ³)	% hum	% abs	Masa unitaria suelta (gr/cm ³)
A. Grueso	4,75	0,15	2,45	1,574
A. Fino	2,42	2,75	3,21	1,627
Proporción para una densidad óptima		A. Grueso %	0,60	
		A. Fino %	0,40	
Densidad aparente compactada mezcla (gr/cm ³)			2,17	
Densidad del cemento (gr/cm ³)			3,09	
Masa unitaria suelta del cemento (gr/cm ³)			1,07	
Densidad del hormigón (T/m ³)			2,1	

Dsss: Densidad saturada superficialmente seca

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Una vez que se obtuvieron las propiedades de los materiales con los respectivos ensayos, se procedieron a realizar los cálculos para la mezcla requerida usando el método de densidad óptima.

3.5.8. Cálculos para la mezcla requerida: Método de densidad óptima

Con los datos obtenidos en laboratorio se continuó con la dosificación de hormigón simple de 210 Kg/cm^2 :

1. Agregado grueso para cada cilindro:

7 kg

2. Selección de cilindros con

Numero de cilindros: 24

Para 7, 14, 21 y 28 días

3. Cantidad de agregado grueso

Ecuación 2: Cantidad de agregado grueso

$$\text{Cantidad de agregado grueso} = \frac{\text{número de cilindros} * \text{agregado grueso para cada cilindro}}{1}$$

$$\text{Cantidad de agregado grueso} = \frac{24 * 7\text{Kg}}{1}$$

$$\text{Cantidad de agregado grueso} = 168 \text{ Kg}$$

Total de agregado grueso a usar: 168 Kg

4. Cantidad de agregado fino

Ecuación 3: Cantidad de agregado fino

$$\text{Cantidad de agregado fino} = \frac{\text{total de agregado grueso} * \% \text{mezcla Dsss (A.F)}}{1}$$

$$\text{Cantidad de agregado fino} = \frac{168\text{Kg} * 40}{60}$$

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 112 \text{ Kg}$$

5. Densidad de la mezcla (δ de la masa saturada superficialmente seca msss).

Ecuación 4: Densidad de la mezcla

$$\delta_{\text{msss}} = (\%A. F * D_{\text{sss A. F}}) + (\%A. G * D_{\text{sss A. G}})$$

$$\delta_{\text{msss}} = (0,40 * 2,40) + (0,60 * 4,73)$$

$$\delta_{\text{msss}} = 3,798 \text{ g/cm}^3$$

6. Calcular el porcentaje de vacíos

Ecuación 5: Porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacios} = \left[1 - \frac{\delta_{\text{op. mezcla}}}{\delta_{\text{mezclasss}}} \right] * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacios} = \left[1 - \frac{2,17 \text{ g/cm}^3}{3,798 \text{ g/cm}^3} \right] * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacios} = 42,86 \%$$

7. Volumen aparente de mezcla

Ecuación 6: Volumen aparente de mezcla

$$V_{ap. mezcla} = \frac{\sum agregados}{\delta_{op. mezcla}}$$

$$V_{ap. mezcla} = \frac{112000 g + 168000 g}{2,17 g/cm^3}$$

$$V_{ap. mezcla} = 129032,258 cm^3$$

8. Cálculo de volumen de vacíos o volumen de la pasta.

Ecuación 7: Volumen de vacíos

$$V_p = V_{ap. mezcla} * \% vacios$$

$$V_p = 129032,258 cm^3 * 42,86 cm^3$$

$$V_p = 55303,225 cm^3$$

9. Selección de la relación (agua/cemento a/c).

$$Kg. \frac{f}{cm^2} = 0,0980660 MPa$$

$$210 Kg. \frac{f}{cm^2} * 0,0980660 MPa = 20,594 MPa$$

Tabla 22: Relación agua cemento vs. resistencia del hormigón

a/c	f'c
0,8	14
0,75	16
0,70	18
0,65	20
0,60	22

0,55	25
0,50	28
0,45	32
0,40	37
0,35	42

a/c= relación agua cemento

f'c= resistencia del hormigón

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se deben interpolar los valores de acuerdo a la resistencia que se quiere obtener:

$$(1) = 0,65 - 0,60 = 0,05$$

$$(2) = 20 - 22 = 2$$

$$(3) = 20 - 20,594 = 0,594$$

$$x = \frac{0,05 + 0,594 \text{ g}}{2}$$

$$x = 0,635$$

10. Densidad de la pasta

Ecuación 8: Densidad de la pasta

$$\delta p = \frac{M_{\text{cemento}} + M_{\text{agua}}}{\text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Agua}}$$

$$\delta p = \frac{1 + 0,5}{\frac{1}{3,09 \text{ g/cm}^3} + \frac{0,5}{1}}$$

$$\delta p = 1,82 \text{ g/cm}^3$$

11. Peso o masa de la pasta

Ecuación 9: Peso de la pasta

Peso p = *Densidad de la pasta* * *Volumen de la pasta*

$$\text{Peso p} = 1,82 \frac{g}{cm^3} * 55303,225 cm^3$$

$$\text{Peso p} = 100651,869 g / 1000$$

$$\text{Peso p} = 100,651 Kg$$

12. Cálculo de agua y cantidad de cemento

Ecuación 10: Cantidad de agua

$$\text{Agua} = \frac{Pp * a}{1 + a}$$

$$\text{Agua} = \frac{100,651 Kg * 0,5}{1 + 0,5}$$

$$\text{Agua} = 33,55 Kg$$

Ecuación 11: Cantidad de cemento

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Peso pasta} * c}{1 + a}$$

$$\text{Cemento} = \frac{100,651 * 1}{1 + 0,5}$$

$$\text{Cemento} = 67,10 Kg$$

13. Dosificación teórica

Tabla 23: Resultados de la dosificación teórica del hormigón

Agua	Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)
33,55	67,10	112	168

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

14. Corrección de la dosificación teórica por humedad

Ecuación 12: Corrección de la dosificación teórica por humedad para el agregado fino

$$\text{Agregado fino} = \frac{\text{Cantidad agregado fino} (100 + \%H)}{(100 + \%ABS)}$$

$$\text{Agregado fino} = \frac{112 (100 + 2,75)}{(100 + 3,21)}$$

$$\text{Agregado fino} = 111,50 \text{ Kg}$$

Ecuación 13: Corrección de la dosificación teórica por humedad para el agregado grueso

$$\text{Agregado grueso} = \frac{\text{Cantidad agregado grueso} (100 + \%H)}{(100 + \%ABS)}$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{168 (100 + 0,15)}{(100 + 2,45)}$$

$$\text{Agregado grueso} = 164,22 \text{ Kg}$$

Asentamiento a 10 cm

15. Dosificación final

$$\text{Agregado fino} = 112 \text{ Kg} - 111,50 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 0,50 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 168 \text{ Kg} - 164,22 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 3,78 \text{ Kg}$$

Tabla 24: Valores finales para la dosificación del hormigón

	Agua (kg)	Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)
Valores de dosificación	33.55	67,10	112	168
Corrección	4			
Valor sumado la corrección	37.55			

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

16. Corrección a/c (Verificación del asentamiento)

$$\text{Agua} = 0,5 \text{ Kg}$$

$$a/c = 0,635 \text{ Kg}$$

$$c = \frac{0,5}{0,635}$$

$$c = 0,787$$

$$c = \frac{42,55}{67,887}$$

$$c = 0,626$$

Tabla 25: Verificación del asentamiento

	Agua (Kg)	Cemento (Kg)	Agregado fino (Kg)	Agregado grueso (Kg)
Valores	33.55	67.1	112	168
Corrección	4	0.787		
Valor sumado la corrección	37.55	67.887		

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

17. Dosificación al peso

Tabla 26: Dosificación al peso

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
0.57	1	3.21	4.72

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Pesos por cada metro cúbico de hormigón (kg):

Tabla 27: Pesos por cada metro cúbico de hormigón (kg)

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
208.62	363	1164.1	1714.86

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Pesos por cada saco de 50 kg (kg):

Tabla 28: Pesos por cada saco de 50 kg (kg)

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
28.74	50	160.34	236.21

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

18. Dosificación en volúmenes aparentes de parihuela (33x33x33 cm):

Tabla 29: Dosificación en volúmenes aparentes de parihuela (33x33x33 cm)

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
0.57	1	2.74	4.18

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
28.74	49	98.55	150.07

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Dosificación al 5% de cereales:

Numero de cilindros: 8 al 5% de cereales

Para 7, 14, 21 y 28 días

Cantidad de agregado grueso

Ecuación 14: Cantidad de agregado grueso

$$\text{Cantidad de agregado grueso} = \frac{\text{número de cilindros} * \text{agregado grueso para cada cilindro}}{1}$$

$$\text{Cantidad de agregado grueso} = \frac{8 * 7Kg}{1}$$

$$\text{Cantidad de agregado grueso} = 56 \text{ Kg}$$

Total de agregado grueso a usar: 56 Kg

Ecuación 15: Cantidad de agregado fino

$$\text{Cantidad de agregado fino} = \frac{\text{total de agregado grueso} * \% \text{mezcla Dsss (A.F)}}{1}$$

$$\text{Cantidad de agregado fino} = \frac{56Kg * 40}{60}$$

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 37.33 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad total de agregado fino} = 37.33 \text{ Kg}$$

Ecuación 16: Volumen aparente de mezcla

$$V_{ap. mezcla} = \frac{\Sigma agregados}{\delta_{op. mezcla}}$$

$$V_{ap. mezcla} = \frac{56000 g + 37330 g}{2,17 g/cm^3}$$

$$V_{ap. mezcla} = 43009,21 cm^3$$

Cálculo de volumen de vacíos o volumen de la pasta.

