



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI”

AUTOR: William Alejandro Rodríguez Auquillas

TUTOR: Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún

AMBATO – ECUADOR

Julio - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: “**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI**”, elaborado por el Sr. **William Alejandro Rodríguez Auquillas**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 160062576-6, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Julio 2022

Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **William Alejandro Rodríguez Auquillas** con C.I. 1600625766, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI”**, así como: gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo

Ambato, Julio 2022



.....
William Alejandro Rodríguez Auquillas

C.I. 1600625766

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Julio 2022



.....
William Alejandro Rodríguez Auquillas

C.I. 1600625766

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante William Alejandro Rodríguez Auquillas de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI”**,

Ambato, Julio 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano
Miembro Calificador

Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A mis padres Wilian y María por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente a alcanzar mi anhelo.

Gracias por confiar en mí.

William Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia por alentarme en cada decisión, por ser mi fuerza, por confiar en mí y guiarme por el buen camino.

Al profesional que me guío como tutor durante el proceso del presente trabajo experimental, Ing. Favio Portilla a quien admiro por ser un profesional de principios y valores.

A todos los integrantes de los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil por la ayuda brindada en la ejecución del estudio.

Y a todos quienes me han hecho bien y mal, por ellos he crecido como ser humano.

Gracias

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación	3
1.1.3 Fundamentación científico-técnica	4
1.1.4 Hipótesis	29
1.2 OBJETIVOS	29
1.2.1 Objetivo general:.....	29
1.2.2 Objetivos específicos:	29
CAPÍTULO II.....	30
2.1 MATERIALES	30
2.1.1 Cemento fuerte tipo GU.....	30
2.1.2 Agregado Grueso	30
2.1.3 Agregado fino	31
2.1.4 Agua (H ₂ O).....	31
2.1.5 Gasolina extra	31
2.2 EQUIPOS.....	31
2.2.1 Picnómetro	31
2.2.2 Baño María.....	32
2.2.3 Tanque de curado	32
2.2.4 Máquina de compresión	33
2.2.5 Equipo utilizado en la dosificación y elaboración de probetas de hormigón.....	34
2.2.6 Python	34
2.2.7 IDLE Python (Integrated Development and Learning Environment).....	35
2.2.8 QT Designer	35
2.3 MÉTODO	36

2.3.1 Densidad real del cemento (NTE INEN 156)	36
2.3.2 Densidad real de la arena (NTE INEN 856)	38
2.3.3 Capacidad de absorción de la arena (NTE INEN 856)	40
2.3.4 Densidad real del ripio (NTE INEN 857)	41
2.3.5 Capacidad de absorción del ripio (NTE INEN 857)	43
2.3.6 Densidad aparente suelta de la arena (NTE INEN 858).....	44
2.3.7 Densidad aparente suelta del ripio (NTE INEN 858)	44
2.3.8 Densidad aparente compactada del ripio.....	45
2.3.9 Módulo de finura de la arena (NTE INEN 872-NTE INEN 696).....	46
2.3.10 Tamaño nominal máximo (NTE INEN 696)	46
2.3.11 Contenido de humedad del agregado grueso (NTE INEN 862).....	47
2.3.12 Contenido de humedad del agregado fino (NTE INEN 862).....	47
2.3.13 Elaboración de probetas de hormigón (NTE INEN 1576).....	47
2.3.14 Dosificación por el método ACI 211.1	48
2.3.15 Metodología de programación	55
CAPÍTULO III.....	58
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	58
3.1.1 Granulometría del agregado grueso	59
3.1.2 Granulometría del agregado fino	61
3.1.3 Contenido de humedad de los áridos	63
3.1.4 Densidad real del cemento	64
3.1.4 Densidad real de la arena y capacidad de absorción de la arena.....	65
3.1.5 Densidad real y capacidad de absorción del ripio	67
3.1.6 Densidad aparente suelta del agregado fino y grueso	69
3.1.7 Densidad aparente compactada del agregado grueso	69
3.1.8 Interfaz del programa.....	71
3.1.9 Dosificaciones para las probetas de hormigón.....	91
3.1.10 Ensayos a compresión.....	92
3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	101
CAPITULO IV.....	102
4.1 CONCLUSIONES	102
4.2 RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	106
A1. REPORTE DE DOSIFICACIONES OBTENIDOS DEL PROGRAMA EN PDF	114
A2. FOTOGRAFÍAS	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interior del Panteón de Agripa (izq.). Sección transversal del Panteón (dcha.) [7].....	1
Figura 2. Ripio(izq.) y arena (der.)	7
Figura 3. Diagrama de flujo para dosificación del concreto [27]	10
Figura 4. Prueba de asentamiento	11
Figura 5. Molde para la prueba de asentamiento [29].....	12
Figura 6. Formas que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento [28].....	12
Figura 7. Ensayo para determinar el TNM del ripio	14
Figura 8. Muestras de ripio sacadas del horno	17
Figura 9. Secado de la arena hasta obtener el estado SSS	17
Figura 10. Página de web [41].	19
Figura 11. Interfaz de Qt Designer [43].....	20
Figura 12. Ensayo de densidad real del cemento	21
Figura 13. Ensayo de densidad real de la arena	22
Figura 14. Ensayo de densidad real del ripio	22
Figura 15. Pesado del recipiente más arena	23
Figura 16. Enrazado del agregado grueso	23
Figura 17. Compactación del ripio.....	24
Figura 18. Juego de tamices redondos	25
Figura 19. Estado de saturación de los agregados [55].....	26
Figura 20. Juego de tamices (2”, 1½”, 1”, ¾”, ⅜”, ½”, #4)	27
Figura 21. Ensayo a compresión de una probeta de hormigón	28
Figura 22. Gasolina Extra	31
Figura 23. Picnómetro	32
Figura 24. Tanque de curado.....	33
Figura 25. Máquina de compresión SHIMADZU CONCRETO 2000X	33
Figura 26. Logo de Python [41].	34
Figura 27. IDLE Python versión 3.9.7	35
Figura 28. Interfaz Gráfica de Qt Designer.....	35
Figura 29. Librerías utilizadas.....	55
Figura 30. Qt Designer – Widgets	55
Figura 31. Creación de una clase	56
Figura 32. Creación de una función	56
Figura 33. Ventana de Tkinter	56
Figura 34. Programación del gráfico.....	57
Figura 35. Archivos generados por el programa.....	57
Figura 36. Interfaz de ingreso al programa	71
Figura 37. Interfaz del programa.....	71
Figura 38. Ingreso de datos de generalidades de diseño	72
Figura 39. Ingreso de datos del agregado fino	72
Figura 40. Ingreso de datos del agregado grueso.....	73
Figura 41. Resultados del programa	73
Figura 42. Gráfico de edad vs resistencia	74

Figura 43. Capturas de pantalla del reporte generado.....	90
Figura 44. Tablas de diseño utilizadas en el proceso de cálculo.....	91
Figura 45. Ensayo granulométrico del agregado fino	126
Figura 46. Ensayo granulométrico del agregado grueso	126
Figura 47. Ensayo de densidad aparente suelta del agregado fino.....	126
Figura 48. Ensayo de densidad aparente suelta del agregado grueso	126
Figura 49. Ensayo de densidad aparente compactada del agregado grueso.....	127
Figura 50. Ensayo de densidad real del agregado grueso	127
Figura 51. Ensayo de densidad real del cemento	127
Figura 52. Ensayo de densidad real del agregado fino.....	127
Figura 53. Ensayo de asentamiento del hormigón	128
Figura 54. Elaboración de las probetas de hormigón.....	128
Figura 55. Probetas de hormigón elaboradas	128
Figura 56. Probetas de hormigón en proceso de curado	128
Figura 57. Secado de las probetas de hormigón.....	129
Figura 58. Colocación de las placas de neopreno a la probeta de hormigón	129
Figura 59. Ensayo de compresión	129
Figura 60. Probetas ensayadas a compresión.....	129
Figura 61. Ingreso de datos y obtención de resultados para 210 kg/cm ² en el programa	130
Figura 62. Ingreso de datos y obtención de resultados para 240 kg/cm ² en el programa	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la consistencia según el asentamiento medido con el cono de Abrams [30].....	13
Tabla 2. Requisitos físicos del cemento tipo GU [59], [60].....	30
Tabla 3. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos [27].	49
Tabla 4. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra [27].	49
Tabla 5. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra [27].	49
Tabla 6. Descensos recomendados para diversos tipos de construcciones [58].	50
Tabla 7. Requerimiento de agua y aire atrapado en el hormigón [58].....	51
Tabla 8. Relación agua-cemento con relación a la resistencia [58].	51
Tabla 9. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón [58]....	52
Tabla 10. Granulometría del agregado grueso	59
Tabla 11. Granulometría del agregado fino	61
Tabla 12. Contenido de humedad de los áridos	63
Tabla 13. Densidad real del cemento	64
Tabla 14. Densidad real de la arena y capacidad de absorción de la arena.....	65
Tabla 15. Densidad real y capacidad de absorción del ripio.....	67
Tabla 16. Densidad aparente suelta del agregado fino y grueso	69
Tabla 17. Densidad aparente compactada del agregado grueso.....	69
Tabla 18. Resultados de los ensayos para las dosificaciones.....	91
Tabla 19. Dosificación para $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$	92
Tabla 20. Dosificación para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	92
Tabla 21. Dosificación para $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	92
Tabla 22. Resistencias más comunes del hormigón.....	94
Tabla 23. Resistencia a compresión del $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$	95
Tabla 24. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$	96
Tabla 25. Resistencia a compresión del $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	97
Tabla 26. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	98
Tabla 27. Resistencia a compresión del $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	99
Tabla 28. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	100

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Edad vs Resistencia Relativa a la Compresión del Hormigón.....	93
Gráfico 2. Resistencia a la compresión ($f_c = 180 \text{ kg/cm}^2$).....	96
Gráfico 3. Resistencia a la compresión ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$).....	98
Gráfico 4. Resistencia a la compresión ($f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$).....	100

RESUMEN

En este trabajo experimental se llevó a cabo la codificación y la creación de una interfaz gráfica de un software en Python, para dosificaciones de hormigón, aplicando el método ACI. El software permite obtener de manera rápida dosificaciones al ingresar datos de las propiedades físicas del cemento, agregado fino, agregado grueso y generalidades de diseño. Mediante ensayos de laboratorio se determinaron las propiedades físicas de estos materiales como: densidades, módulo de finura, granulometría, capacidad de absorción y contenido de humedad.

La construcción del software se realizó mediante el análisis de las especificaciones ACI 211.1 y ACI 318-11, que especifican las operaciones a seguir para la dosificación del hormigón. Una vez establecidos los métodos de cálculo, se desarrolló el código de programación del software y la interfaz gráfica.

Para la verificación de la correcta ejecución del software, se ingresaron en el programa los valores obtenidos de las distintas propiedades de los materiales y se generaron dosificaciones para resistencias a la compresión de 180, 210 y 240 kilogramos sobre centímetros cuadrados.

Con las proporciones de materiales obtenidas en el programa, se elaboraron 9 probetas para cada resistencia de diseño, dando un total de 27 especímenes que fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días. Luego de determinar las resistencias a compresión a los 28 días, se obtuvieron resistencias de 187, 215.67 y 244.33 kilogramos sobre centímetros cuadrados, concluyendo que las cantidades para cada dosificación obtenidas del programa son veraces y este puede ser utilizado para la dosificación de hormigones.

Palabras clave: Mezclas de hormigón, Dosificación de hormigón, ACI, Python, Resistencia a compresión.

ABSTRACT

In this experimental work, it was performed the coding and creation of a graphical interface of a software in Python, for concrete mixtures proportioning, applying the ACI method. The software allows you to quickly obtain dosages by entering physical properties data of cement, fine aggregate, coarse aggregate and design generalities. Through laboratory tests were determined the physical properties of these materials such as: density, fineness modulus, granulometry, absorption capacity and moisture content.

The software construction, it was made through the analysis of ACI 211.1 and ACI 318-11 standards, that specify the operations to follow for the concrete mixtures proportioning. Once the calculation methods were established, it was developed the software programming code and the creation of the graphical interface.

In order to verify the correct execution of the software, the values obtained of the materials properties were entered in the program, and concrete proportions were generated for compression resistances of 180, 210 and 240 kilograms over square centimeters.

With the materials proportions obtained in the program, 9 test samples were made for each design resistance, giving a total of 27 specimens that were tested at 7, 14 and 28 days. After determining compression resistances at 28 days, the following results were obtained: 187, 215.67 and 244.33 kilograms over square centimeters, by concluding that the amounts obtained of each proportioning from the program are truthful and this one can be used for concrete mixtures proportioning.

Keywords: Concrete mixtures, ACI, proportioning, Python, compression resistance.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1 Antecedentes

El hormigón es una piedra artificial cuyo antecesor es el opus caementicium u hormigón romano el cual estaba conformado de piedra triturada y un aglomerante de cal o de cal y puzolana [5]. En el Imperio Romano el uso del hormigón como un material constructivo en las infraestructuras de pequeñas y grandes dimensiones alcanzo un gran nivel de satisfacción [6].

Los romanos llegaron a comprender que, si se agregaba la tierra volcánica de la región de Pozzuoli, en las laderas del Vesubio, en adecuadas proporciones con la arena, piedras y cal, se conseguía una mezcla que se endurecía incluso bajo el agua y se obtenían características hidráulicas en el producto elaborado, pudiéndose utilizar en la construcción de embalses, estructuras portuarias, cimentaciones en regiones húmedas y revestimiento de obras hidráulicas. La excelente calidad de la mezcla se evidencia en el hecho de que más de dos mil años después algunas de sus construcciones siguen en pie, por ejemplo, el Panteón de Agripa el cual se puede observar en la Figura 1 [7].