Ecuación 17: Volumen de vacíos

$$V_p = V_{ap. mezcla} * \% vacios$$

$$V_p = 43009.21 cm^3 * 42,86 cm^3$$

$$V_p = 18433.74 cm^3$$

Peso p = *Densidad de la pasta * Volumen de la pasta*

$$Peso p = 1,82 \frac{g}{cm^3} * 18433.74 cm^3$$

$$Peso p = 33549.40 g /1000$$

$$Peso p = 33.55 Kg$$

Cálculo de agua y cantidad de cemento

Ecuación 18: Cantidad de agua

$$Agua = \frac{Pp * a}{1 + a}$$

$$Agua = \frac{33.55 Kg * 0,5}{1 + 0,5}$$

$$Agua = 11.18 Kg$$

Tabla de dosificación de mezcla tradicional para 8 cilindros

Tabla 30: Dosificación de mezcla tradicional para 8 cilindros

Cantidad agregado fino (Kg)	Cantidad de cereales (Kg)	Cantidad agregado grueso (Kg)	Cantidad de agua(Kg)
37.33	1.87	56	11.18

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Cantidad de agregado fino con cereales al 5%:

Para conocer el 5% de los cereales a usar en el agregado fino:

Cantidad de agregado fino: 37.33 Kg

Saco el 5% de la cantidad total del agregado fino:

Y nos dio como resultado:1.87 kg

De la cantidad total de agregado fino resto el 5%

Cantidad de cereales a usar:35.46 Kg

Ecuación 19: Volumen aparente de mezcla

$$V_{ap. mezcla} = \frac{\sum agregados}{\delta_{op. mezcla}}$$

$$V_{ap. mezcla} = \frac{56000 g + 35460 g}{2,17 g/cm^3}$$

$$V_{ap. mezcla} = 42147,46 cm^3$$

Cálculo de volumen de vacíos o volumen de la pasta.

Ecuación 20: Volumen de vacíos

$$V_p = V_{ap. mezcla} * \% vacios$$

$$V_p = 42147.46 cm^3 * 42,86 cm^3$$

$$V_p = 18064.40 cm^3$$

Peso p = *Densidad de la pasta * Volumen de la pasta*

$$\text{Peso p} = 1,82 \frac{g}{cm^3} * 18064.40 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso p} = 32877.20 \text{ g} / 1000$$

$$\text{Peso p} = 32.87 \text{ Kg}$$

19. Cálculo de agua y cantidad de cemento

Ecuación 21: Cantidad de agua

$$\text{Agua} = \frac{Pp * a}{1 + a}$$

$$\text{Agua} = \frac{32.87 \text{ Kg} * 0,5}{1 + 0,5}$$

$$\text{Agua} = 10.95 \text{ Kg}$$

Tabla de dosificación de mezcla al 5% de cereales

Tabla 31: Dosificación de mezcla al 5% de cereales

Cantidad agregado fino (Kg)	Cantidad de cereales (Kg)	Cantidad agregado grueso (Kg)	Cantidad de agua(Kg)
37.33	1.87	56	10.95

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

3.5.9. Resistencia en MPa con 3 dosificaciones

En la segunda etapa de la experimentación se buscó realizar comparaciones de resistencia a la compresión entre las 3 concentraciones de cáscara de cereales en estudio.

Tabla 32: Datos de resistencia en MPa de 8 cilindros por cada concentración de cáscara de cereales

N° Cilindro	% de cáscara de cereales (trigo y cebada)	7 Días (Resistencia en MPa)	14 Días (Resistencia en MPa)	21 Días (Resistencia en MPa)	28 Días (Resistencia en MPa)
1	5	8.8	11.99	15.32	18.98
2	5	8.96	12.24	15.36	19.28
1	10	7.91	8.93	11.54	13.89
2	10	8.07	9.07	11.62	13.67
1	15	6.00	7.52	8.57	9.82
2	15	6.16	7.41	8.9	10.16
PROMEDIOS	5%	8.88	12.12	15.34	19.13
	10%	7.99	9.00	11.58	13.78
	15%	6.08	7.47	8.74	9.99

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

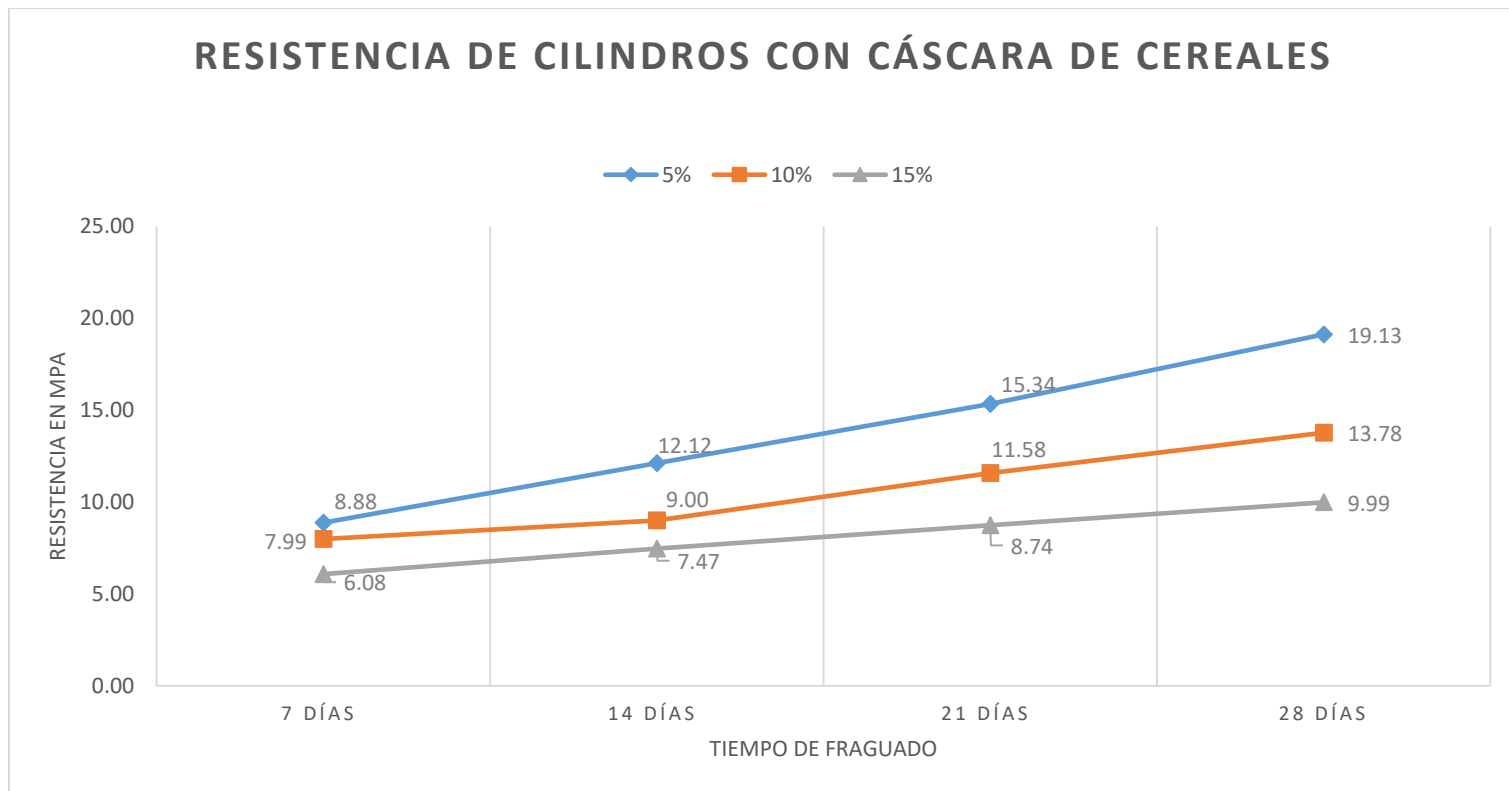


Figura 5: Gráfica de líneas del promedio de resistencia en el tiempo de fraguado de 3 concentraciones de cáscara de cereales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se ha realizado la experimentación con una muestra pequeña de 8 cilindros por cada dosificación (5%, 10% y 15% de cáscara de trigo y cebada), con medidas de resistencia a la compresión en MPa a los 7, 14, 21 y 28 días.

En la gráfica se determina que la concentración de cáscara de cereales que alcanza mayores niveles de resistencia es el 5% durante todo el tiempo de fraguado. Mientras más tiempo transcurre, el aumento de la resistencia va evidentemente en crecimiento y aumenta la diferencia entre esta concentración y el resto de porcentajes de cáscaras de cereales. Es así que, a los 7 días difiere en 0.89 MPa de la concentración más próxima, que es del 10%; a los 14 días difiere en 3.12 MPa, a los 21 días aumenta la diferencia en 3.76 MPa y finalmente a los 28 días esta divergencia crece a su punto máximo de 5.35 MPa.

Se observa también que entre el 10% y 15% la diferencia es menor, ya que a los 7 días es de 1.91 MPa y al final del tiempo de fraguado es de 3.79 MPa. Además de la evolución de la resistencia del hormigón con el 15% de cáscara de cereales es más lineal que el resto.

Se puede determinar que mientras más pequeño sea el porcentaje de cáscara de cereales añadido, mayor será el incremento de la resistencia a la compresión en el transcurso del tiempo.

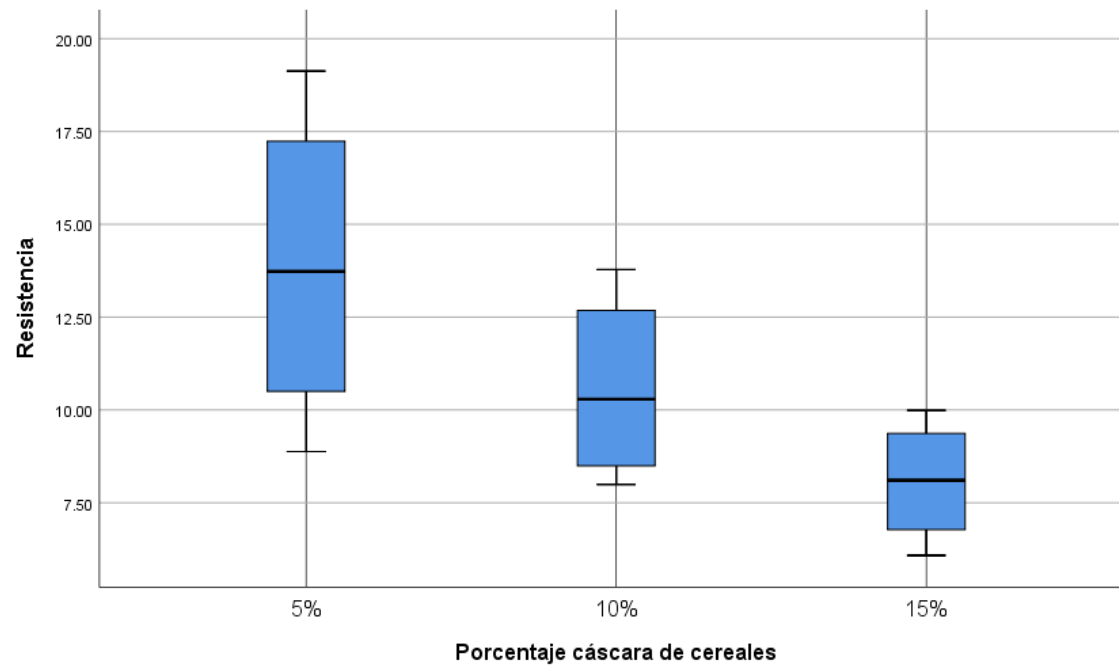


Figura 6: Diagrama Box Plot de resistencia en MPa de 3 concentraciones de cáscara de cereales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En la gráfica anterior se puede observar que mientras menor sea el porcentaje de cáscara de trigo y cebada, mayor es el incremento de la resistencia a la compresión en el transcurso del tiempo de fraguado. Es así que con el 5% de cáscara de cereales los valores de resistencia son más altos y más dispersos.

Los valores de resistencia con el 15% son muy cercanos entre sí, es decir en 28 días no hay un incremento importante en los valores de la resistencia.

Con el 10% de cáscara de cereales se observa que los primeros 7 días no hay mucho incremento en la resistencia, sino que esta aumenta en los últimos días.

Mientras que con el 5% de cáscara de cereales hay mucha más dispersión, es decir en los 28 días de fraguado los valores de resistencia crecen significativamente.

3.5.10. *Peso en kg con 3 dosificaciones*

Así también, se realizaron comparaciones del peso entre las 3 concentraciones de cáscara de cereales en estudio.

Tabla 33: Datos del peso obtenido en 2 cilindros por cada concentración de cáscara de cereales

N° Cilindro	% de cáscara de cereales (trigo y cebada)	Peso (kg)
1	5	3.239
2	5	3.25
1	10	2.946
2	10	2.945
1	15	2.653
2	15	2.671
	5%	3.245
PROMEDIOS	10%	2.946
	15%	2.662

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

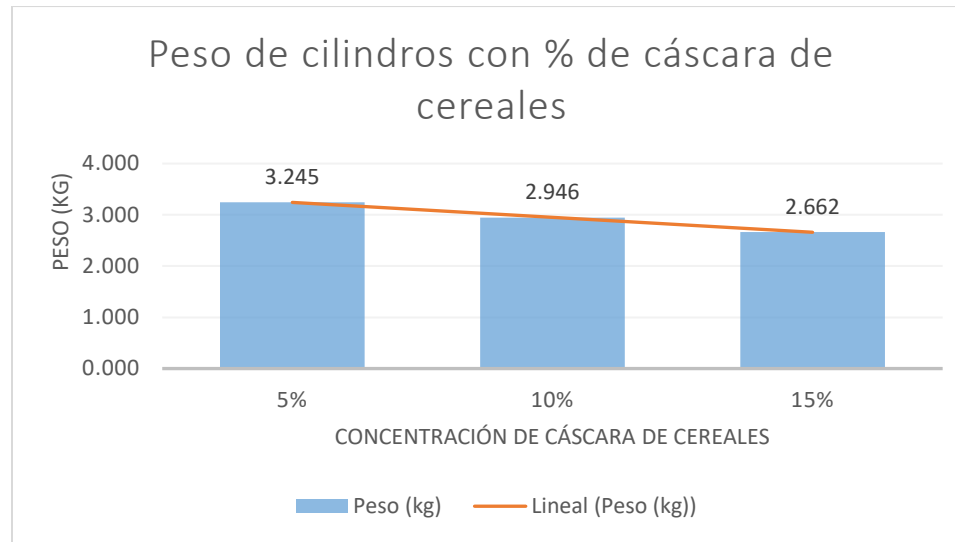


Figura 7: Diagrama de barras del promedio de los pesos de cilindros con 3 concentraciones de cáscara de cereales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

El pesaje de los cilindros se lo realizó a los 28 días del tiempo de fraguado.

En la gráfica anterior se evidencia que mientras mayor sea la concentración de cáscara de cereales, más liviano es el cilindro, es así que los cilindros más livianos son los que contienen 15% de cáscara de cereales.

3.5.11. Resistencia del hormigón con 5% de cáscara de trigo y cebada vs el tradicional

Se ha decidido realizar las comparaciones de resistencia a la compresión y peso con el 5% de cáscara de cereales, ya que presenta la mejor resistencia y aunque no tiene el peso más bajo, cumple con la normativa nacional vigente.

Tabla 34: Datos de resistencia en MPa de cilindros con el 5% de cáscara de cereales y tradicionales

N° Cilindro	Tipo de hormigón	7 Días (Resistencia en MPa)	14 Días (Resistencia en MPa)	21 Días (Resistencia en MPa)	28 Días (Resistencia en MPa)
1	Añadido el 5% de cáscara de cereales	9.02	12.4	15.5	19.40
2	Añadido el 5% de cáscara de cereales	8.87	12.38	15.45	19.27
3	Añadido el 5% de cáscara de cereales	8.88	12.33	15.49	19.29
4	Añadido el 5% de cáscara de cereales	9.01	12.42	15.53	19.38
1	Tradicional	13.03	17.26	19.36	21.2
2	Tradicional	13.07	17.40	19.57	21.11
3	Tradicional	13.04	17.29	19.39	21.22
4	Tradicional	13.1	17.25	19.6	21.33
PROMEDIOS	Añadido el 5% de cáscara de cereales	8.95	12.38	15.49	19.34
	Tradicional	13.06	17.30	19.48	21.22

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

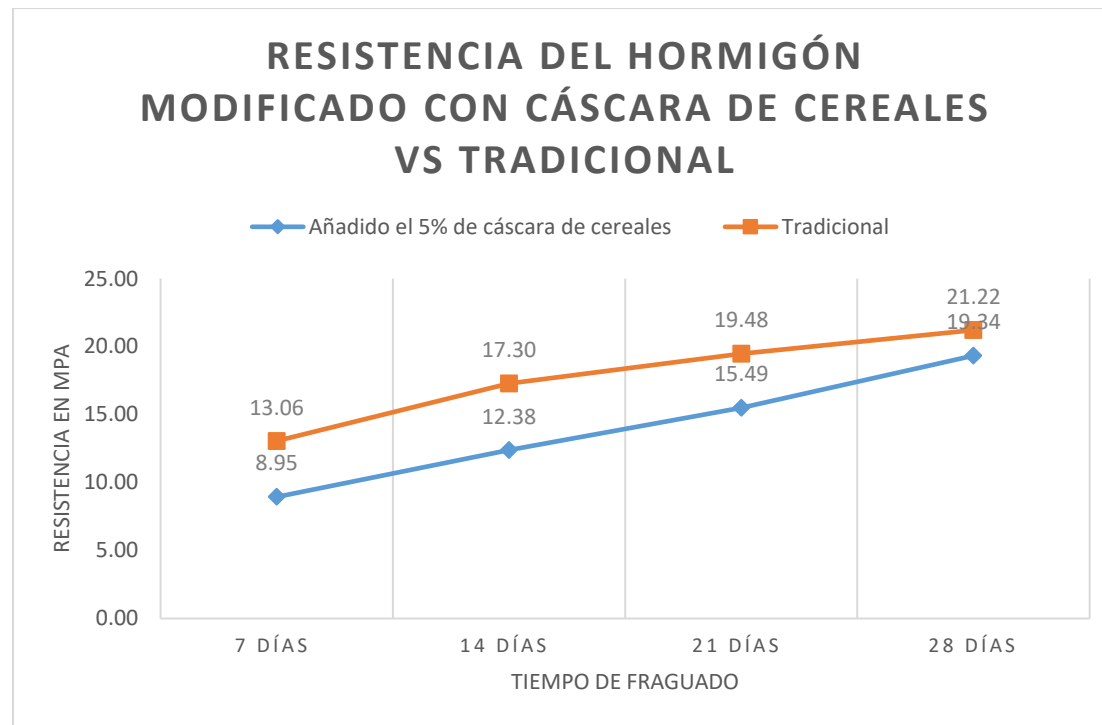


Figura 8: Gráfica de líneas del promedio de resistencia del hormigón con el 5% de cáscara de cereales vs tradicional

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se ha realizado la comparación del promedio de la resistencia a la compresión con una muestra de 16 cilindros con la dosificación óptima de cáscara de cereales (5% de cáscara de trigo y cebada) y 16 cilindros tradicionales, con medidas en MPa a los 7, 14, 21 y 28 días.