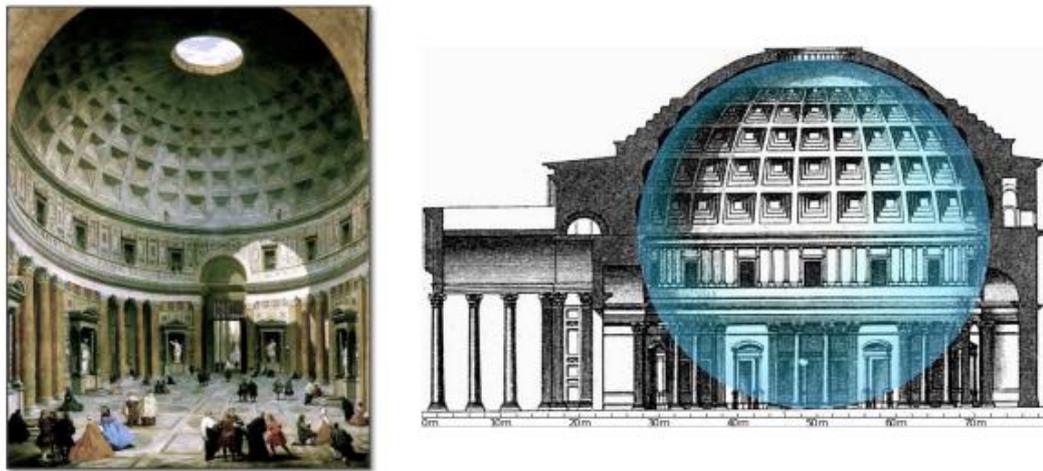


Figura 1. Interior del Panteón de Agripa (izq.). Sección transversal del Panteón (dcha.) [7].

En el año de 1824 James Parker y Joseph Aspdin patentaron un nuevo tipo de cemento hidráulico artificial, creado a partir de la combustión conjunta de piedra caliza y carbón, al que se llamó cemento Portland por su color oscuro, similar a la roca de la isla de Portland. Al principio, el material no se utilizaba mucho, debido al complejo proceso de fabricación que lo encarecía [8] .

En el año de 1904 se crea la ACI (American Concrete Institute), la cual es una organización mundial líder en el manejo y uso del hormigón, brinda educación técnica y no tiene fines de lucro [9]. En 1991, el ACI publicó las directrices para el diseño de mezclas de hormigón normal, pesado y en masa. En la Norma ACI 211.1 “Práctica recomendada para seleccionar la proporción de hormigón”, se describe el método de volumen absoluto para el diseño de mezclas [10].

El hormigón es actualmente uno de los materiales de construcción más utilizado en el mundo, por lo que este debe contar con una calidad que permita que las estructuras sean capaces de soportar las cargas para la cuales fueron diseñadas. No obstante, la fabricación y aplicación del hormigón no es la apropiada debido a que en muchos casos su elaboración es de forma empírica, sin tener el conocimiento de las técnicas de elaboración ni de las propiedades de los materiales [11].

Vázquez detalla que el método ACI es el que más se aproxima a las resistencias especificadas al comparar este método con otros como los métodos de: Fuller, Walker y el del Módulo de Fineza de la Combinación de agregados. Se utilizó cemento Portland tipo I para obtener un hormigón normal, el cual no estaría expuesto a sulfatos ni a cambios climáticos bruscos. Los agregados fueron sometidos a ensayos de granulometría, densidad, absorción, peso volumétrico suelto y compactado. Se elaboraron 20 probetas que fueron ensayadas a los 28 días de edad, al realizar el ensayo de compresión a los especímenes se obtuvo un valor promedio de 282.95 kg/cm², siendo este valor el más cercano a la resistencia necesitada [11].

Okoloekwe y Okafor desarrollaron un programa informático que es capaz de reproducir cualquier resistencia esperada del hormigón dentro de un rango específico de contenido de cemento. Además, dicho modelo se puede utilizar para generar datos sobre las proporciones de la mezcla y su correspondiente resistencia a la compresión, proporcionando así información útil para el diseño de mezcla de uso general, seguro y listo para usar. Para esto se utilizó una base de datos, para calcular varias

proporciones de mezcla y su correspondiente resistencia a la compresión con diferentes contenidos de cemento y diferentes relaciones de agua / cemento [12].

Pérez en su investigación desarrollo una aplicación móvil para celulares que cuenten con el sistema operativo Android. Esta aplicación es útil para realizar cálculos para la dosificación de hormigón basado en el método volumétrico, el cual se basa en sumar los volúmenes absolutos de los materiales que conforman 1 m³ de hormigón. La aplicación móvil en si es una herramienta que detalla las cantidades que se necesitan para realizar la mezcla de hormigón. Se utilizó Android Studio para su desarrollo y lenguajes de programación como Java y XML. [13].

Onwuka y colaboradores [14] en su estudio se enfocaron en el desarrollo de programas informáticos (código en VISUAL BASIC) basados en teorías de regresión SIMPLEX. Un método que resuelve problemas de programación lineal y modificada para el diseño de mezclas de hormigón. Los programas de computadora que se desarrollaron pueden predecir todas las combinaciones posibles de proporciones de mezcla de concreto si se le da una resistencia a la compresión deseada del hormigón. A la inversa, pueden predecir la resistencia a la compresión del hormigón si se especifica la proporción de la mezcla y el valor óptimo. Lo que se concluyó en este estudio es que los programas que se elaboraron producen resultados rápidos y precisos, por lo que los valores obtenidos de los programas coincidieron con los resultados experimentales.

1.1.2 Justificación

Los materiales componentes de la mezcla de hormigón poseen gran influencia en la durabilidad de las estructuras. De esta manera, se precisa un conocimiento profundo de las propiedades de los aglomerantes, áridos, agua, aditivos y adiciones, fundamentalmente cuando se requieren criterios de diseño sismorresistente [1].

Santamaría et al [2], en su artículo indica que es necesario señalar que no existe una receta o valores prestablecidos para fabricar hormigones de una resistencia a la compresión especificada. Todos los métodos de diseño de mezclas requieren que se realicen ensayos estándares de resistencia a la compresión a 28 días para verificarlos previo a su uso en la obra. Solamente de esta forma se podrá asegurar que las proporciones de agua, cemento, arena y ripio establecidas para un determinado

diseño de mezcla produzca un hormigón con resistencia real acorde a los requerimientos del proyecto.

En un artículo realizado por Zanwar [3], indica que ambos métodos, DOE y ACI 211.4R-08, se basan en la relación empírica y se derivan de experimentos extensos realizados en cada uno de los países con materiales disponibles localmente, lo que implica que ambos métodos utilizan tablas y gráficos durante el proceso de diseño y siguen una determinación lógica de los ingredientes, mediante el establecimiento de la resistencia del hormigón estructural y el análisis estadístico para garantizar que el diseño de la mezcla cumpla o supere la resistencia de diseño, a lo que se relaciona con las estadísticas del control de calidad.

Un programa de computadora para el diseño de mezclas de hormigón fue realizado por Ghaly et al [4], desarrollaron un algoritmo que contiene virtualmente todos los pasos utilizados en el American Concrete Institute (ACI) para el diseño de mezclas, por lo cual valiéndose de este software se puede obtener de manera rápida información útil para fines generales de diseño de mezclas.

El presente proyecto pretende el desarrollo de un programa en Python que contribuya a optimizar los cálculos para la dosificación del hormigón (Método ACI), de acuerdo con la resistencia especificada.

1.1.3 Fundamentación científico-técnica

1.1.3.1 Cemento

El cemento es una mezcla homogénea formado de caliza y arcilla calcinadas y luego trituradas, es un material conglomerante que reacciona con el agua, fragua y se endurece cuando se expone al aire o bajo el agua, entre sus funciones están ser un material conglomerante y aportar resistencia. [15], [16].

El componente más activo del hormigón es el cemento y suele tener un precio unitario más alto, por tanto y dado que las propiedades del hormigón dependen tanto de la cantidad como de la calidad de sus componentes, la correcta selección y el uso adecuado del cemento es fundamental para conseguir en forma económica las propiedades deseadas para una mezcla dada [17].

1.1.3.1.1 Cemento Portland

En el año de 1824 Joseph Aspdin invento el denominado cemento Portland, su nombre se debe a la semejanza de este con las rocas que se encuentran en la isla de Portland. El proceso para su elaboración es el siguiente:

1. **Obtención y preparación de la materia prima:** Se extrae las calizas y pizarras empleando explosivos en las canteras para obtener los materiales más blandos como lo son las arcillas y las margas.
2. **Trituración:** Se tritura el material hasta obtener una granulometría adecuada para el producto de molienda y este se transporta mediante el uso de cintas transportadoras o camiones que las llevan para su almacenamiento en una zona de prehomogeneización.
3. **Prehomogeneización:** Este proceso permite que la dosificación se lleve de manera óptima al hacer que el material triturado se almacene en capas, de esta manera se evita que los componentes varíen en sus proporciones.
4. **Molienda en crudo:** Los materiales son molidos para que su tamaño se reduzca y mejorar el proceso de cocción en el horno.
5. **Precalentador de ciclones:** Sirve para alimentar el horno y calentar la materia prima, con esto se facilita la cocción.
6. **Fabricación del clínker – Horno:** Dentro del horno las temperaturas alcanzan los 1500 °C, produciendo reacciones químicas a medida que la harina va adentrándose en el horno, con lo cual se origina el clínker.
7. **Fabricación del clínker – Enfriador:** Al salir del horno el clínker se somete a aire frío para reducir las temperaturas hasta los 100 °C.
8. **Molienda del clínker y fabricación de cemento:** Se añade yeso y adiciones dentro del molino de cemento.
9. **Almacenamiento del cemento:** Se almacena en silos.
10. **Envasado:** EL cemento se ensaca y se descarga en camiones para su distribución [18].

1.1.3.1.1 Tipos de cemento Portland

La norma NTE INEN 152 enumera 5 tipos:

- **Tipo I:** Para usarse en hormigones normales que no estarán sometidos a sulfatos.
 - **Tipo IA:** Cemento tipo I con incorporador de aire.

- **Tipo II:** Cemento de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.
- **Tipo III:** Cementos de alta resistencia inicial o temprana, son de fraguado rápido.
 - **Tipo IIIA:** Cemento tipo III más incorporador de aire.
- **Tipo IV:** Cemento útil cuando se desea un bajo calor de hidratación, son cementos de fraguado lento.
- **Tipo V:** Cemento de alta resistencia a los sulfatos [19]

1.1.3.2 Agregados

Los agregados son los áridos que se originan de la desintegración natural o de la trituración de las rocas, estos también pueden ser de origen artificial [16]. Son materiales pétreos naturales, granulares sin forma ni volumen definidos, que por lo general son inertes. Por su tamaño los agregados se clasifican en finos y gruesos, determinado por el tamaño de mayor predominio usando como referencia un tamiz como límite. Se denomina agregado grueso o grava al material mayor a 5mm y que es retenido por el tamiz # 4. Arena o agregado fino, a la parte del agregado menor a 5mm que pasa por el tamiz 3/8'' y es retenido por el tamiz #200 [17].

Algunas de las funciones que cumplen los agregados son: proporcionar un relleno económico (para el material aglutinante), brindar resistencia a la acción de cargas, a la abrasión, a la penetración de humedad, a los efectos del clima y reducir los cambios de volumen, los cuales se originan por el cambio de humedad. La forma y la textura de la superficie de las partículas individuales de cualquier clase de agregado tienen una influencia importante en la trabajabilidad del hormigón en su estado fresco y en otras propiedades físicas en estado seco.

El empleo de diferentes tipos de agregados finos puede provocar variaciones en el asentamiento de la mezcla del hormigón, por ejemplo, las arenas que son angulares darán un menor asentamiento que una mezcla realizada con agregados finos redondeados y lisos. Lo cual puede ocasionar la necesidad de hacer un cambio en la relación agua/cemento.

La forma y la textura del agregado grueso también influye en la relación agua/cemento, pero la resistencia se ve afectada en mayor medida por la relación adherencia agregado/pasta de cemento. Por lo cual existe un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto.

Si la cantidad de agregado grueso es demasiada, se producirá el fenómeno de segregación. Los agregados finos deben dosificarse de forma que permitan una buena trabajabilidad y cohesión a la mezcla [20].



Figura 2. Ripio(izq.) y arena (der.)

1.1.3.3 Agua

El agua es uno de los componentes más importantes en las mezclas de hormigón endurecido. La calidad de esta es un factor que no se puede ignorar ya que puede afectar a la resistencia del hormigón y a los materiales empleados en la construcción [21].

El término "calidad del agua" se utiliza para definir las características químicas, que se emplea como estándar para calibrar la aceptabilidad de un agua cualquiera. Como medida ambiental y para hacer frente a la escasez de agua potable en algunos países, existe una tendencia a sustituir el agua potable para fabricar el hormigón con fuentes residuales como agua residual depurada, agua de fuentes subterráneas o agua tratada de minería, entre otros tipos de aguas [22].

1.1.3.4 Aditivos

Los aditivos son ingredientes que se agregan a la mezcla del hormigón antes o durante el mezclado de los materiales. El hormigón debe ser manejable, de acabado fuerte, durable y resistente al desgaste, estas cualidades se las puede alcanzar de manera fácil y económica con la correcta selección de los materiales y la incorporación de aditivos. Las principales razones para utilizar aditivos son:

- 1.Reducir costos de la construcción de hormigón.
- 2.Conseguir ciertas propiedades en el hormigón de manera más efectiva que otras
- 3.Mantener la calidad del hormigón durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima desfavorable.

A pesar de estas consideraciones, debe tenerse en cuenta que ningún aditivo en ninguna forma o concentración puede considerarse un sustituto de las buenas prácticas de construcción [23].

1.1.3.5 Diseño de mezclas de hormigón

El objetivo de los métodos de dosificación de hormigones es encontrar las proporciones en que se deben mezclar los diferentes materiales para obtener mezclas que tengan determinadas características de compacidad, consistencia, durabilidad, etc.