En la gráfica se determina que los cilindros tradicionales tienen mayor resistencia a la compresión, sin embargo, sus valores no distan muchos de los valores de resistencia de los cilindros con el 5% de cáscara de cereales.

La gráfica del hormigón modificado es lineal y se evidencia su crecimiento durante el tiempo de fraguado, mientras en el hormigón tradicional el mayor aumento de la resistencia se evidencia en la primera semana, después de este tiempo, los valores aumentan, pero no significativamente. Es así que, a los 28 días se registra la menor diferencia de la resistencia entre ambas muestras, con aproximadamente 2 MPa.

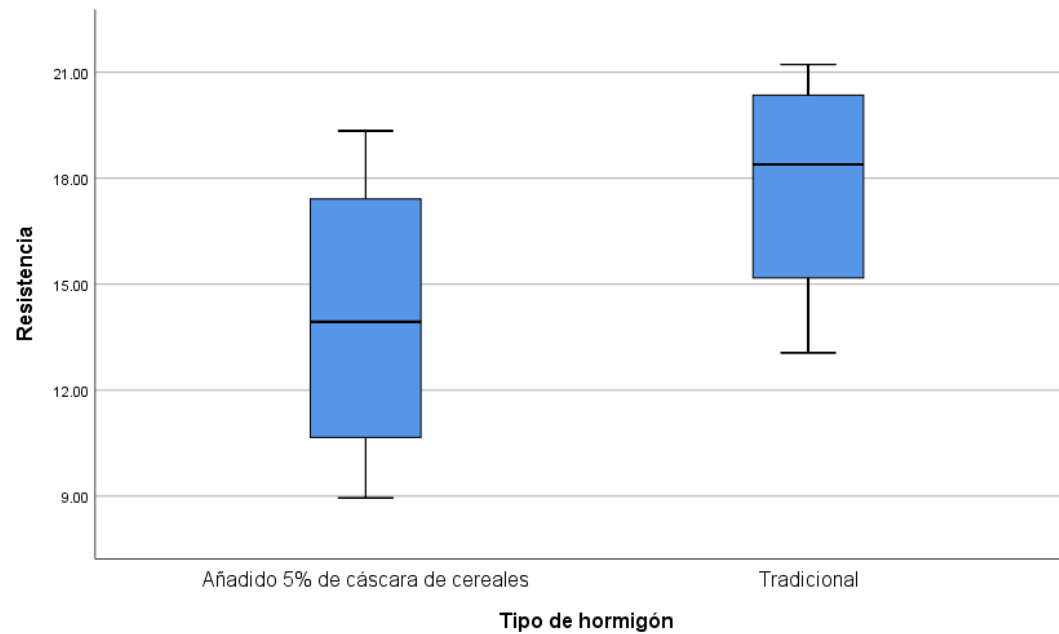


Figura 9: Diagrama box plot de resistencia a la compresión entre cilindros añadidos el 5% de cáscara de cereales y cilindros tradicionales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En la gráfica anterior se observa que el hormigón tradicional alcanza valores más altos de resistencia a la compresión y tiene menos variabilidad, es decir, en las últimas semanas hay poco incremento de esta magnitud. Mientras que en los cilindros con hormigón modificado se observa igual incremento de resistencia en todas las semanas, hasta alcanzar un valor máximo de 19.34 MPa.

3.5.12. Peso del hormigón con 5% de cáscara de trigo y cebada vs el tradicional

Tabla 35: Datos de pesos en kg de cilindros añadidos cáscara de cereales y tradicionales

N° Cilindro	Tipo de hormigón	Peso (kg)
1	Añadido el 5% de cáscara de cereales	3.253
2	Añadido el 5% de cáscara de cereales	3.245
3	Añadido el 5% de cáscara de cereales	3.248
4	Añadido el 5% de cáscara de cereales	3.254
1	Tradicional	3.753
2	Tradicional	3.751
3	Tradicional	3.754
4	Tradicional	3.765
PROMEDIOS	Añadido el 5% de cáscara de cereales	3.250
	Tradicional	3.756

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

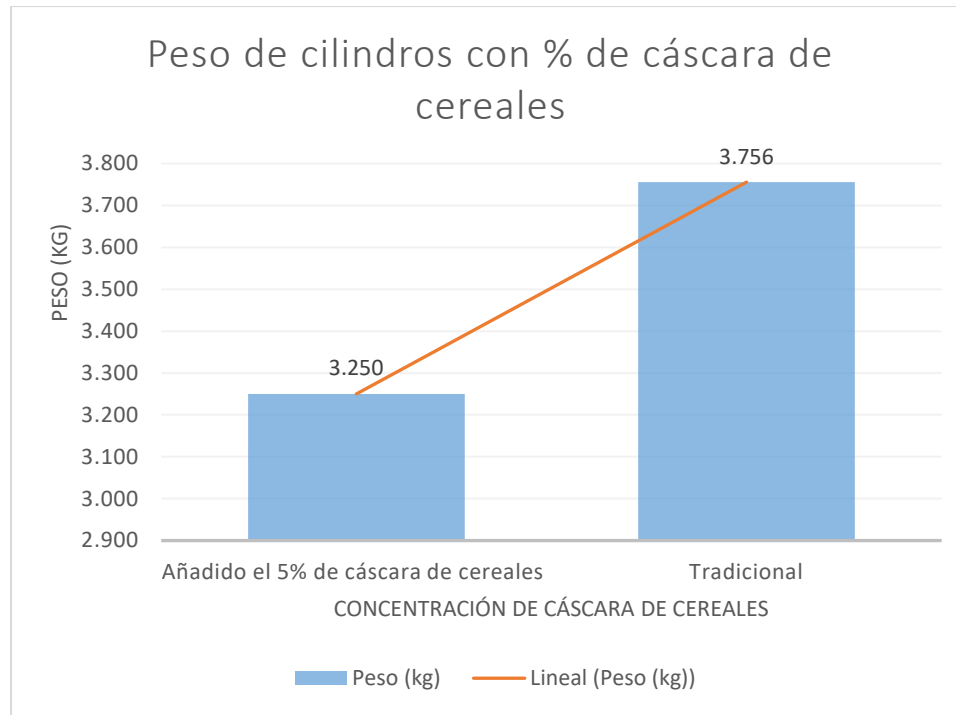


Figura 10: Gráfica de barras del promedio de pesos de cilindros añadidos el 5% de cáscara de cereales vs tradicionales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En la gráfica anterior se evidencia que el hormigón modificado con cáscara de cereales es más liviano que el tradicional, por lo el empleo de hormigón modificado puede ser beneficioso cuando se busque la construcción de estructuras más livianas.

3.5.13. Pruebas de hipótesis entre el hormigón añadido cáscara de cereales y el tradicional

Para tomar decisiones acertadas y fundamentadas, es útil hacer suposiciones acerca de la población en estudio. A estas suposiciones, que están sujetas a pruebas, se les llama hipótesis estadísticas. Estas hipótesis estadísticas son afirmaciones sobre las distribuciones de probabilidad de las poblaciones, en base a estudios muestrales (Spiegel & Stephens, 2009).

A los procedimientos que ayudan a determinar si las muestras observadas difieren significativamente de los resultados esperados, para decidir si se acepta o se rechaza la hipótesis, se les llama pruebas de hipótesis (Spiegel & Stephens, 2009).

3.5.13.1. Pruebas de normalidad para la variable de respuesta resistencia a la compresión.

Para utilizar el procedimiento de la prueba de hipótesis, primero se establecen 3 supuestos: ambas muestras vienen de poblaciones independientes y con distribución normal, las desviaciones estándar o las varianzas de ambas poblaciones son iguales, y que las observaciones son variables aleatorias independientes. Todos ellos deben ser previamente probados utilizando una gráfica de probabilidad normal (Montgomery, 2004).

Cuando ocurren violaciones de los supuestos, se afectará el desempeño de la prueba de hipótesis. Tanto el nivel de significación de la prueba como la capacidad para detectar diferencias entre las medias serán afectados adversamente por el incumplimiento de estos supuestos, especialmente por la falta de distribución normal (Montgomery, 2004).

Es así que previo a la prueba de hipótesis se realizó una prueba de normalidad a los datos de resistencia a la compresión de los cilindros añadidos el 5% de cáscara de trigo y cebada y tradicionales.

Para una prueba de normalidad, las hipótesis son las siguientes:

H₀: Los datos siguen una distribución normal.

H₁: Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 36: Prueba de normalidad para los valores de resistencia a la compresión de cilindros modificados con el 5% de cáscara de cereales y tradicionales

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Tipo de hormigón	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia	Añadido 5% de cáscara de cereales	.146	4	.	.996	4	.987
	Tradicional	.197	4	.	.957	4	.763

a. Corrección de significación de Lilliefors

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se sugiere utilizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov para muestras con más de 30 datos (Spiegel & Stephens, 2009). Teniendo un valor de significancia de 0.05, y valores estadísticos mayores a este, no se rechaza la hipótesis nula y se asumen que los datos de la muestra vienen de una distribución normal.

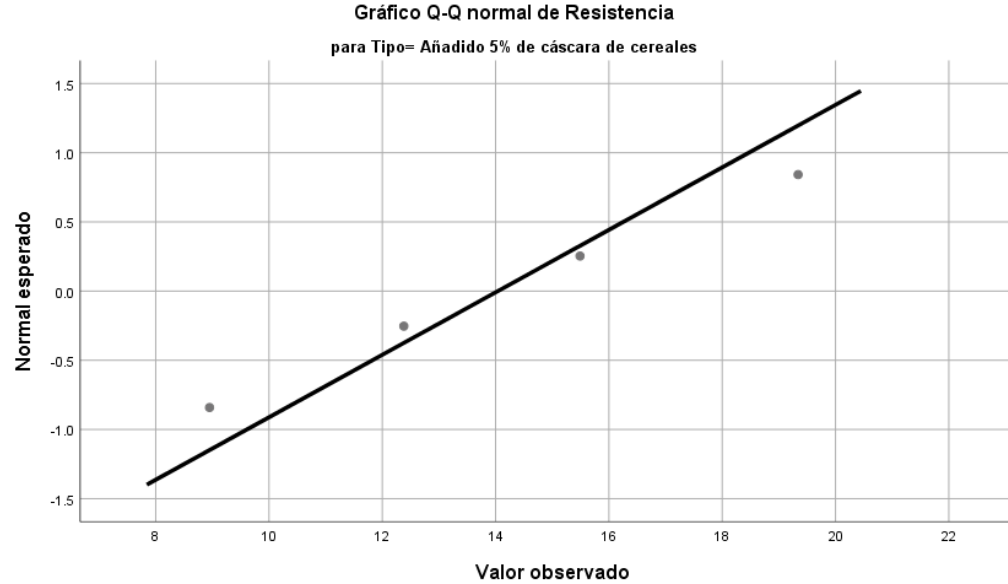


Figura 11: Gráfica Q-Q para la resistencia de cilindros modificados con el 5% de cáscara de cereales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Esta gráfica nos permite corroborar que los datos analizados de la resistencia a la compresión en la muestra de cilindros añadidos el 5% de cáscara de cereales, siguen una distribución normal, ya que están muy pegados a la línea de tendencia de la distribución.

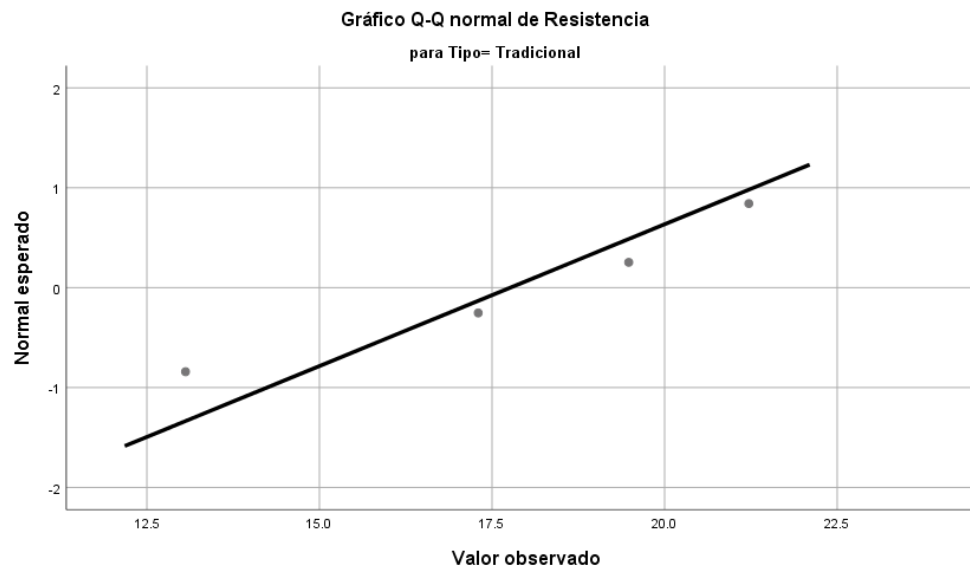


Figura 12: Gráfica Q-Q para la resistencia de cilindros tradicionales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En esta gráfica nos permite corroborar que los datos analizados de la resistencia a la compresión en la muestra de cilindros tradicionales, siguen una distribución normal, ya que están muy juntos a la línea de tendencia de la distribución.

3.5.13.2. Prueba de hipótesis para resistencia a la compresión entre el hormigón modificado y el tradicional.

Tabla 37: Estadísticos descriptivos para la resistencia a la compresión

Estadísticas de grupo					
	Tipo de hormigón	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Resistencia	5%	16	14.0388	3.96192	.99048
	Tradicional	16	17.7637	3.15039	.78760

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Tabla 38: Prueba de igualdad de varianzas y t para las muestras de resistencia a la compresión

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resistencia	Se asumen varianzas iguales	1.577	.219	-2.944	30	.006	-3.72500	1.26545	-6.30939	-1.14061
	No se asumen varianzas iguales			-2.944	28.551	.006	-3.72500	1.26545	-6.31490	-1.13510

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Con un valor de 0.219 mayor que el nivel de significancia de 0.05 se asume que las muestras presentan homogeneidad de varianzas. Además de que los datos fueron tomados en un orden aleatorio, por lo que se cumplen los 3 supuestos previos a la prueba de hipótesis.

Para la prueba de hipótesis de la resistencia, se consideró:

H_0 : No existe diferencia significativa en el promedio de la resistencia a la compresión entre el hormigón ciclópeo y el modificado con cáscaras de trigo y cebada.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

H_1 : Existe diferencia significativa en el promedio de la resistencia a la compresión entre el hormigón ciclópeo y el modificado con cáscaras de trigo y cebada.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

El valor marcado en verde indica el p-valor de 0.06, el cual es superior al nivel de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se entiende que estadísticamente no hay diferencia entre el promedio de la resistencia a la compresión entre el hormigón tradicional y el modificado con 5% de cáscaras de trigo y cebada, es decir, ambos tendrán el mismo resultado en una edificación.

3.5.13.3. Prueba de normalidad para la variable de respuesta peso.

Tabla 39: Prueba de normalidad para el peso de cilindros modificados con el 5% de cáscara de cereales y tradicionales

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Tipo de hormigón	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Peso	Añadido 5% de cáscara de cereales	.260	4	.	.912	4	.492
	Tradicional	.360	4	.	.807	4	.115

a. Corrección de significación de Lilliefors

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se sugiere utilizar la prueba de Shapiro-Wilk para muestras con menos de 30 datos (Spiegel & Stephens, 2009). Teniendo un valor de significancia de 0.05, y valores estadísticos mayores a este, no se rechaza la hipótesis nula y se asumen que los datos de la muestra vienen de una distribución normal.

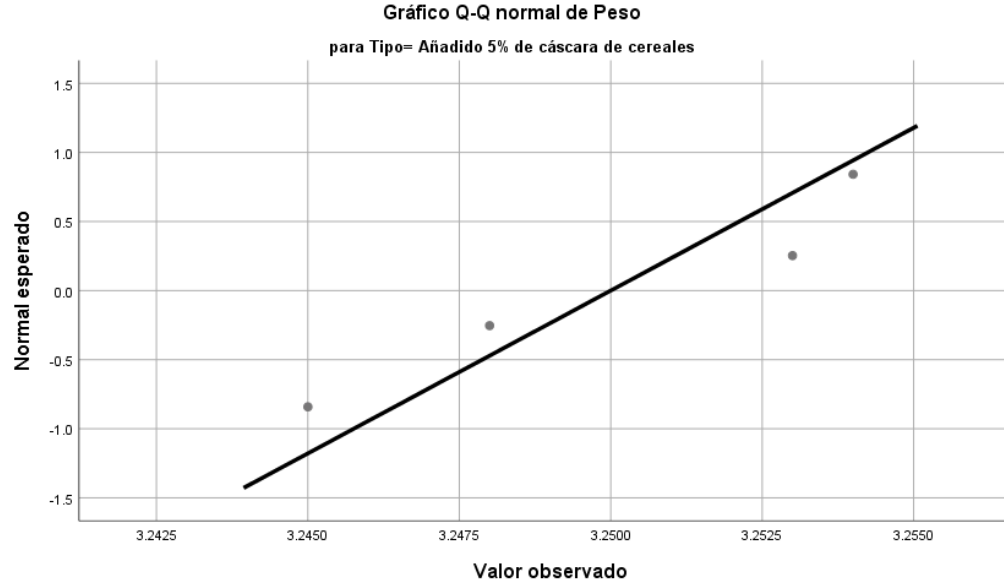


Figura 13: Gráfica Q-Q para el peso de cilindros de hormigón modificados con el 5% de cáscara de cereales

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Esta gráfica permite corroborar que los datos analizados del peso en la muestra de cilindros añadidos el 5% de cáscara de cereales, siguen una distribución normal, ya que están muy pegados a la línea de tendencia de la distribución.