No existe un método único de dosificación, sino que dependiendo de las condiciones que deba cumplir el hormigón, el diseñador podrá elegir entre una serie de métodos existentes. Los resultados que se obtengan con el método serán buenos si este se ha escogido adecuadamente y se realicen las correcciones pertinentes mediante pruebas [24].

El diseño de mezclas busca establecer las proporciones de cada uno de los componentes del hormigón, en la actualidad existen diversos métodos tanto convencionales como no convencionales. La mayoría de los métodos convencionales son basados en la experiencia personal adquirida y el uso de tablas empíricas.

Por ejemplo, el método de diseño de mezclas del American Concrete Institute (ACI), está basado en el uso de tablas desarrolladas empíricamente que permiten determinar la dosificación del hormigón para una determinada resistencia [2].

1.1.3.6 Tipos de métodos de dosificación del hormigón

Generalmente las dosificaciones se basan en los siguientes tres tipos:

- Dosificación del hormigón según la mezcla de sus componentes en volumen, y en función de la riqueza de cemento que se necesite por m³.
- Dosificación por el peso de sus componentes, partiendo de una cantidad fijada de cemento por m³.
- Dosificación en razón a las resistencias requeridas del hormigón a los 7, 14 ó 28 días (edad del hormigón) [24].

1.1.3.7 Método ACI

Este procedimiento de diseño de mezclas fue elaborado por el comité 211 del ACI, el cual, usando algunas tablas elaboradas a través de ensayos a los agregados, permite tener valores de los materiales que componen un metro cubico de hormigón. Es habitual que las características de la obra creen restricciones a la persona que tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla, entre dichas limitaciones pueden estar:

- Relación agua cemento.
- Contenido de cemento.
- Contenido máximo de aire.
- Asentamiento.
- Tamaño máximo del agregado grueso.
- Resistencia en compresión mínima
- Requisitos especiales relacionados con la resistencia promedio, el empleo de aditivos o la utilización de tipos especiales de cemento [25].

ACI sugiere procesos de diseño de mezcla de concreto que se basan en los siguientes principios:

1. La trabajabilidad de la mezcla depende del contenido de agua y del tamaño máximo de los áridos.
2. La relación agua-cemento (relación a / c) depende únicamente de la resistencia del diseño con una restricción desde el punto de vista de la durabilidad. La relación a / c es inversamente proporcional a la resistencia del diseño.

3. El volumen aparente de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende del tamaño máximo del agregado grueso y de la clasificación del agregado fino, expresado como el módulo de finura [26].

Algunas de las consideraciones que se deben tomar en cuenta en la dosificación del hormigón se dan en el ACI 318, como la utilización de una desviación estándar en caso de contar con datos de ensayos anteriores. En el caso de no contar con estos datos se presenta una tabla que da un factor que se debe añadir a la resistencia especificada para que la resistencia del hormigón se aproxime a la resistencia esperada.

En el siguiente esquema se detalla los pasos que considera la norma ACI 318-11 para la elaboración de hormigón.

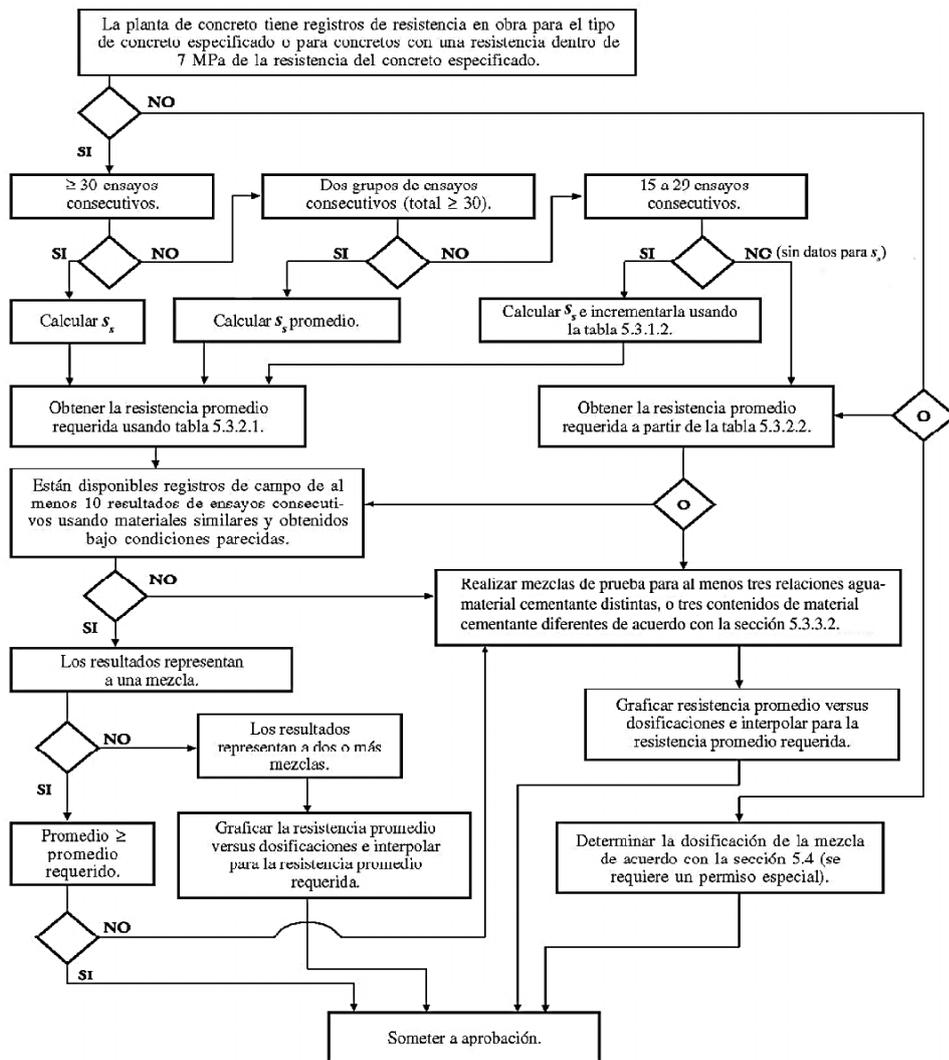


Figura 3. Diagrama de flujo para dosificación del concreto [27]

11.3.7.1 Asentamiento

Un concreto de buena calidad necesita que los materiales que se mezclan tengan una apariencia uniforme. La mezcla de concreto debe tener una trabajabilidad adecuada para que su colocación sea fácil. Una vez que el hormigón se ha endurecido este deberá cumplir con el requisito de resistencia a las diferentes solicitaciones para lo cual fue diseñado y deberá cumplir con una apropiada durabilidad a la exposición a la que será sometido.

La trabajabilidad depende de las proporciones y propiedades físicas del material, así como del equipo utilizado para mezclar, transportar y colocar la mezcla. Sin embargo, la trabajabilidad es un término relativo, ya que el concreto se puede considerar útil bajo algunas condiciones e inviable bajo otras. Por ejemplo, se puede usar concreto para pavimentar, pero será difícil colocarlo en una pared delgada con un refuerzo complejo.

La fluidez es un factor muy importante en la trabajabilidad del hormigón, este término hace referencia a las propiedades de la mezcla en relación con el grado de fluidez que está presente, existen varios tipos de fluidez.



Figura 4. Prueba de asentamiento

- a) **Consistencia seca:** En este estado de fluidez la cantidad de agua es pequeña y suficiente para mantener juntas las partículas de cemento y agregados.
- b) **Consistencia rígida o dura:** contiene un poco más de agua que la de consistencia seca.

c) **Consistencia húmeda:** Hay una gran cantidad de agua por lo que el concreto es fluido [28].

Para determinar la consistencia de la mezcla se utiliza la prueba del revenimiento, la cual se detalla en la norma ASTM C143. Para llevar a cabo esta prueba es necesario contar con un molde en forma de cono truncado que cuente con las siguientes dimensiones, 30 cm de altura y con un diámetro inferior de 20 cm y uno superior de 10 cm, como el que se puede observar en la siguiente figura [29].

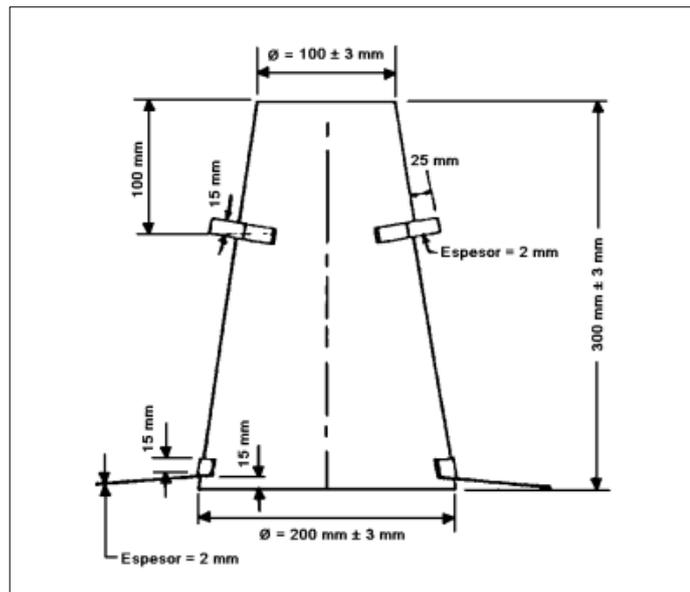


Figura 5. Molde para la prueba de asentamiento [29].

El asentamiento, revenimiento o slump, es la diferencia de altura entre la parte superior de la mezcla fresca y la parte superior del molde cuando esta se asienta luego de retirar el molde. Esta distancia suele expresarse en centímetros y varía dependiendo de la fluidez del hormigón. La forma que adopta el hormigón luego de haber retirado el cono puede ser:

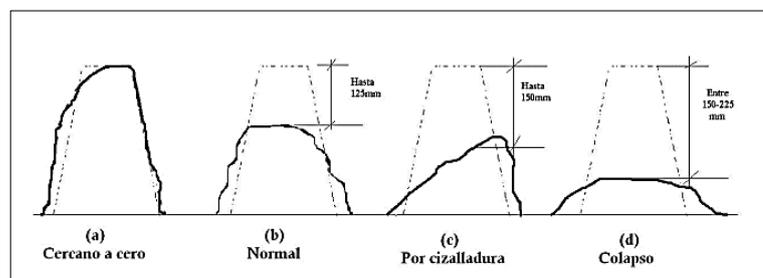


Figura 6. Formas que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento [28].

a) Revenimiento cercano a cero

Esto puede ser el resultado de un concreto que cumple con todos los requisitos de trabajabilidad pero que contiene un bajo porcentaje de agua, o es hormigón a base de árido grueso que permite que el agua se drene de la mezcla de concreto sin causar cambios volumétricos.

b) Revenimiento normal

Se encuentra entre los valores de 2 y 7 pulgadas. Es un hormigón de buena o excelente trabajabilidad.

c) Revenimiento por cizalladura o cortante

En este caso lo que se indica es que el hormigón no cuenta con plasticidad y cohesión.

d) Colapso en el revenimiento

Se refiere al hormigón de características deficientes, hecho de árido excesivamente grueso o de una mezcla muy húmeda. En este tipo de hormigón, la lechada tiende a desprenderse del hormigón, dejando la sustancia más espesa en el centro del cono. Hay segregación de agregados [28].

Tabla 1. Clasificación de la consistencia según el asentamiento medido con el cono de Abrams [30].

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
Muy seca		Prefabricados de alta resistencia, revestimiento, pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta, hormigón de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20 a 35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi - seca	35 a 50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple o con refuerzo simple	Con máquinas operadas manualmente	Vibración mecánica
Media	50 a 100	Pavimentos, losas, muros, vigas y secciones medianamente reforzadas	Colocación manual	Vibración mecánica
Húmeda	100 a 150	Elementos estructurales esbeltos y secciones bastante reforzadas	Bombeo	Vibración mecánica
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos in situ	Bombeo, tubo-embudo, tremie	Normalmente no adecuado para vibrarse

11.3.7.2 Tamaño nominal máximo de agregado

El uso del tamaño máximo del agregado depende del tipo de obra, al hacer uso de esta consideración, se tendrá como resultado un hormigón que se encogerá menos al momento de fraguar y resultará más económico [31].

Un tamaño nominal máximo del agregado influye en la resistencia del concreto, para los concretos de alta resistencia, el agregado debe ser de un menor tamaño para que la eficiencia del cemento sea mayor. Para los concretos de resistencia baja e intermedia, el tamaño del agregado debe ser mayor para tener una mejor eficiencia del cemento. Al considerar la relación agua/cemento, cuando esta es menor, la resistencia con diferentes tamaños del agregado es más acentuada [32].

El aumento del tamaño nominal máximo del agregado grueso puede ocasionar los siguientes efectos: reduce el requerimiento de agua en la mezcla por lo que la relación de agua/cemento disminuye, lo que da como consecuencia el aumento de resistencia del concreto. Pero en el lado opuesto tenemos que si se aumenta el tamaño del agregado se tiene una menor superficie de contacto de la pasta con los agregados, por lo que la resistencia del concreto tiende a disminuir, debido a que los esfuerzos de adherencia entre la pasta y el agregado se incrementan para una misma condición de carga.

En los concretos de baja resistencia menores a 21MPa, se encuentra el primer efecto el cual es el de la reducción del agua, pero para hormigones de mayor resistencia se tiene el efecto contrario, pues aquí la condición que predomina es la de la superficie de adherencia disminuida [33].



Figura 7. Ensayo para determinar el TNM del ripio

11.3.7.3 Agua de mezclado y contenido de aire

El hormigón convencional presenta vacíos de aire atrapado, estos están presentes en todos los hormigones como resultado del mezclado, colocación y manejo, también depende de la característica de los agregados utilizados, las dimensiones de estas burbujas son mayores de 1000 μm (1mm).