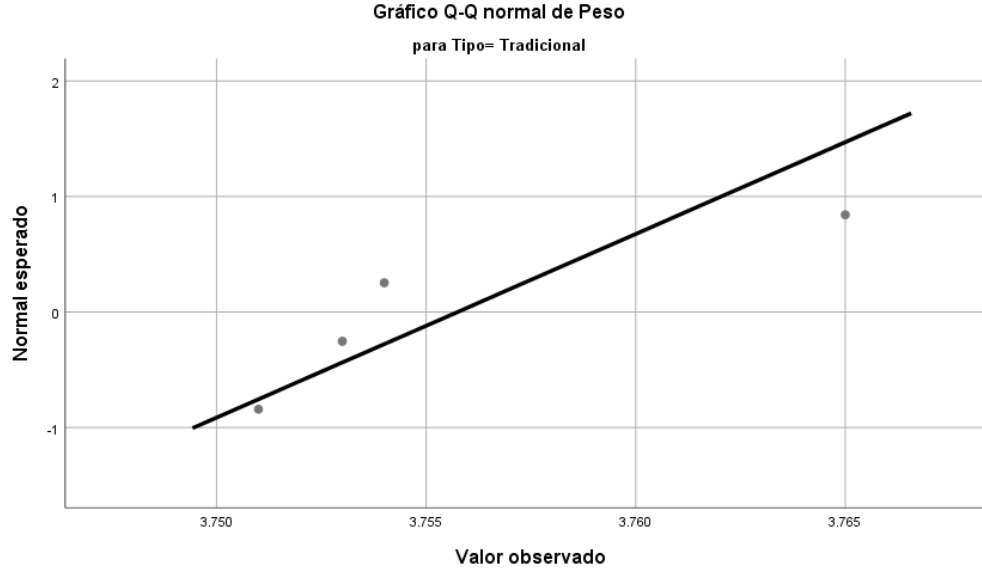


Figura 14: Gráfica Q-Q para el peso de cilindros de hormigón tradicional

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Esta gráfica permite corroborar que los datos analizados del peso en la muestra de cilindros tradicionales, siguen una distribución normal, ya que están muy juntos a la línea de tendencia de la distribución.

3.5.13.4. Prueba de hipótesis del peso en kg del 5% vs tradicional.

Tabla 40: Estadísticos descriptivos para los datos de peso

Estadísticas de grupo					
	Tipo de hormigón	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Peso	Añadido 5% de cáscara de cereales	4	3.25000	.004243	.002121
	Tradicional	4	3.75575	.006292	.003146

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Tabla 41: Prueba de igualdad de varianzas y t para las muestras de peso

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias				95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Peso	Se asumen varianzas iguales	.398	.552	-133.296	6	.000	-.505750	.003794	-.515034	-.496466
	No se asumen varianzas iguales			-133.296	5.261	.000	-.505750	.003794	-.515360	-.496140

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Con un valor de 0.552 mayor que el nivel de significancia de 0.05 se asume que las muestras presentan homogeneidad de varianzas. Además de que los datos fueron tomados en un orden aleatorio, por lo que se cumplen los 3 supuestos previos a la prueba de hipótesis.

Para la prueba de hipótesis del peso, se consideró:

H_0 : El promedio del peso del hormigón modificado con cáscaras de trigo y cebada es mayor o sin diferencia significativa que el promedio del peso del hormigón tradicional.

$$H_0: \mu_2 \geq \mu_1$$

H_1 : El promedio del peso del hormigón modificado con cáscaras de trigo y cebada es menor que el promedio del peso del hormigón tradicional.

$$H_1: \mu_2 < \mu_1$$

El valor marcado en verde indica un p-valor de 0.00, el cual es inferior al nivel de significancia de 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se entiende que estadísticamente hay diferencia entre el promedio del peso entre el hormigón tradicional y el modificado con 5% de cáscaras de trigo y cebada, es decir, el hormigón modificado es más liviano y se lograrán estructuras con cargas aligeradas con su aplicación.

3.5.14. Análisis de correlación

Este análisis permite medir la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables. La correlación de Pearson (conocida como r), es el método más común para medir la relación lineal entre dos variables continuas. Un valor menor que 0 indica que existe una correlación negativa, es decir, que las dos variables están asociadas en sentido inverso, un valor mayor que 0 indica que existe una correlación positiva y una correlación próxima a 0, indica que no hay relación lineal entre las dos variables (Minitab, 2022).

3.5.14.1. Análisis de correlación entre la resistencia del hormigón añadido el 5% de cáscara de cereales y el hormigón tradicional.

Tabla 42: Análisis de correlación de la resistencia del hormigón modificado y tradicional

		Correlaciones	
		Resistencia del hormigón añadido 5% de cáscara de cereales	Resistencia del hormigón tradicional
Resistencia del hormigón añadido 5% de cáscara de cereales	Correlación de Pearson	1	.972**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	16	16
Resistencia del hormigón tradicional	Correlación de Pearson	.972**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	16	16

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se ha obtenido un coeficiente de correlación de 0.972 en el análisis, lo cual indica una correlación positiva, es decir, las resistencias del hormigón modificado y del tradicional están asociadas en sentido directo. Además, se observa una fuerte relación, ya que es un valor cercano a 1, es decir, mientras la resistencia del hormigón modificado aumenta, la del tradicional también, es así que, fraguan de igual manera.

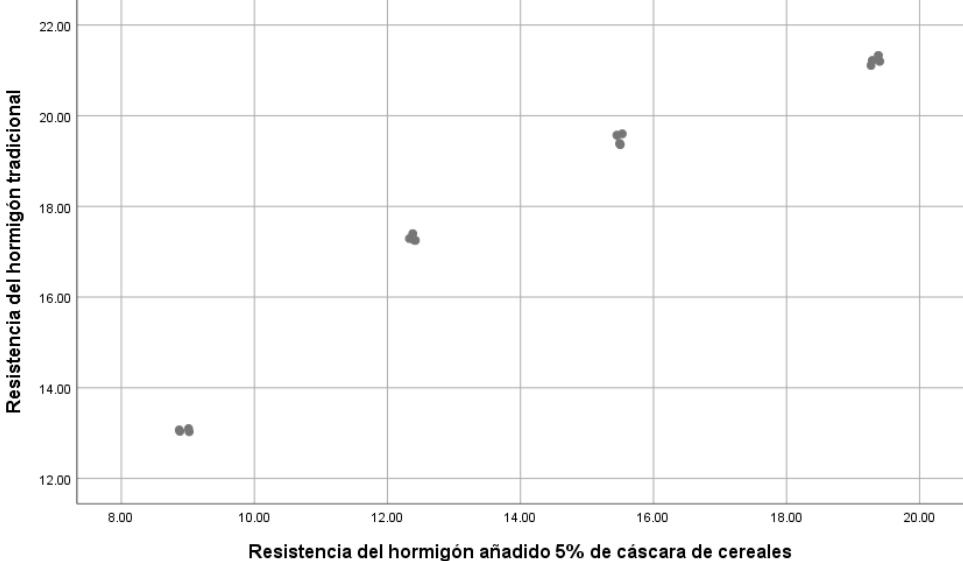


Figura 15: Gráfica de correlación entre la resistencia del hormigón modificado y tradicional

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En la figura anterior se observa que en los intervalos de tiempo estudiados (7, 14, 21 y 28 días), los valores de resistencia del hormigón tradicional y del modificado con cáscara de trigo y cebada están muy cercanos, lo que corrobora su alto grado de correlación lineal, es decir, crecen de igual manera.

Además, se analizó si existe un modelo que permita predecir los valores de resistencia del hormigón modificado y tradicional, de donde se obtuvo:

Tabla 43: Análisis de modelos de regresión para la resistencia del hormigón tradicional y modificado

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: Resistencia del hormigón añadido 5% de cáscara de cereales

Ecuación	R cuadrado	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro		
		F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	.945	241.159	1	14	.000	-7.679	1.223	
Cuadrático	.998	2835.519	2	13	.000	26.598	-2.957	.123

La variable independiente es Resistencia del hormigón tradicional.

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En la tabla anterior se tiene un valor del 0.998 para el modelo de regresión cuadrático, lo que indica que los valores de resistencia del hormigón modificado y tradicional se ajustan a este modelo matemático fuertemente, es decir, mediante su aplicación se podrá predecir qué resistencia se tendrá en el transcurso del tiempo de fraguado, sin necesidad de esperar el paso de los días con un 99.8% de efectividad, ya que se ha evidenciado que el hormigón modificado y tradicional aumentan en resistencia de igual manera.

El modelo a usarse es:

Ecuación 22: Modelo de regresión cuadrático para Resistencia del hormigón

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2$$

De la tabla anterior se obtienen los valores para las constantes, los cuales son $b_0 = 26.598$, $b_1 = -2.957$, $b_2 = 0.123$.



Figura 16: Ajuste de curvas para modelos de regresión para resistencia del hormigón

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

El gráfico anterior permite corroborar que los datos de Resistencia se ajustan al modelo cuadrático perfectamente.

3.5.14.2. Análisis de correlación entre el peso del hormigón añadido el 5% de cáscara de cereales y el hormigón tradicional.