El hormigón con aire incluido es aquel en el que se adicionan burbujas para mejorar la resistencia a procesos de congelación y deshielo de concretos que se encuentran expuestos al agua y a descongelantes. Las burbujas de aire que se incorporan de manera intencionada son de dimensiones muy pequeñas, con diámetros que varían entre 10 y 1000 μm [34].

Las condiciones a las que puede estar sometido el concreto con aire incorporado son:

- **Condición de exposición suave:** Se incorpora aire por motivos ajenos a la durabilidad, estos motivos pueden ser el incremento de trabajabilidad o cohesión. Estos concretos pueden estar expuestos a climas en donde no se presente congelación.
- **Condición de exposición moderada:** Utilizado en climas que presentan congelación, este concreto no se someterá continuamente a la exposición de humedad o agua antes de la congelación ni a la exposición de descongelantes o químicos agresivos. Un ejemplo de estas pueden ser las vigas exteriores, columnas o losas, las cuales no están en contacto directo con el suelo, y no estarán en contacto con sales descongelantes.
- **Condición de exposición severa:** Aplica para hormigones que tiene contacto con descongelantes o agentes químicos agresivos u hormigones que están en contacto continuo con la humedad o agua libre antes de la congelación [11].

11.3.7.4 Relación a/c

La relación agua – cemento tiene gran importancia, ya que influye en las propiedades del hormigón que se obtendrá. Al agregar más agua, se incrementa la fluidez de la mezcla, lo que genera que su trabajabilidad y plasticidad también aumenten, lo que genera un fácil manejo de la mezcla. Pero a medida que se aumenta la cantidad de agua la resistencia empieza a disminuir, esto se debe a que existe un mayor volumen

de espacios creados por el agua libre [35]. La resistencia es inversamente proporcional a la relación agua-cemento [31].

11.3.7.5 Contenido de cemento

El cemento da resistencia mecánica al hormigón. Sin embargo, la calidad y las proporciones de otros componentes también afectan la resistencia del hormigón, aunque en menor medida.

Para determinar la cantidad de cemento se debe conocer la cantidad de agua y la relación agua-cemento. El resultado obtenido será la cantidad necesaria de cemento para la producción de 1 metro cúbico de hormigón [36].

11.3.7.6 Contenido de agregado grueso

La cantidad de agregado grueso en el método ACI, se determina mediante el uso de los datos del tamaño máximo del agregado y el del módulo de finura de la arena. Al interceptar estos 2 valores en una tabla se encuentra el de agregado grueso seco y compactado, con estos valores se calcula la cantidad de árido grueso necesario para un metro cubico de hormigón.

11.3.7.7 Contenido de agregado fino

El contenido de agregado fino en el método de la ACI se obtiene realizando la resta de los materiales como, el agua, cemento, aire y ripio de un metro cúbico de hormigón. El dato obtenido es el volumen de árido fino, al cual se debe multiplicar por la densidad del agregado fino para obtener la cantidad árido fino necesario para 1 m³ de hormigón.

11.3.7.8 Ajuste por humedad del agregado

Los agregados presentan porosidades, por lo cual el agua es absorbida, el agua puede también quedar atrapada en la superficie del árido. Es importante conocer el estado de humedad de los agregados que se utilizarán para la elaboración del concreto. En el caso de que el agregado pueda absorber, disminuirá la relación entre el agua y cemento efectiva [37].

Los agregados contienen agua, sino se considera esto puede afectar el contenido total de agua en la mezcla lo que ocasionará que las resistencias que se obtendrán serán

diferentes a las esperadas. Por ejemplo, si el agregado fino contiene demasiada agua, debe agregarse menos agua a la mezcla, y si esta tiene poca humedad debe agregarse agua, para que de esta manera no se altere la relación agua – cemento buscado [31].



Figura 8. Muestras de ripio sacadas del horno

Los datos de la grava y arena son teóricos y se los obtiene en condición seca o SSS (Saturada superficialmente seca), este estado solo se presenta en el laboratorio. Estos datos se utilizan para tener estándares en el procedimiento y tener resultados para comparar. Para poder hacer uso de las mezclas teóricas en la obra, se debe corregir por humedad y absorción, para de esta manera tener a los áridos en la condición real al momento de hacer uso de estos para la producción de hormigón [34].



Figura 9. Secado de la arena hasta obtener el estado SSS

11.3.7.9 Ajustes en las mezclas de prueba

Una vez realizado el procedimiento de mezcla del concreto se debe verificar si se alcanzó la resistencia especificada, en caso de no cumplir con las exigencias

estipuladas para el hormigón, se deberá realizar correcciones a la mezcla hasta alcanzar la resistencia requerida.

1.1.3.8 El hormigón

El hormigón es un material compuesto usado en construcción, formado básicamente por un aglomerante (en la mayoría de las ocasiones cemento Portland) al que se añade fragmentos de agregados (áridos, como grava, gravilla y arena) agua y aditivos específicos [38].

1.1.3.8.1 Propiedades del hormigón

Las principales propiedades que afectan al concreto en estado fresco son:

- **Trabajabilidad:** Es la propiedad que presenta el hormigón recién mezclado, que evalúa la facilidad con que este puede ser mezclado, colocado y terminado. Para evaluar esta propiedad se utiliza el ensayo del cono de Abrams.
- **Homogeneidad:** El hormigón es considerado un material heterogéneo debido a que está constituido por elementos diferentes, sin embargo, la homogeneidad como propiedad en estado fresco se refiere a que en cualquier parte de la masa los componentes estén perfectamente mezclados y en la proporción adecuada.

Las principales propiedades que afectan al concreto en estado endurecido son:

- **La densidad:** Es la relación que se da entre la masa del hormigón y el volumen ocupado, la densidad para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300 - 2500 kg/m³. En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000 - 1300 kg/m³ y en caso de utilizarse áridos pesados la densidad oscila entre 3000 - 3500 kg/m³.
- **Compacidad:** Es la propiedad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten, un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.
- **Permeabilidad:** Es el nivel en que un hormigón permite que los líquidos o los gases lo atraviesen. El factor que más influye en esta propiedad es la relación agua/cemento (a/c). Cuanto mayor es la relación mayor es la permeabilidad a la que está expuesto el hormigón a potenciales agresiones.

- **Resistencia:** El hormigón endurecido muestra resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La resistencia a la compresión que posee el hormigón lo convierte en un material muy importante dentro del área de la construcción. La resistencia a la compresión se mide en MPa y alcanzan hasta 50 MPa en hormigones normales y 100 MPa en hormigones de alta resistencia. La resistencia a tracción es mucho menor, pero tiene relevancia en determinadas aplicaciones.
- **Dureza:** Es una propiedad superficial que en el hormigón cambia con el pasar del tiempo debido a la carbonatación. Un método para medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Smicthd.
- **Retracción:** Es el fenómeno de acortamiento del hormigón que se da debido a la evaporación progresiva del agua absorbida, que forma meniscos en la periferia de la pasta cementicia y el agua capilar [39].

1.1.3.9 Python

Python es un lenguaje de programación que fue desarrollado por Guido Van Rossum entre los años 80 y 90 [40]. Es un lenguaje interpretado de alto nivel y orientado a objetos. Es una multiplataforma lo que significa que puede utilizarse en distintos sistemas operativos de ordenador como lo son Windows, MacOS y Linux, pero también existe versiones para otros dispositivos como smartphones [41].

Es un software Open Source es decir su licencia es gratuita y es compatible con GPL (GNU Public License) de la Fundación de Software Libre. Cuenta con librerías (archivos que facilitan la programación), estas ayudan al programador a hacer el trabajo de una manera más rápida. Existen alrededor de 40 tópicos en las librerías de Python, por lo que se considera que es una de las más completas actualmente [42].



Figura 10. Página de web [41].

1.1.3.10 Qt Designer

Qt Designer es una herramienta para crear rápidamente interfaces gráficas de usuario con widgets del marco Qt GUI. Le brinda una interfaz simple en la cual solo se debe arrastrar y soltar para diseñar componentes como botones, campos de texto, cuadros combinados y más. Se puede observar en la Figura 11 una captura de pantalla de Qt Designer en Windows [43].

Qt ha ganado la simpatía de los desarrolladores aficionados y de los especializados por su gran versatilidad para la programación de GUI (Interfaz gráfica de usuario). Actualmente es un producto utilizado por miles de programadores Open Source en todo el planeta [44].

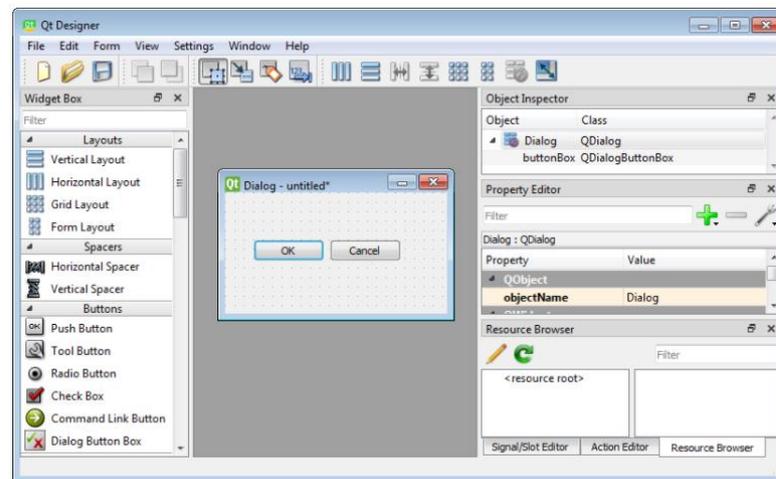


Figura 11. Interfaz de Qt Designer [43].

1.1.3.11 Ensayos

1.1.3.11.1 Densidad real del cemento

El cemento Portland normal tiene una densidad real comprendida entre 3.10 y 3.15 g/cm³. Si hay adiciones al contenido el valor del clínker disminuye y el rango de la densidad está comprendido entre 3.00 y 3.10 g/cm³, dependiendo del porcentaje de adiciones agregadas al cemento. El método más usado para la determinación de esta propiedad es el de la densidad del frasco de Le Chatelier, este procedimiento está detallado en la norma NTE INEN 156. El numeral 4.2.5 indica que está permitido el uso de otros equipos y métodos alternativos, como lo son el de Shumann, Candlot, picnómetro y el de Mann [45].

Para realizar el ensayo se debe verter un líquido cuyo peso específico sea menor a 1g/cm^3 [46].



Figura 12. Ensayo de densidad real del cemento

1.1.3.11.2 Densidad real de la arena

Este ensayo se realiza con el procedimiento especificado por la norma NTE INEN 856:2010. Este consiste en usar un picnómetro (para el uso con el procedimiento gravimétrico) o un matraz (para hacer uso del procedimiento volumétrico). El método más común es el del picnómetro en el cual se llena parcialmente de agua y luego se agrega 500 g del árido fino en estado SSS (saturado superficialmente seco).

La condición SSS se da cuando el agregado se encuentra sumergido en agua y los poros permeables de las partículas se llenan de agua, pero el agua no se encuentra libre en la superficie de las partículas del árido.

La metodología que se utiliza en esta norma se utiliza para establecer el peso específico de la porción sólida de una muestra grande de partículas de árido, dentro de este procedimiento no se incluye el volumen de los vacíos comprendido entre las partículas de la arena [47].



Figura 13. Ensayo de densidad real de la arena

1.1.3.11.3 Densidad real del ripio

La mayoría de los agregados tienen una densidad relativa entre 2,4 g/cm³ y 2,9 g/cm³ con una densidad de partículas (masa) correspondiente de 2400-2900 kg/m³ (150-181 lb/ft³) [48].



Figura 14. Ensayo de densidad real del ripio

1.1.3.11.4 Densidad aparente de la arena (suelta)

La densidad aparente es la característica utilizada de manera general para realizar el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diversos tipos de mezclas, esto incluye el hormigón de cemento Portland, el concreto bituminoso, y otros tipos de mezclas que son probadas sobre la base de un volumen absoluto [49].

Este valor es necesario para realizar el cálculo del volumen aparente suelto de la arena para un saco de cemento. El procedimiento para este ensayo se encuentra en la norma NTE INEN 858.



Figura 15. Pesado del recipiente más arena

1.1.3.11.5 Densidad aparente del ripio(suelta)

Las densidades aparentes de los áridos varían entre 1400 Kg/m^3 y 1700 Kg/m^3 [50]. En la norma NTE INEN 858 se detalla el procedimiento a seguir para determinar el valor de densidad aparente suelta del ripio. Este dato permite encontrar el volumen aparente suelto para un saco de cemento y realizar los cálculos para la dosificación en obra del agregado grueso que se va a utilizar.



Figura 16. Enrazado del agregado grueso

1.1.3.11.6 Densidad aparente del ripio (compactada)

A la densidad aparente se la puede definir como la relación entre la masa por unidad de volumen, de la parte impermeable de las partículas del agregado [51]. Este dato del ripio ayuda a encontrar el valor del ripio en kilogramos, al multiplicar esta densidad por el volumen aparente de ripio. Para determinar este valor se debe seguir el procedimiento detallado en la norma NTE INEN 858.



Figura 17. Compactación del ripio

1.1.3.11.7 Módulo de finura de la arena

El módulo de finura para las arenas en el hormigón varía entre 2.3 y 3.1 [52]. Para determinar este dato se debe utilizar la norma NTE INEN 696, en esta se detalla el método del ensayo para la distribución granulométrica y en la norma NTE INEN 872 se establece los requisitos que debe cumplir el agregado. El módulo de finura puede presentar dos condiciones poco favorables, una de estas es cuando el módulo de finura es mayor a 3.1, la arena será gruesa, lo que puede ocasionar que las mezclas sean poco trabajables faltando cohesión entre sus componentes, por lo que se requerirá de una mayor cantidad de cemento para mejorar su trabajabilidad.

La otra condición que se puede presentar es cuando el módulo de finura es menor a 2.3, la arena será fina, en este caso se puede tener concretos pastosos lo que hace que exista un mayor consumo de cemento y agua para alcanzar la resistencia requerida, y también una mayor posibilidad que se presenten agrietamientos de contracción por secado [53].



Figura 18. Juego de tamices redondos

1.1.3.11.8 Capacidad de absorción de la arena

La absorción es quizás la propiedad del agregado que tiene mayor importancia en la consistencia del concreto, ya que las partículas absorben agua de manera directa al momento de mezclarse con los otros materiales, lo que reduce la trabajabilidad de la mezcla. Si los agregados tienen una capacidad de absorción parecida, otros parámetros secundarios serán importantes para la consistencia de la mezcla, como lo son la forma, el tamaño y la graduación [53].

En la norma NTE INEN 856 se detallan los pasos a seguir para determinar el valor de la capacidad de absorción de la arena, este dato es importante ya que ayuda a realizar la corrección por humedad de los materiales.

1.1.3.11.9 Capacidad de absorción del ripio

La absorción se define como el valor de la humedad del agregado cuando este tiene todos sus poros llenos de agua, pero su superficie se encuentra seca. Esta es la condición en la que se realizan los cálculos de dosificación para la elaboración del hormigón. Se debe tomar en consideración que, si el contenido de humedad del agregado es menor a la capacidad de absorción, se deberá agregar más agua al hormigón para compensar la que los agregados absorberán. Por otro lado, si el contenido de humedad sobrepasa a la capacidad de absorción, se tendrá que disminuir la cantidad de agua que se utilizará para la mezcla debido a que los agregados estarán contribuyendo con agua.

No existen límites de aceptación para la capacidad de absorción ya que esta depende de varios factores como: la porosidad de la roca, el contenido de finos, la forma de las partículas, la distribución granulométrica, etc. El agregado grueso puede presentar una capacidad de absorción menor al 3% y el agregado fino valores menores al 5 % [54]. El dato de capacidad de absorción del agregado grueso se lo encuentra usando la norma NTE INEN 857.

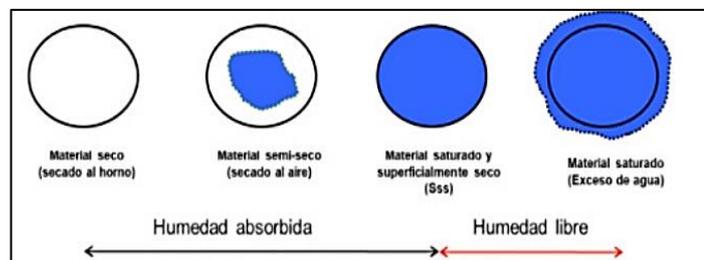


Figura 19. Estado de saturación de los agregados [55].

1.1.3.11.10 Contenido de humedad de la arena

El contenido de humedad es aquella magnitud que expresa la cantidad de agua en un material sólido, esta propiedad es de interés debido a que esta afecta a los materiales al estar presente [56]. El contenido de humedad de la arena se lo obtiene haciendo uso de la norma NTE INEN 690. Este dato es necesario para realizar el ajuste por humedad.

1.1.3.9.11 Contenido de humedad del ripio

El contenido de humedad se puede definir como la cantidad de agua que está presente en los materiales o sustancias [56]. Este dato es útil para realizar la

corrección por humedad. El procedimiento para su determinación se encuentra en la NTE INEN 690.

1.1.3.9.12 Tamaño nominal máximo

Para nuestro medio se recomienda la utilización de agregado grueso cuyo tamaño nominal máximo este comprendido entre 3/4" a 1 1/2 ". Un agregado menor a 3/4" originará que la superficie específica del material sea mayor lo que ocasionará que se utilice más cemento; un agregado de dimensiones superiores a 1 1/2 "podría causar que se atasque el hormigón en el acero de refuerzo al momento del colado, generando vacíos dentro del elemento y pérdida de resistencia en el hormigón [32].

El tamaño nominal máximo, es el tamaño del tamiz comercial anterior al primer tamiz en el que se tuvo el 15 % o más de retenido acumulado, para su determinación se utiliza la norma NTE INEN 696.



Figura 20. Juego de tamices (2\", 1 1/2\", 1\", 3/4\", 3/8\", 1/2\", #4)

1.1.3.9.13 Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón

Esta prueba se basa en la norma NTE INEN 1573 con el objetivo de determinar la resistencia a la compresión de elementos estructurales. Este ensayo destructivo consiste en aplicar una carga axial de compresión mediante una máquina. Se aplica una carga a especímenes cilíndricos tales como cilindros moldeados y núcleos perforados de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un parámetro definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de una probeta de hormigón se calcula mediante la

relación entre la carga máxima alcanzada durante el ensayo y el área de la sección transversal del espécimen.

Los resultados de este método de ensayo se utilizan como valores referenciales para: control de calidad de la dosificación del hormigón, operaciones de mezclado y colocación; determinación del cumplimiento con las especificaciones, control para evaluación de la efectividad de aditivos y usos similares [57].

Para considerar que la resistencia de las probetas ensayadas es aceptable se debe considerar lo siguiente, el promedio de 3 ensayos consecutivos debe ser superior a la resistencia especificada, si la resistencia requerida es de 350 kg/cm² o menor ninguna probeta ensayada individualmente deberá resultar menor que el $f'c$ en más de 35 kg/cm². Si $f'c$ es superior a 350 kg/cm² el $f'c$ no podrá ser menor en más del 10% de la resistencia especificada [58].

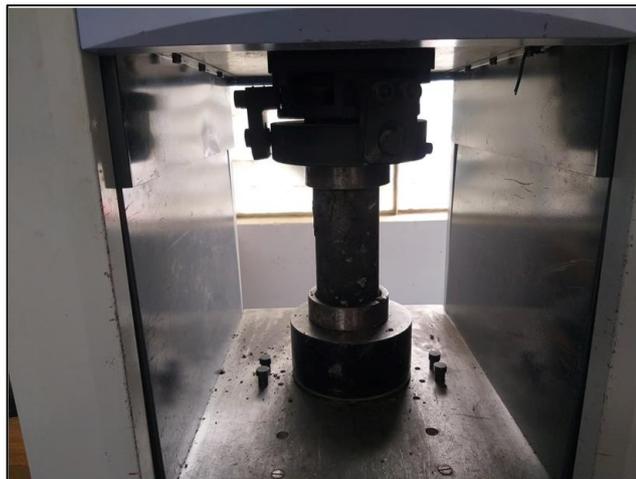


Figura 21. Ensayo a compresión de una probeta de hormigón

1.1.4 Hipótesis

La resistencia del hormigón diseñado usando la dosificación obtenida del programa desarrollado en Python, alcanzara la resistencia especificada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general:

Efectuar el análisis y evaluación de datos para dosificación de mezclas de hormigón en un programa desarrollado en lenguaje de programación Python aplicando el método ACI.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Elaborar los algoritmos de programación para los diferentes pasos de dosificación del hormigón (método ACI).
- Establecer instrucciones de programación para la entrada y salida de datos, en diferentes tablas y gráficos, de los ensayos y dosificación del hormigón
- Realizar mezclas de hormigón en laboratorio con 3 dosificaciones diferentes, para la obtención de los datos de entrada y generación de los datos de salida en el programa.
- Verificar la ejecución y validez del programa con los datos de dosificación obtenidos en laboratorio y la determinación de la resistencia a compresión a los 7, 14, 28 días de los especímenes.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

En el desarrollo del presente trabajo experimental se utilizó cemento hidráulico tipo GU (CGU), agregado grueso, agregado fino y agua para la elaboración especímenes de hormigón. Se usó gasolina extra (GE) para la determinación de la densidad real del cemento.

2.1.1 Cemento fuerte tipo GU

La norma NTE INEN 2380 indica que un cemento Tipo GU, es de uso general, por lo cual puede ser usado para cualquier obra de construcción. Los requisitos físicos que debe cumplir el cemento tipo GU se muestran en la Tabla 2 [59], [60].

Tabla 2. Requisitos físicos del cemento tipo GU [59], [60].

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	-0.06
Tiempo de fraguado inicial, método de Vicat		
No menos de, minutos	45	190
No más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen %	A	3
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo		
1 día	A	9
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	31
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020	0.002

2.1.2 Agregado Grueso

El ripio utilizado procede de la cantera Villacrés ubicada en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

2.1.3 Agregado fino

La arena usada es procedente de la cantera “Villacrés” del cantón Ambato provincia de Tungurahua.

2.1.4 Agua (H₂O)

Los requisitos que debe tener el agua para la mezcla se especifican en la norma NTE INEN 1108, debe poseer un tono claro, libre de sustancias nocivas para el hormigón como el aceite, sales o residuos orgánicos [61].

El agua desempeña un papel importante en el proceso de mezclado del hormigón, por lo que no está por demás recalcar la influencia que tiene en la consistencia o la resistencia ya que en todas ellas influye de manera activa el agua, por lo cual debe tenerse cuidado en la cantidad y su forma de utilizar en el proceso de mezclado [62].

2.1.5 Gasolina extra

La gasolina extra es un derivado del petróleo, tiene un octanaje de 87 octanos. Se utiliza en el ensayo debido a que no reacciona con el cemento y no forma grumos dentro del recipiente a utilizar [63].



Figura 22. Gasolina Extra

2.2 EQUIPOS

2.2.1 Picnómetro

El picnómetro es un instrumento de medición, permite conocer la densidad o peso específico de cualquier fluido, sea líquido o sólido, mediante gravimetría a una cierta

temperatura. Las unidades para expresar los resultados son el kg/m^3 , g/cm^3 , etc. Es uno de los instrumentos de más precisión dentro del mundo químico [64], [65].

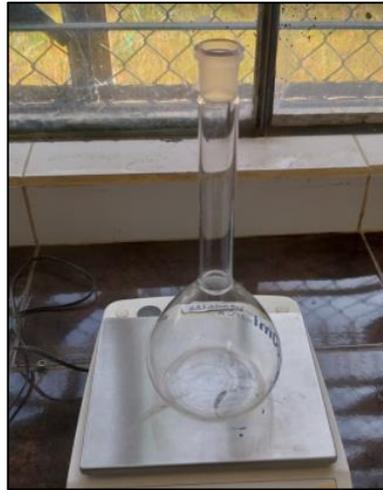


Figura 23. Picnómetro

2.2.2 Baño María

El equipo es un Humboldt modelo H 1390, tiene las siguientes dimensiones: 495,3 x 292,1 x 203,2 mm, posee un controlador digital basado en microprocesador para un control preciso de la temperatura en todo su rango de temperatura ambiente a 180 ° F (82 ° C) con una precisión de +/- 0.1% del rango de entrada. El modelo H-1390 puede acomodar (12) muestras Marshall de 4 "de diámetro o (3) 6" de diámetro a la vez. El H-1390 incluye un estante de acero inoxidable, que soporta las muestras mientras permite 2 "de agua circulante libre por encima y por debajo de las muestras, utiliza una barra de agitación magnética para inducir el flujo de agua dentro del baño y asegurar que se mantenga una temperatura uniforme [66].

2.2.3 Tanque de curado

La instalación en donde se colocarán las probetas es la cámara de curado, la cual cuenta con una humedad y temperatura controladas [67]. Es importante el correcto curado debido a que este ayuda a obtener la mayor resistencia a la compresión del concreto [68].



Figura 24. Tanque de curado

2.2.4 Máquina de compresión

La máquina de compresión que se utilizará es la SHIMADZU CONCRETO 2000X, cuenta con una capacidad de 40 a 2000 kN que varía en 6 etapas, el diámetro de la placa inferior y superior es de 220 mm [69].

Esta máquina de compresión puede realizar de manera segura y eficiente ensayos de alta capacidad sin causar fractura explosiva (fallo del espécimen) en hormigón de ultra alta resistencia, que se utiliza como material en edificios de gran altura. Se puede ensayar materiales que van desde hormigón de ultra alta resistencia hasta especímenes que han sido recientemente colados [70].



Figura 25. Máquina de compresión SHIMADZU CONCRETO 2000X

2.2.5 Equipo utilizado en la dosificación y elaboración de probetas de hormigón

- Juego de tamices (2", 1½", 1", ¾", ⅜", ½", #4)
- Juego de tamices redondos ((#4, #8, #12, #16, #30, #50, #100, y #200 más fuente, tapa)
- Cono de Abrams
- Varilla de compactación de punta redondeada
- Recipientes metálicos
- Canastilla metálica
- Carretilla
- Pala
- Palustre
- Báscula de 30 kg de capacidad
- Báscula de 6kg de capacidad
- Embudo
- Brocha
- Flexómetro
- Moldes cilíndricos de 10 cm x 20 cm

2.2.6 Python

Python es un lenguaje de programación multiplataforma de código abierto. En este proyecto se utilizó la versión 3.9 de 64 bits, en la que se programó el código necesario para el procesamiento de datos obtenidos de los ensayos realizados a los materiales y se obtuvo la dosificación de los materiales para la elaboración de los especímenes que se sometieron a ensayos de compresión [71].

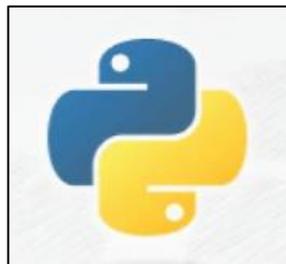


Figura 26. Logo de Python [41].

2.2.7 IDLE Python (Integrated Development and Learning Environment))

Para el ingreso del código, ejecución de las pruebas de funcionamiento y para guardar el código se utilizó el IDLE que Python trae por defecto. El cual es un entorno gráfico de desarrollo elemental que permite editar y ejecutar programas codificados en Python, la versión que se utilizó es la 3.9.7 [72].