Tabla 44: Análisis de correlación del peso del hormigón modificado y tradicional

		Correlaciones	
		Peso del hormigón añadido 5% de cáscara de cereales	Peso del hormigón tradicional
Peso del hormigón añadido 5% de cáscara de cereales	Correlación de Pearson	1	.699
	Sig. (bilateral)		.301
	N	4	4
Peso del hormigón tradicional	Correlación de Pearson	.699	1
	Sig. (bilateral)	.301	
	N	4	4

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se ha obtenido un valor de 0.699 en el análisis, lo cual indica una correlación positiva, es decir, los pesos del hormigón modificado y del tradicional están asociadas en sentido directo. Así también, se observa que relación moderada entre las dos variables, es decir, hay un 69% de explicación entre ambas variables, pero sí hay diferencias en el comportamiento del peso del hormigón tradicional y del modificado.

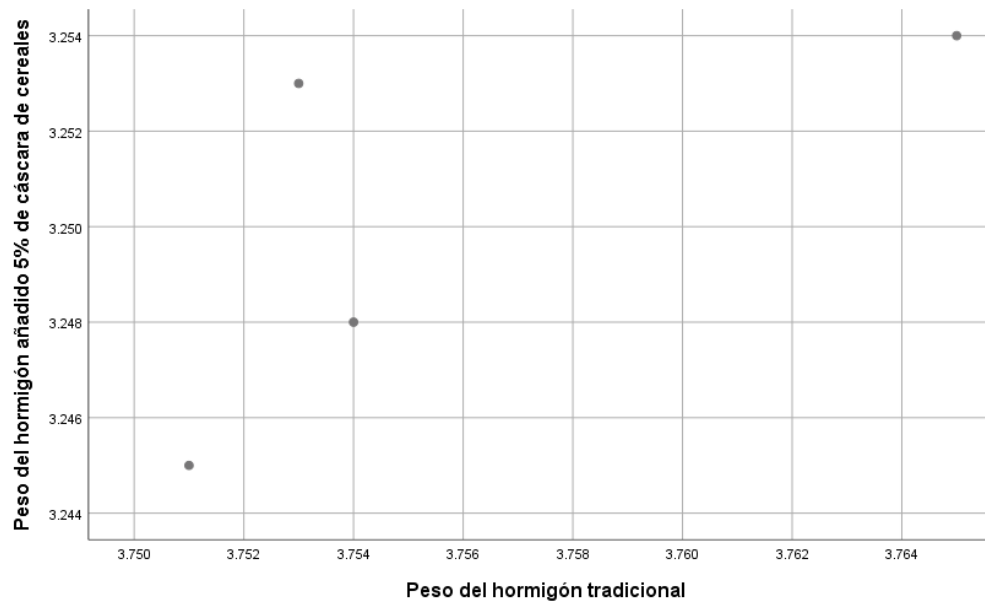


Figura 17: Gráfica de correlación entre el peso del hormigón modificado y tradicional

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

En la gráfica anterior se observa que la relación del peso del hormigón modificado y tradicional no es lineal, es por ello que se realizó un análisis estadístico para saber si existe un modelo que pueda predecir el peso del hormigón tradicional y modificado en el transcurso del tiempo, y se obtuvo:

Tabla 45: Análisis de modelos de regresión para el peso del hormigón tradicional y modificado

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: Peso del hormigón añadido 5% de cáscara de cereales

Ecuación	R cuadrado	Resumen del modelo				Estimaciones de parámetro			
		F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.489	1.914	1	2	.301	1.479	.472		
Cuadrático	.489	1.914	1	2	.301	1.479	.472	.000	
Cúbico	.489	1.914	1	2	.301	1.479	.472	.000	.000

La variable independiente es Peso del hormigón tradicional.

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Se observa que no existe un modelo matemático que explique el peso del hormigón en el transcurso del tiempo, ya que no se evidencia un fuerte ajuste de los datos hacia alguno.

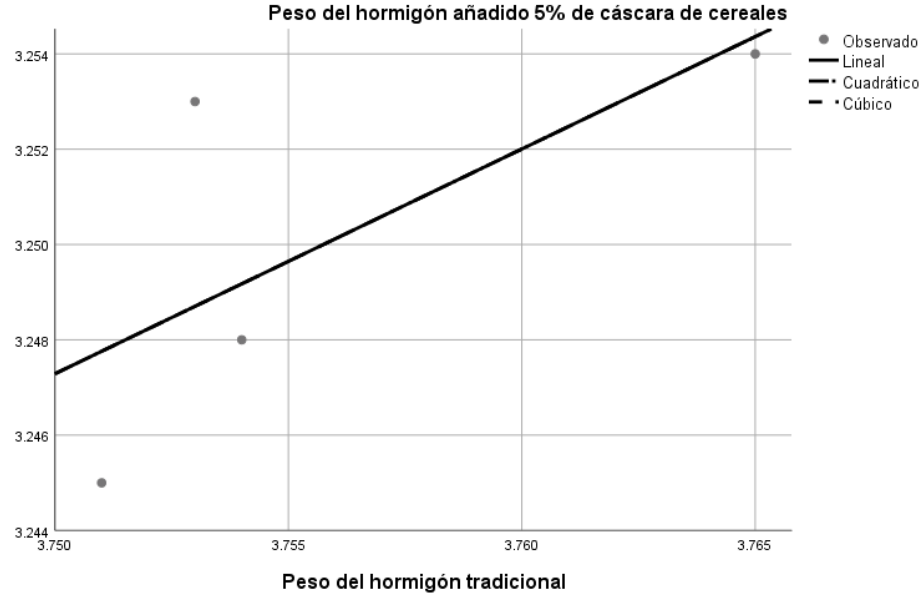


Figura 18: Ajuste de curvas para modelos de regresión para el peso del hormigón

Elaborado por: Cuadrado, D (2022)

Todos los modelos son estadísticamente iguales y no explican cómo se comportará el peso en el transcurso del tiempo de fraguado, es decir, todos los modelos brindarán valores predictivos no significativos. Sin embargo, se puede determinar que el peso del hormigón tradicional y del modificado si tienen correlación, pero no tan determinista.

CONCLUSIONES

Se determinó que el 5% fue el porcentaje óptimo para mejorar las características físicas del hormigón, ya que reduce su peso y tiene valores de resistencia a la compresión similares al tradicional y que cumplen con la normativa nacional.

Los valores de resistencia a la compresión y pesos obtenidos de los cilindros en estudio fueron sometidos a pruebas de normalidad, en donde se evidenció que siguen una distribución normal y las conclusiones obtenidas de las pruebas de hipótesis son válidas.

Las pruebas de hipótesis indicaron que no hay diferencia significativa entre los valores de resistencia a la compresión de los cilindros modificados con el 5% de cáscara de cereales y los tradicionales, es decir, se tendrán los mismos resultados en una edificación.

Las pruebas de hipótesis indicaron que hay diferencia significativa entre los valores del peso de los cilindros modificados con el 5% de cáscara de cereales y los tradicionales, es decir, los que tienen cáscara de trigo y cebada son más livianos.

Se analizaron valores de resistencia a la compresión en intervalos de tiempo de fraguado a los 7, 14, 21 y 28 días, lo que permitió conocer el comportamiento de los cilindros en estudio e identificar que en promedio hay una diferencia de 3.73 MPa entre la resistencia del hormigón tradicional y el modificado, lo cual no es estadísticamente significativo.

Los valores del peso de los cilindros fueron analizados a los 28 días de fraguado y se obtuvo una diferencia promedio de 0.506 kg, valor estadísticamente significativo y que indica que el hormigón modificado tiene menos peso que el tradicional.

El aprovechamiento de materias orgánicas mediante la construcción sostenible es una opción que debería ser más estudiada y aplicada en edificaciones a nivel mundial, por sus amplios beneficios.

RECOMENDACIONES

Cuando se añade cáscara de trigo y cebada al hormigón se aligera su peso, por lo que podría ser utilizado para la construcción de estructuras livianas como aceras, bordillos o canchas para deportes.

Se recomienda realizar y profundizar otras investigaciones sobre construcción sostenible, en donde además de edificar adecuadamente se usen materiales amigables con el ambiente y que reduzcan la contaminación ambiental.