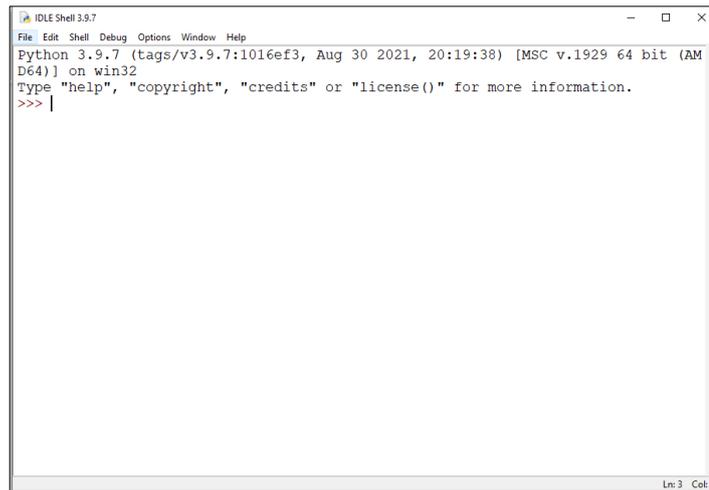


Figura 27. IDLE Python versión 3.9.7

2.2.8 QT Designer

Qt Designer es un programa que se utilizó para la creación de la GUI (Interfaz gráfica). Su uso es bastante intuitivo dado que solo se necesita arrastrar los componentes para su colocación en la ventana de trabajo, la versión que se utilizó fue la 5.11.1 [43].

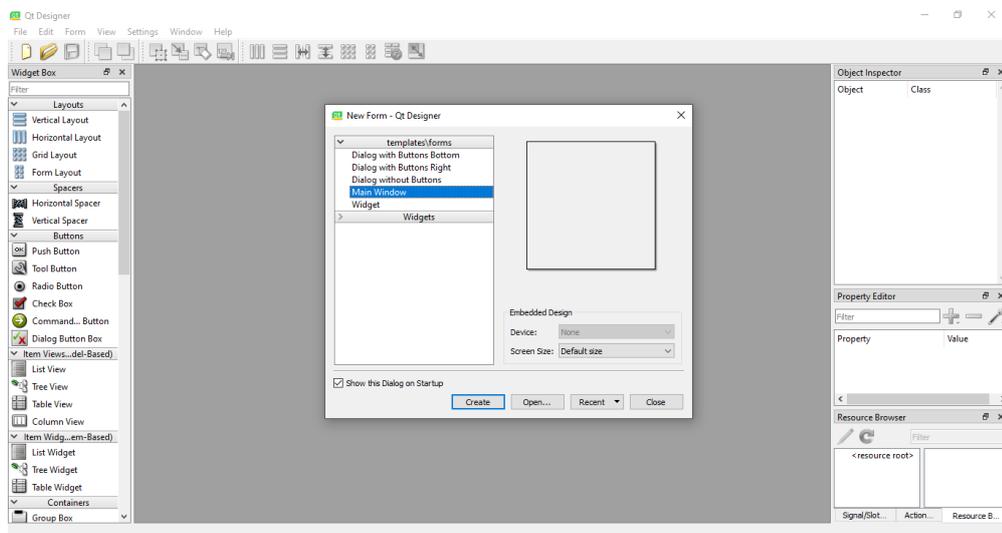


Figura 28. Interfaz Gráfica de Qt Designer

2.3 MÉTODO

Para el alcance de los objetivos que se plantearon en el presente trabajo investigativo se usó dos tipos de investigación:

- a) Investigación bibliográfica: Se realizó una búsqueda de información en artículos científicos referentes a la utilización de programas de computadora utilizados para realizar cálculos de dosificación de hormigón y se revisó información sobre programación en Python.
- b) Investigación experimental: Se usó el método ACI 211.1 y algunas recomendaciones del ACI 318 – 11 para la dosificación de hormigones, para la elaboración de probetas de hormigón se hizo uso de la norma NTE INEN 1576 y los materiales se analizaron con los siguientes ensayos:
 - Para determinar la densidad real del cemento se empleará los procedimientos descritos en la norma NTE INEN 156 que hace uso de la relación entre la masa y el volumen de un líquido que no reacciona con el cemento.
 - La densidad real de la arena y la capacidad de absorción se determinará mediante el uso de la norma NTE INEN 856.
 - Se utilizará la norma NTE INEN 857 para determinar la densidad real del ripio y la capacidad de absorción haciendo uso del método descrito en la norma.
 - Se determinará la densidad aparente suelta y compactada de los agregados siguiendo el procedimiento de la norma NTE INEN 858.
 - El módulo de finura se establecerá mediante el uso de la norma NTE INEN 696 y NTE INEN 872.
 - Los ensayos del contenido de humedad de la arena y ripio se utilizará el procedimiento de la norma NTE INEN 862.
 - La granulometría del agregado fino y grueso se llevará a cabo haciendo uso de la norma NTE INEN 696 y NTE INEN 872.

2.3.1 Densidad real del cemento (NTE INEN 156)

Los pasos que se deben seguir para realizar este ensayo son:

1. Secar el picnómetro antes de pesar y pesar el picnómetro vacío.
2. Colocar cemento dentro del picnómetro haciendo uso de un embudo.

3. Pesar el picnómetro más el cemento.
4. Colocar gasolina en el picnómetro hasta la marca de aforo.
5. Pesar el picnómetro más el cemento y más la gasolina.
6. Vaciar el picnómetro y limpiarlo usando gasolina.
7. Llenar el picnómetro con gasolina hasta la marca del aforo.
8. Pesar el picnómetro más la gasolina añadida.
9. Basándose en el principio de Arquímedes y con los datos obtenidos, calcular la densidad real del cemento.

Una vez obtenidos los datos se procederá a realizar los siguientes cálculos:

- **Masa de gasolina añadida (g)**

$$m_{GA} = m_{P+C+G} - m_{P+C}$$

Donde:

m_{GA} = Masa de gasolina añadida

m_{P+C+G} = Masa del picnómetro más cemento y más gasolina

m_{P+C} = Masa del picnómetro más cemento

- **Masa de 500 cm³ de gasolina (g)**

$$m_{GCC} = m_{P+CC} - m_P$$

Donde:

m_{GCC} = Masa de 500 cm³ de gasolina

m_{P+CC} = Masa del picnómetro más 500 cm³ de gasolina

m_P = Masa del picnómetro

- **Densidad de la gasolina (g/cm³)**

$$d_g = m_{GCC}/500$$

Donde:

d_g = Densidad de la gasolina

m_{GCC} = Masa de 500 cm³ de gasolina

- **Masa de la gasolina desalojada por el cemento (g)**

$$m_{GDES} = m_{GCC} - m_{GA}$$

Donde:

m_{GDES} = Masa de gasolina desalojada

m_{GCC} = Masa de 500 cm³ de gasolina

m_{GA} = Masa de gasolina añadida

- **Masa del cemento (g)**

$$m_C = m_{P+C} - m_P$$

Donde:

m_C = Masa de cemento

m_{P+C} = Masa del picnómetro más cemento

m_P = Masa del picnómetro

- **Volumen de gasolina desalojada (cm³)**

$$V_{GDES} = m_{GDES}/d_g$$

Donde:

V_{GDES} = Volumen de gasolina desalojada

m_{GDES} = Masa de gasolina desalojada

d_g = densidad de la gasolina

- **Densidad del cemento (g/cm³)**

$$d_C = m_C/V_{GDES}$$

Donde:

d_C = Densidad del cemento

V_{GDES} = Volumen de gasolina desalojada

m_C = Masa del cemento

2.3.2 Densidad real de la arena (NTE INEN 856)

Los pasos para determinar el valor de la densidad real de la arena son:

1. Poner a reposar durante 24 horas la muestra de agregado fino remojándola en agua.
2. Secar la muestra y colocarla en un recipiente metálico y escurrir el exceso de agua durante unos minutos.
3. Secar la arena con movimientos continuos hasta que alcance la condición SSS (saturada superficialmente seca), haciendo pruebas constantes con el cono metálico dando 25 golpes al árido fino para compactar.
4. Tomar una muestra y pesarla.
5. Pesar el picnómetro vacío.
6. Llenar el picnómetro con la muestra ayudándose de un embudo.
7. Llenar el picnómetro con agua hasta la marca de calibración.
8. Sacar las burbujas de aire y pesar el picnómetro más el agregado fino y agua.

Para el cálculo de la densidad real de la arena se siguieron los siguientes pasos:

- **Masa de agua añadida (g)**

$$m_{WA} = m_{P+AS+W} - m_{P+AS}$$

Donde:

m_{WA} = Masa de agua añadida (gr)

m_{P+AS+W} = Masa del picnómetro más arena en estado SSS y agua

m_{P+AS} = Masa del picnómetro más arena en estado SSS

- **Masa de 500 cm³ de agua (g)**

$$m_{WCC} = m_{P+CC} - m_P$$

Donde:

m_{WCC} = Masa de 500 cm³ de agua

$m_{P+CC} - m_P$ = Masa del picnómetro más 500 cm³ de agua

m_P = Masa del picnómetro

- **Densidad del agua (g/cm³)**

Se recomienda utilizar la densidad del agua destilada a 4 °C (1 gr/cm³) [47]

- **Masa del agua desalojada por la arena (g)**

$$m_{WDES} = m_{WCC} - m_{WA}$$

Donde:

m_{WDES} = Masa de agua desalojada

m_{WCC} = Masa de 500 cm³ de agua

m_{WA} = Masa de agua añadida

- **Masa de la arena (g)**

$$m_A = m_{P+AS} - m_P$$

Donde:

m_A = Masa del agregado

m_{P+AS} = Masa del picnómetro más arena en estado SSS

m_P = Masa del picnómetro

- **Volumen de agua desalojada (cm³)**

$$V_{WDES} = m_{WDES}/d_W$$

Donde:

V_{WDES} = Volumen de agua desalojada

m_{WDES} = Masa de agua desalojada

d_W = densidad del agua

- **Densidad real de la arena (g/cm³)**

$$d_A = V_{WDES}/m_A$$

Donde:

d_A = Densidad de la arena

V_{WDES} = Volumen de agua desalojada

m_A = Masa de la arena

2.3.3 Capacidad de absorción de la arena (NTE INEN 856)

Para determinar la capacidad de absorción se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Tomar muestra del agregado fino en estado SSS.
2. Pesar los recipientes con las muestras de agregado fino.

3. Poner a sacar durante 24 horas la muestra.
4. Pesar los recipientes más la muestra seca.

Para realizar los cálculos de la absorción se sigue el siguiente procedimiento:

- **Masa del agregado en estado SSS (Saturada superficialmente seca) (g)**

$$m_{SSS} = m_{P+A} - m_p$$

Donde:

m_{SSS} = Masa del agregado en estado SSS

m_{P+A} = Masa del recipiente más el agregado

m_p = Masa del recipiente

- **Masa del agregado seco (g)**

$$m_{seco} = m_{P+AS} - m_p$$

Donde:

m_{seco} = Masa del agregado seco

m_{P+AS} = Masa del recipiente más el agregado seco

m_p = Masa del recipiente

- **Capacidad de absorción del agregado fino (%)**

$$CA = \frac{m_{SSS} - m_{seco}}{m_{seco}} * 100$$

Donde:

CA = Capacidad de absorción en %

m_{seco} = Masa del agregado seco

m_{SSS} = Masa del agregado en estado SSS

2.3.4 Densidad real del ripio (NTE INEN 857)

Para obtener este valor se debe seguir los siguientes pasos:

1. Poner a reposar en agua durante 24 horas la muestra de árido grueso.
2. Colocar la muestra en un recipiente metálico sin agua.

3. Secar la muestra con ayuda de alguna franela.
4. Pesar la canastilla al aire usando la balanza mecánica.
5. Colocar la muestra dentro de la canastilla y pesar.
6. Pesar la canastilla más ripio en el agua.

Para el cálculo de la densidad real del ripio se sigue el siguiente procedimiento:

- **Masa del ripio en estado SSS (Saturado superficialmente seco) (g)**

$$M_{sss} = m_2 - m_1$$

Donde:

M_{sss} = Masa del ripio en estado en el aire

m_2 = Masa de canastilla más agregado en estado SSS

m_1 = Masa de la canastilla en el aire

- **Masa del ripio en el agua (g)**

$$M_{agua} = m_3 - m_4$$

Donde:

M_{agua} = Masa del ripio en el agua

m_3 = Masa de la canastilla más agregado en estado SSS en el agua

m_4 = Masa de la canastilla en el agua

- **Densidad del agua (g/cm³)**

Se recomienda utilizar la densidad del agua destilada a 4 °C (1 gr/cm³) [51]

- **Volumen del ripio (cm³)**

$$V_{sss} = \left(\frac{M_{sss} - M_{agua}}{d_{agua}} \right)$$

Donde:

V_{sss} = Volumen del agregado

M_{sss} = Masa del ripio en estado en el aire

M_{agua} = Masa del ripio en el agua

d_{agua} = densidad del agua

- **Densidad real del ripio (g/cm³)**

$$DRR = \frac{M_{SSS}}{V_{SSS}}$$

Donde:

DRR = Densidad real del ripio

M_{SSS} = Masa del ripio en estado en el aire

V_{SSS} = Volumen del agregado

2.3.5 Capacidad de absorción del ripio (NTE INEN 857)

Para obtener este dato se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Pesar los recipientes metálicos.
2. Tomar muestras de ripio y colocarlas en los recipientes y pesarlos.
3. Colocar en el horno para su secado durante 24 horas.
4. Pesar los recipientes más el ripio seco.

Para realizar los cálculos de la absorción se sigue el siguiente procedimiento:

- **Masa del agregado en estado SSS (Saturada superficialmente seca) (g)**

$$M_{SSS} = m_2 - m_1$$

Donde:

M_{SSS} = Masa del agregado en estado SSS

m₂ = Masa del recipiente más el agregado

m₁ = Masa del recipiente

- **Masa del agregado seco (g)**

$$M_{seco} = m_3 - m_1$$

Donde:

M_{seco} = Masa del agregado seco

m₃ = Masa del recipiente más el agregado seco

m₁ = Masa del recipiente

- **Capacidad de absorción del agregado grueso (%)**

$$CA = \left(\frac{M_{sss} - M_{seco}}{M_{seco}} \right) * 100$$

Donde:

CA = Capacidad de absorción en %

Mseco = Masa del agregado seco

Msss = Masa del agregado en estado SSS

2.3.6 Densidad aparente suelta de la arena (NTE INEN 858)

Para determinar este dato es necesario seguir el siguiente procedimiento:

1. Pesar el recipiente metálico.
2. Para la determinación de la densidad aparente suelta, con la pala se coloca en el recipiente metálico el agregado y luego se enrasa al borde del recipiente.
3. Pesar el recipiente metálico más el agregado suelto.

Para el cálculo de la densidad aparente suelta del agregado fino se debe realizar los siguientes cálculos con los datos obtenidos.

- **Masa del agregado (kg)**

$$m_a = m_{r+a} - m_r$$

Donde:

m_a = Masa del agregado

m_{r+a} = Masa del recipiente más el agregado

m_r = Masa del recipiente

- **Densidad aparente suelta (kg/dm³)**

$$d_a = m_a/v_r$$

Donde:

d_a = Densidad aparente suelta

m_a = Masa del agregado

v_r = Volumen del recipiente

2.3.7 Densidad aparente suelta del ripio (NTE INEN 858)

Se sigue el mismo procedimiento que se sigue para determinar la densidad aparente suelta de la arena y los pasos son los siguientes:

1. Pesar el recipiente metálico.
2. Para la determinación de la densidad aparente suelta, con la pala se coloca en el recipiente metálico el agregado y luego se enrasa al borde del recipiente.
3. Pesar el recipiente metálico más el agregado suelto.

Para el cálculo de la densidad aparente suelta del agregado grueso se debe realizar los siguientes cálculos con los datos obtenidos.

- **Masa del agregado (kg)**

$$m_a = m_{r+a} - m_r$$

Donde:

m_a = Masa del agregado

m_{r+a} = Masa del recipiente más el agregado

m_r = Masa del recipiente

- **Densidad aparente suelta (kg/dm³)**

$$d_a = m_a/v_r$$

Donde:

d_a = Densidad aparente suelta

m_a = Masa del agregado

v_r = Volumen del recipiente

2.3.8 Densidad aparente compactada del ripio

Los pasos que se deben seguir para esto ensayo son:

1. Pesar el recipiente metálico más el agregado suelto.
2. Colocar en el recipiente metálico el agregado suelto en 3 capas, cada capa debe ser compactada por una varilla de acero dando 25 golpes repartidos uniformemente sobre la superficie.
3. Pesar agregado compactado más el recipiente.

Para el cálculo de la densidad aparente compactada del agregado grueso se sigue el siguiente procedimiento:

- **Masa del agregado (kg)**

$$m_a = m_{r+a} - m_r$$

Donde:

m_a = Masa del agregado

m_{r+a} = Masa del recipiente más el agregado

m_r = Masa del recipiente

- **Densidad aparente suelta (kg/dm³)**

$$d_a = m_a/v_r$$

Donde:

d_a = Densidad aparente suelta

m_a = Masa del agregado

v_r = Volumen del recipiente

2.3.9 Módulo de finura de la arena (NTE INEN 872-NTE INEN 696)

Los pasos que se necesitan para determinar el módulo de finura son los siguientes:

1. Pesarse una muestra de 500 – 1000 g de agregado fino.
2. Colocar los tamices en el siguiente orden de abajo hacia arriba, primero la bandeja, luego los tamices, #200, #100, #50, #30, #16, #8, #4, #3/8.
3. Proceder a colocar la muestra en el tamiz y tapar.
4. Colocar en la tamizadora los tamices durante un minuto.
5. Pesarse el material que queda retenido en cada tamiz.

Para el cálculo del módulo de finura se emplea la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\%RA\frac{3}{8} + \%RA\#4 + \%RA\#8 + \%RA\#16 + \%RA\#30 + \%RA\#50 + \%RA\#100}{100 \%}$$

Donde;

MF = Módulo de finura

% RA = % Retenido acumulado del tamiz correspondiente

2.3.10 Tamaño nominal máximo (NTE INEN 696)

Los pasos que se necesitan para determinar el tamaño nominal máximo son los siguientes:

1. Pesarse una muestra de agregado grueso.

2. Ordenar los tamices en el siguiente orden de manera ascendente, primero la bandeja, luego los tamices #4, 3/8", 1", 1 1/2" y 2".
3. Colocar la muestra sobre los tamices.
4. Mover los tamices para que la muestra pase a través de estos.
5. Pesarse el material retenido en cada tamiz.

El tamiz anterior al tamiz que primero acumule más del 15% de la muestra será el que contenga al agregado con el tamaño nominal máximo.

2.3.11 Contenido de humedad del agregado grueso (NTE INEN 862)

El procedimiento y cálculo del contenido de humedad del árido grueso es muy similar al de la absorción del árido grueso con la única diferencia que el agregado se encontrara en estado natural, lo que se realizara a la muestra es secarla en el horno hasta eliminar la humedad de la muestra [73].

2.3.12 Contenido de humedad del agregado fino (NTE INEN 862)

El procedimiento y cálculo del contenido de humedad del agregado fino es muy similar al de la absorción del agregado fino con la única diferencia que el agregado se encontrara en estado natural, lo que se realizara a la muestra es secarla en el horno hasta eliminar la humedad de la muestra. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto de la masa seca es la humedad del árido [73].

2.3.13 Elaboración de probetas de hormigón (NTE INEN 1576)

El procedimiento que se debe llevar a cabo para la fabricación de las probetas es:

1. Llenar los moldes en 3 capas, cada una del mismo volumen, dando 25 golpes con una varilla en cada capa repartiendo uniformemente los golpes.
2. Golpear el molde con un martillo de goma de 10 a 15 veces para sacar el aire atrapado en la mezcla.
3. Enrasar la superficie de hormigón en el recipiente.
4. Colocar en el tanque de curado durante 24 horas a las probetas a una temperatura entre 16 y 27 °C.

2.3.14 Dosificación por el método ACI 211.1

Para la dosificación de hormigón de peso normal se debe revisar el método ACI 211.1, algunas recomendaciones para hacer uso del método se encuentran en el capítulo 5, Calidad del Concreto, Mezclado y Colocación, de la ACI 318 – 11.

Una de las recomendaciones que se da en el código ACI 318 – 11 es la del cálculo de la desviación estándar, cuando se tiene el registro de 30 ensayos consecutivos con materiales y resultados similares. La desviación estándar se calculará empleando la siguiente fórmula:

$$S_s = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)} \right]^{1/2}$$

Donde:

S_s = desviación estándar de la muestra, MPa

x_i = ensayo individual de la resistencia (ensayo de 2 probetas de 15 x 30 cm o de 2 probetas de 10 x 20 cm)

\bar{x} = promedio de n resultados de ensayos de resistencia

n = número de ensayos consecutivos de resistencia

Cuando se cuenta con el registro de dos ensayos diferentes pero que en total sumados estos den 30 ensayos como mínimo, se empleará la siguiente fórmula:

$$\bar{S}_s = \left[\frac{(n_1 - 1)(s_{s1})^2 + (n_2 - 1)(s_{s2})^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]^{1/2}$$

Donde:

\bar{S}_s = promedio estadístico de la desviación estándar cuando se emplean dos registros de ensayos para calcular la desviación estándar de la muestra

S_{s1}, S_{s2} = desviaciones estándar de la muestra calculadas de dos registros de ensayos 1 y 2 respectivamente

n_1, n_2 = número de ensayos en cada registro de ensayos

En caso de no contar con el número mínimo de 30 ensayos, pero con un mínimo de 15, a la desviación estándar calculada se le agrega un factor de la tabla 3 [27].

Tabla 3. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos [27].

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra
Menos de 15	Emplee la Tabla 5.3.2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

La resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} , se determina usando la tabla 4, esta tabla se emplea cuando existen datos para el cálculo de la desviación estándar [27].

Tabla 4. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra [27].

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-2) $f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$ (5-1) $f'_{cr} = f'_c + 2.33S_s - 3.5$ (5-2)
$f'_c > 35$	Usar el mayor valor obtenido con las ecuaciones (5-1) y (5-3) $f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$ (5-1) $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33S_s$ (5-3)

Si no se cuenta con los datos necesarios para calcular la desviación estándar, se debe utilizar la tabla 5 para calcular la resistencia promedio.

Tabla 5. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra [27].

Resistencia especificada a la compresión. MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión. MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión. Kgf/cm ²
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$21 \leq f'_c < 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$	$f'_{cr} = f'_c + 84$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 50$

Los pasos antes mencionados son consideraciones que se dan en la ACI 318 para la dosificación de hormigones, para continuar se deben seguir los siguientes pasos que se indican en la ACI 211.1 para la dosificación y estos son:

1. **Determinar la resistencia de diseño**
2. **Elección de asentamiento**

Tabla 6. Descensos recomendados para diversos tipos de construcciones [58].

ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES		
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Asentamientos (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación de hormigón armado	7.50	2.50
Zapatas, cajones y muros de subestructura	7.50	2.50
Vigas y muros de hormigón armado	10.00	2.50
Columnas	10.00	2.50
Pavimentos y losas	7.50	2.50
Concreto masivo, construcciones ciclópeas	7.50	2.50

3. Elección del tamaño máximo de agregado

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no puede superar a:

- a) $1/5$ de la menor separación entre los lados del encofrado, ni a
- b) $1/3$ de la altura de la losa, ni a
- c) $3/4$ del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos [74].

4. Cálculo de agua de mezclado y contenido de aire

Para obtener la cantidad de agua y aire atrapado en 1 m^3 de hormigón se debe interceptar el asentamiento y el tamaño nominal máximo del agregado grueso previamente seleccionados en la siguiente tabla.

Tabla 7. Requerimiento de agua y aire atrapado en el hormigón [58]

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
Asentamiento (cm)	Agua(kg/m³) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150 mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado en el hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el hormigón								
Exposición leve *	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada*	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema*	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

*** Exposición a congelación**

5. Selección de la relación a/c

Con la resistencia especificada se selecciona la relación agua-cemento.

Tabla 8. Relación agua-cemento con relación a la resistencia [58].

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm²	Relación agua cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

6. Cálculo del contenido de cemento

Se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$C = \frac{W}{(W/C)}$$

Donde:

C = Masa de cemento para 1 m³ de hormigón

W = Masa de agua para 1 m³ de hormigón

W/C = Relación agua – cemento

7. Estimación del contenido de agregado grueso

Se intercepta en la siguiente tabla el valor del agregado grueso especificado anteriormente con el valor del módulo de finura de la arena.

Tabla 9. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón [58].

Tamaño nominal máximo del agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

El volumen de ripio que se obtiene es aparente y se hace uso de la siguiente fórmula para determinar la cantidad de ripio.

$$R = VAR * DARc$$

Donde:

R = Cantidad de ripio para 1 m³ de hormigón

VAR = Volumen aparente de ripio para 1 m³ de hormigón

DARc = Densidad aparente compactada del ripio

8. Estimación del contenido de agregado fino

Para esta estimación se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_A = 1 - (V_W + V_C + V_R + V_{Aire})$$

Donde:

V_A = Volumen de arena para 1 m³ de hormigón

V_W = Volumen de agua para 1 m³ de hormigón

V_R = Volumen de ripio para 1 m³ de hormigón

V_{Aire} = Volumen de aire para 1 m³ de hormigón

Para determinar la cantidad de agregado fino utilizamos la siguiente fórmula:

$$A = V_A * D_{RA}$$

Donde:

A = Cantidad de arena para 1 m³ de hormigón

V_A = Volumen de arena para 1 m³ de hormigón

D_{RA} = Densidad real de la arena

9. Ajuste por humedad del agregado

Para el ajuste por humedad de los agregados se debe determinar el peso del agregado húmedo y la cantidad de agua de la mezcla.

a) Peso del agregado húmedo

$$M_{R-Hum} = M_R * (1 + w_R)$$

Donde:

M_{R-Hum} = Masa de ripio húmeda o natural

M_R = Masa de ripio para 1 m³ de hormigón

w_R = Contenido de humedad del ripio

$$M_{A-Hum} = M_A * (1 + w_A)$$

M_{A-Hum} = Masa de arena húmeda o natural

M_A = Masa de arena para 1 m³ de hormigón

w_A = Contenido de humedad de la arena

b) Cantidad de agua de mezcla

Se deben utilizar las siguientes fórmulas para determinar la cantidad de agua de mezcla:

$$Agua_T = W - Agua_R - Agua_A$$

Donde:

$Agua_T$ = Cantidad de agua para 1 m³ de hormigón

W = Cantidad de agua aproximada de mezclado para 1 m³ de hormigón

$$Agua_R = M_{R-Hum}(w_R - Abs_R)$$

$Agua_R$ = Cantidad de agua que el ripio aporta o quita

M_{R-Hum} = Masa de ripio húmeda o natural

w_R = Contenido de humedad del ripio

Abs_R = Capacidad de absorción del ripio

$$Agua_A = M_{A-Hum}(w_A - Abs_A)$$

$Agua_A$ = Cantidad de agua que la arena aporta o quita

M_{A-Hum} = Masa de arena húmeda o natural

w_A = Contenido de humedad de la arena

Abs_A = Capacidad de absorción de la arena

10. Ajustes en las mezclas de prueba

Se realiza las mezclas con la dosificación obtenida y en caso de ser necesario se realiza otra vez el proceso de diseño desde el inicio, pero ahora contando con los datos obtenidos de las pruebas realizadas a la mezcla.