Es recomendable que los materiales que se usen como aditivos del hormigón sean producto de reciclaje o aprovechamiento de recursos, lo que ayudará a reducir el desperdicio y la falta de aprovechamiento de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Lara, D. E. (2016). *Sustitución del cemento con cenizas provenientes de la incineración del hueso de la palma africana para la elaboración del hormigón*.
- Álvarez Monje, A. C. (2011). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa: Guía didáctica*. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ciencias sociales y humanas.
- Constitución de la República del Ecuador, Decreto Legislativo 0 1 (2008).
<https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>
- Basta, A., Abd El-sayed, E. S., & Fadl, N. (2002). Lignocellulosic materials in building elements. Part III. Recycled newsprint waste paper in manufacturing light-weight agro-gypsum panels. *Pigment and Resin Technology* , 31(3), 160–170.
<https://doi.org/10.1108/03699420210428523>
- Carrillo Flores, A. L. (2015). Población y Muestra. In *Material didáctico Solo Visión*.
<http://ri.uaemex.mx/oca/bitstream/20.500.11799/35134/1/secme-21544.pdf>
- Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14, IComentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318RS-14) 169 (2014).
[https://doi.org/10.1016/0360-3016\(84\)90476-0](https://doi.org/10.1016/0360-3016(84)90476-0)
- Coro Paillacho, M. E. (2014). Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera San Roque $f_c = 28$ MPa. [Universidad Central Del Ecuador]. In *Facultad de Ingeniería, Ciencias físicas y matemática*.
<https://repositorio.uce.edu.ec/archivos/neyazan/CodigoEtica/CodigoEtica2019.pdf>
%0Ahttp://repositorio.uce.edu.ec/archivos/sebonillaj/INFORMACION 2019-2020/PANEL PRINCIPAL/MANUALES DE PROCESOS/Sistema de para Proyectos de VinculaciÃ³n.pdf

- Donoso Lliquin, J. A. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento de agua para consumo humano de la red N°4 de la ciudad de Riobamba [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. In *Escuela De Ingeniería Química*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3107/1/96T00226.pdf>
- Gutiérrez De López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. In 2003. https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-03-04_01-58-1594299.pdf
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. In McGraw-Hill Companies Interamericana Editores S.A. (Ed.), *Turkish Journal of Medical Sciences* (Segunda ed, Vol. 46, Issue 5). <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2003). El proceso de investigación y los enfoques cuantitativo y cualitativo: hacia un modelo integral. In *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana.
- Holcim Ecuador S.A. (2021). *¿Qué es la Construcción Sostenible?* HOLCIM. <https://www.holcim.com.ec/desarrollo-sostenible/holcim-foundation-for-sustainable-construction/que-es-la-construccion-sostenible>
- INEN. (2022). *Servicio Ecuatoriano de Normalización | Ecuador - Guía Oficial de Trámites y Servicios*. Portal Único de Trámites Ciudadanos. <https://www.gob.ec/inen>
- NTE INEN 156:2009. Cemento hidráulico. Determinación de la densidad, Norma Técnica Ecuatoriana (2009).
- NTE INEN 856: 2010. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino, Norma Técnica Ecuatoriana 1 (2010). <https://doi.org/10.17226/18725>
- NTE INEN 857:2010. Áridos. Determinación de la Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso, 1 Norma Técnica Ecuatoriana 1 (2010). <http://apps.normalizacion.gob.ec>

- NTE INEN 858: 2010. Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos, 1 Norma Técnica Ecuatoriana 5 (2010).
<file:///C:/Users/braya/Desktop/858.pdf>
- NTE INEN 696: 2011. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso, 1 Norma Técnica Ecuatoriana 5 (2011).
- NTE INEN 1504: Cementos. Aditivos de Proceso. Requisitos y Métodos de Ensayo, 1 Norma Técnica Ecuatoriana 6 (2017).
- Lara Guerrero, E. J., Guerrero Cuasapaz, D. P., & Altamirano León, B. I. (2020). Influencia de las partículas de caucho en la resistencia a la compresión de bloques de concreto. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería de La Universidad de Zulia*, 43(3), 134–141.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/33751/pdf>
- Lema-Aguirre, A. C., Basantes-Morales, E. R., & Pantoja-Guamán, J. L. (2016). Producción de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con urea normal y polimerizada en Pintag, Quito, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 97.
<https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22705>
- NEC Estructuras de hormigón armado, Pub. L. No. 0028 (2014).
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormigón-Armado.pdf>
- Minitab. (2022). *Revisión general de Correlación*. Correlación.
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/correlation/before-you-start/overview/>
- Montenegro Montenegro, D. D. (2012). *El trigo en el Ecuador*. Universidad Técnica del Norte.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. In *Limusa Wiley* (2°). Editorial LIMUSA S.A de C.V.
https://www.academia.edu/9101936/Diseño_y_análisis_de_experimentos_Douglas

- Moreno, I., Ramírez, A., Plana, R., & Iglesias, L. (2001). El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(EL CULTIVO DEL TRIGO. ALGUNOS RESULTADOS DE SU PRODUCCIÓN EN CUBA Cultivos), 55.
- Niño Hernández, J. R. (2010). *Tecnología Del Concreto* (Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ed.); 3° Edición). <https://es.scribd.com/doc/234779446/Tecnologia-Del-Concreto-Tomo-1>
- Nistal Cordero, Á. F., Retana Maqueda, M. J., & Ruíz Abrio, T. (2012). El Hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia. *Tecnología y Desarrollo: Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, X, 1–18. <http://www.uax.es/publicacion/el-hormigon-historia-antecedentes-en-obras-y-factores-identificativos.pdf>
- Pérez - Pérez, A. L. (2016). El diseño de la vivienda de interés social. *Revista de Arquitectura, Universidad Católica de Colombia*. <https://doi.org/10.14718/RevAr>
- Ley Orgánica de Educación LOES, 106 Boletín Oficial del Estado 17158 (2018). <http://www.conocimiento.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Ley-Organica-de-Educacion-Superior-LOES.pdf>
- Ramos Galarza, C. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3). <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Ramos Gamiño, F. (2013). Maíz, trigo y arroz : los cereales que alimentan al mundo. In *La Ciencia a tu Alcance*. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/250128>
- Ricaurte Romero, M. V., & Hechavarría Hernández, J. R. (2017). La percepción del usuario sobre su vivienda y el entorno en programas de interés social en Durán, Ecuador. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 4(6), 1390–9320.
- Romero Quintero, A. F., & Hernández Rico, J. C. (2014). *Diseño de mezclas de hormigón*

por el método A.C.I. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión [Universidad Santo Tomás]. [https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno de mezclas de hormigon por el metodo a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Santos Alay, K. V., & Zúñiga Forgett, J. A. (2019). Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido. In *Facultad de Ingeniería, industria y construcción*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). Estadística Serie Schaum. In *Syria Studies* (4°, Vol. 7, Issue 1). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA Editores S.A. de C.V. https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625

Sweet, C. (2014). *La cebada, el grano con más fibra*. Directo Al Paladar. <https://www.directoalpaladar.com.mx/salud-y-nutricion/la-cebada-el-grano-con-mas-fibra>

Toirac Corral, J. (2009). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. *Ciencia y Sociedad*, 34(4), 463–504. <https://doi.org/10.22206/cys.2009.v34i4.pp463-504>

Torres, W. (2021). *El déficit de vivienda alcanza a 2,7 millones de unidades, según Miduvi*. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/miduvi-deficit-vivienda-ecuador/>

Trigos Antiguos. (2018). *Anatomía de un grano de trigo*. Trigos Antiguos. <http://albertbrunollach.com/es/grano-2/>

Universidad Laica Vicente de Guayaquil. (2017). *ULVR — Descripción de proyecto de investigación*. Unidad de Titulación. <https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/proyecto-de-investigacion#tomo1>

Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J., & Porras, M. (2013). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones. *Revista Científica: Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas*, 23(1).

ANEXOS

Anexo 1: Resultados de los ensayos con cilindros de hormigón tradicional

Anexo 1: Resultados de los ensayos con cilindros de hormigón tradicional

Resultados de los ensayos con cilindros de hormigón tradicional

Número de cilindro	Toma de muestra	Rotura de la probeta	Días de la probeta	Esfuerzo de compresión en(MPa)	Porcentaje resistencia vs tiempo	Porcentaje
1	20/05/2022	27/05/2022	7	13.13	45 - 60	62.52
2	20/05/2022	27/05/2022	7	13.17	45 - 60	62.71
3	20/05/2022	03/06/2022	14	17.46	60 - 80	83.14
4	20/05/2022	03/06/2022	14	17.60	60 - 80	83.81
5	20/05/2022	10/06/2022	21	19.56	75 - 95	93.14
6	20/05/2022	10/06/2022	21	19.77	75 - 95	94.14
7	20/05/2022	17/06/2022	28	21.40	100	101.90
8	20/05/2022	17/06/2022	28	21.31	100	101.48

Anexo 2: Resultados de los ensayos con cilindros + cereales al 5%

Anexo 2: Resultados de los ensayos con cilindros + cereales al 5%

Resultados de los ensayos con cilindros + cereales al 5%						
Número de cilindro	Toma de muestra	Rotura de la probeta	Días de la probeta	Esfuerzo de compresión en(MPa)	Porcentaje resistencia vs tiempo	Porcentaje
1	20/05/2022	27/05/2022	7	8.8	45 - 60	41.9
2	20/05/2022	27/05/2022	7	8.96	45 - 60	42.67
3	20/05/2022	03/06/2022	14	12.24	60 - 80	58.29
4	20/05/2022	03/06/2022	14	11.99	60 - 80	57.1
5	20/05/2022	10/06/2022	21	15.36	80 - 95	73.14
6	20/05/2022	10/06/2022	21	15.32	80 - 95	72.95
7	20/05/2022	17/06/2022	28	18.98	100	90.38
8	20/05/2022	17/06/2022	28	19.28	100	91.81

Anexo fotográfico



Ilustración 4: Tamices de acuerdo con la norma ASTM C-696



Ilustración 5: Probetas de hormigón NTE INEN 1576



Ilustración 6: Asentamiento cono de Abrams NTE INEN 1578



Ilustración 7: Determinación de la resistencia a compresión NTE INEN 1573 ASTM C – 39



Ilustración 8: Resultados de ensayos a compresión norma AST C39



Ilustración 9: Dosificación con el 5% de cáscara de cereales



Ilustración 10: Dosificación con el 10% de cáscara de cereales



Ilustración 11: Dosificación con el 15% de cáscara de cereales



Ilustración 12: Hormigón mezclado con cáscara de trigo y cebada



Ilustración 13: Pesaje de cilindros modificados y tradicionales