2.3.15 Metodología de programación

Para la programación se utilizaron librerías, una librería dentro del campo de la programación se puede definir como un archivo importable que está compuesto por datos y código, con la finalidad de ser utilizados por otros programas para desarrollar software [75].

```
#####NOTA : TENER CUIDADO AL MOMENTO DE IMPORTAR LIBRERÍAS DADO QUE LA SINTAXIS DE IMPORTACIÓN CAMBIA CON
#####ACTUALIZACIONES DE ESTAS Y DE PYTHON#####
from PyQt5.uic import*
from PyQt5 import QtWidgets

from tkinter import *
#from tkinter import messagebox
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox as mb
#gráficos
import math
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt
from PyQt5.uic import loadUi
from PyQt5 import QtWidgets
from PyQt5.QtWidgets import QMainWindow, QApplication

#####
from docx import Document # libreria para crear reporte en doc word
from docx.enum.text import WD_ALIGN_PARAGRAPH
from docx.shared import Cm
from docx2pdf import convert

#####
#librerías para el gráfico
from matplotlib.backends.backend_qt5agg import FigureCanvasQTAgg as FigureCanvas

# librerías para el gráfico
#importar librería matplotlib para mostrar gráficos de la contabilización de predicción
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg, NavigationToolbar2Tk
from matplotlib.figure import Figure
import matplotlib.pyplot as plt
from pandas import DataFrame
```

Figura 29. Librerías utilizadas

Las librerías que se utilizaron son las siguientes:

PyQt5, esta librería permite que los widgets creados en Qt Designer puedan ser manipulados mediante código de programación [76].

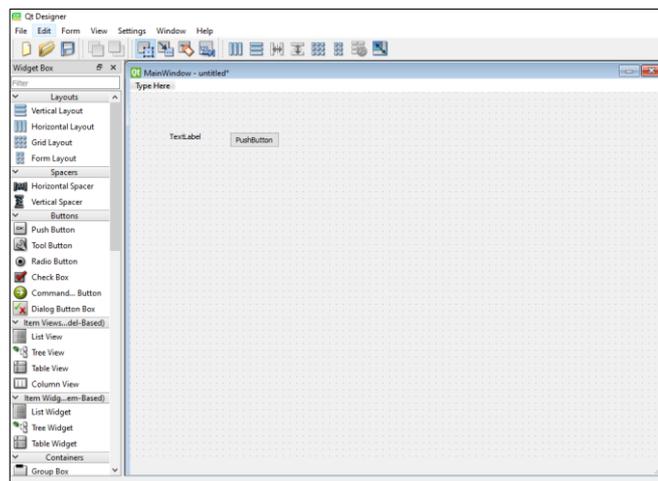


Figura 30. Qt Designer – Widgets

La conexión de Qt Designer y Python se realiza mediante la creación de clases y funciones dentro del programa. Se hizo uso de las clases para llamar a la interfaz creada en Qt Designer, de esta manera se puede utilizar la GUI para el ingreso y salida de datos [77].

```

class MainWindow(QMainWindow):
    def __init__(self):
        QMainWindow.__init__(self)
        # self.ui = Ui_MainWindow()
        # self.ui.setupUi(self)
        self.ui = uic.loadUi("programa.ui", self)
        self.calcular_boton.clicked.connect(self.calcular)

        #NOTA:
        #=====
        # Programación del botón para que aparezca la Tabla 1
        self.tabla_1.clicked.connect(self.conectar)
        self.ventana=Ventana()
        #=====
        #Programación de nota sobre la densidad del cemento
        self.dcem.clicked.connect(self.notac)
        self.notacemento=Notacemento()
        #=====
        # nota sobre los datos a ingresar en el apartado del agregado fino
        self.notaaf.clicked.connect(self.naf)
        self.netel=Netel()
        #=====

```

Figura 31. Creación de una clase

Las funciones dentro del programa se utilizaron para la programación de instrucciones a ejecutarse. Por ejemplo, al momento de dar clic en cerrar la función creada desplegará una ventana con la pregunta de si desea salir o no.

```

def closeEvent(self, event):
    msgBox = QMessageBox(self)
    msgBox.setWindowTitle('Salir')
    msgBox.setText(';Seguro que desea salir?')
    msgBox.setIcon(QMessageBox.Question)
    connectbtn = msgBox.addButton("Si", QMessageBox.ActionRole)
    negtbtn = msgBox.addButton("No", QMessageBox.ActionRole)

    msgBox.exec_()
    if msgBox.clickedButton() == connectbtn:
        event.accept()
    elif msgBox.clickedButton() == negtbtn:
        event.ignore()

```

Figura 32. Creación de una función

Tkinter, es una librería que permite la creación de interfaces gráficas a base de la creación de una ventana, en donde se irán programando cada widget que se utilizará. Se empleó para la creación de las gráficas de edad vs resistencia.

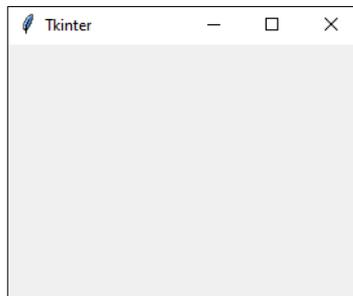


Figura 33. Ventana de Tkinter

Matplotlib, es una librería que se usó para la creación de gráficas, esta permite escoger los diferentes estilos que se tendrán en las líneas, marcadores, las cuadrículas y otras propiedades de los gráficos.

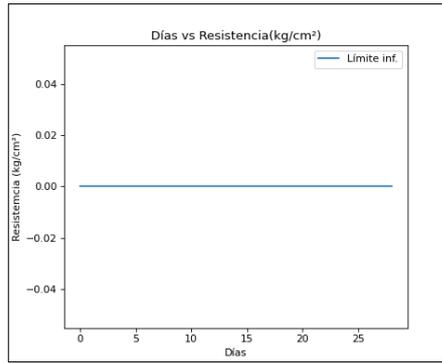


Figura 34. Programación del gráfico

Pandas permite el manejo de datos de tablas, se la empleo en el manejo de los valores a ingresar para las gráficas de edad vs resistencia.

Las librerías de Python-docx y docx2pdf fueron usadas para la creación del reporte que se genera en el programa. Python-docx permite la creación de archivos en formato .docx y Docx2pdf permite la creación de archivos de formato PDF.

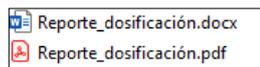


Figura 35. Archivos generados por el programa

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Luego de haber realizado los ensayos al cemento, ripio y la arena se detalla a continuación un resumen de los resultados que se obtuvieron para cada una de las propiedades que se analizaron como la densidad, módulo de finura, granulometría, capacidad de absorción, contenido de humedad y de la resistencia a compresión de los especímenes de hormigón.

El valor que se determinó al realizar el ensayo de la densidad real al cemento es de 2.903 g/cm^3 , de la arena se obtuvo 2.451 g/cm^3 y del ripio es 2.524 g/cm^3 . En los ensayos para la determinación de la densidad aparente suelta de la arena se encontró que esta es 1.587 kg/dm^3 y la del ripio 1.351 kg/dm^3 , al realizar el ensayo de la densidad aparente compactada del ripio el valor que se obtuvo es de 1.424 kg/dm^3 .

En el ensayo de granulometría usando los tamices cuadrados para el agregado grueso se determinó que el tamaño nominal máximo (TNM) es de 1 pulgada y al utilizar los tamices redondos se obtuvo que el módulo de finura del agregado fino es de 2.53. Al realizar el ensayo al ripio se determinó que su contenido de humedad es de 0.66 % y de la arena es de 0.58 % y al llevar a cabo el ensayo de capacidad de absorción el valor es de 2.77 % para la arena y de 2.39 % para el ripio.

La mezcla para las 3 dosificaciones 180 kg/cm^2 , 210 kg/cm^2 y 240 kg/cm^2 , se realizó usando el método del ACI 211.1, los valores de estas dosificaciones se obtuvieron haciendo uso del software programado en lenguaje de programación Python, la resistencia a la compresión que se alcanzó al ensayar las probetas en la máquina de compresión es satisfactorio ya que el promedio de las 3 probetas es mayor que el $f'c$ especificado.

3.1.1 Granulometría del agregado grueso

Tabla 10. Granulometría del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:		Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:		Egdo. William Rodríguez	FECHA:	1/2/2022	
PESO MUESTRA (gr):		10000	%PÉRDIDA:	0.05	
NORMA:		NTE INEN 696			
Tamiz	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límites ASTM % que pasa
2"	0	0	0	100	100
1 1/2"	0	0	0	100	95 -- 100
1"	1103.2	1103.2	11.03	88.968	-
3/4"	2104.56	3207.76	32.07	67.9224	35 -- 70
1/2"	4276.56	7484.32	74.84	25.1568	-
3/8"	1500.25	8984.57	89.85	10.1543	10 -- 30
# 4	898.2	9882.77	98.83	1.1723	0 --- 5
Fuente	112.2	9994.97	99.95	0.0503	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO			1"		

CURVA GRANULOMÉTRICA

— % ACUMULADO
 - - - LÍMITE INFERIOR
 - - - LÍMITE SUPERIOR

Se realizo la granulometría del agregado grueso siguiendo el proceso de la norma NTE INEN 696; el valor que se calculo es de 1 pulgada como tamaño máximo nominal. Según la norma NTE INEN 1576 dentro de los requisitos para la elaboración de probetas recomienda que el diámetro del cilindro debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo del agregado, por lo que para la elaboración de cilindros de 10 x 20 cm es aceptable este tamaño nominal máximo del agregado de 1 pulgada.

3.1.2 Granulometría del agregado fino

Tabla 11. Granulometría del agregado fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:		Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:		Egdo. William Rodríguez	FECHA:		01/02/2022
PESO MUESTRA (gr):		1000	%PÉRDIDA:		0.1
NORMA:		NTE INEN 696			
Tamiz	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límites ASTM % que pasa
3/8"	0	0	0	100	100
# 4	14.5	14.5	0	100	95 --- 100
# 8	126.4	140.9	14.09	85.91	80 --- 100
# 16	140.94	281.84	28.184	71.816	50 --- 85
# 30	216.4	498.24	49.824	50.176	25 --- 60
# 50	204.25	702.49	70.249	29.751	10 --- 30
# 100	206.98	909.47	90.947	9.053	2 --- 10
# 200	58.62	968.09	96.809	3.191	-
BANDEJA	30.86	998.95	99.895	0.105	-
MÓDULO DE FINURA			2.53		
CURVA GRANULOMÉTRICA					
<p> — % ACUMULADO - - - LÍMITE SUPERIOR - - - LÍMITE INFERIOR </p>					

Se siguió la metodología de la NTE INEN 696 para determinar el módulo de finura del agregado fino en el que se tiene el valor de 2.53, el cual es un valor aceptable, ya que en la norma NTE INEN 872 indica que el módulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1 para la fabricación de hormigón.

3.1.3 Contenido de humedad de los áridos

Tabla 12. Contenido de humedad de los áridos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. William Rodríguez	FECHA:	01/02/2022	
NORMA:	NTE INEN 862			
CÁLCULO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO				
DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	E 1	E 2
m1	Masa del recipiente	gr	30.85	30.72
m2	M. recipiente + agregado	gr	169.41	157.87
m3	M. recipiente + agregado seco	gr	168.62	157.14
Mag	Masa agregado	gr	138.56	127.15
Mseco	Masa agregado seco	gr	137.77	126.42
C.H.	Contenido de Humedad	%	0.57	0.58
C.H.	C. HUMEDAD PROMEDIO	%	0.58	
CÁLCULO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO				
DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	E 1	E 2
m1	Masa del recipiente	gr	30.37	30.97
m2	M. recipiente + agregado	gr	179.15	172.00
m3	M. recipiente + agregado seco	gr	178.15	171.10
Mag	Masa agregado	gr	148.78	141.03
Mseco	Masa agregado seco	gr	147.78	140.13
C.H.	Contenido de Humedad	%	0.68	0.64
C.H.	C. HUMEDAD PROMEDIO	%	0.66	

Para determinar el contenido de humedad de los agregados se utilizó el procedimiento detallado en la norma NTE INEN 862, se realizaron dos ensayos para el agregado fino en el cual se obtuvo 0.57% y 0.58%, la diferencia entre estos ensayos es de 0.01%, el cual es menor al 0.28% que especifica la norma cuando el ensayo es realizado por un solo operador. El valor adoptado es el promedio de los dos ensayos 0.58%.

Para el contenido de humedad para el agregado grueso se realizó dos ensayos, en los cuales se obtuvo los resultados de 0.68% y 0.64%, la variación entre estos es de 0.04% el menor al 0.28% que establece la norma cuando estos ensayos han sido realizados por un solo operador. El valor que se considera es el promedio de los dos ensayos el cual es 0.66%.

3.1.4 Densidad real del cemento

En la Tabla 13 se puede observar los resultados de los ensayos que se realizaron para la determinación del valor de la densidad real del cemento.

Tabla 13. Densidad real del cemento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. William Rodríguez	FECHA:	02/02/2022	
NORMA:	NTE INEN 156			
DENOMINACIÓN	DATOS	UNIDAD	E1	E2
Masa del Picnómetro	m1	gr	145.38	145.38
Masa Picnómetro + Cemento	m2	gr	243.93	244.15
Picnómetro + Cemento + Gasolina	m3	gr	585.55	585.61
Masa Gasolina Añadida	$m4 = m3 - m2$	gr	341.62	341.46
Picnómetro + 500 cc de Gasolina	m5	gr	511.79	511.86
Masa 500 cc de Gasolina	$m6 = m5 - m1$	gr	366.41	366.48
Densidad de la Gasolina	$dg = m6 / 500cc$	gr/cm ³	0.732	0.732
Masa de Gasolina desalojada	$m7 = m6 - m4$	gr	24.79	25.02
Masa del Cemento	$mc = m2 - m1$	gr	98.55	98.77
Volumen de Gasolina desalojada	$Vc = m7 / dg$	cm ³	33.828	34.136
Densidad del cemento	$dc = mc / Vc$	gr/cm ³	2.913	2.893
Densidad promedio del cemento	p	gr/cm ³	2.903	

En los ensayos para determinar la densidad real del cemento usando el picnómetro se obtuvieron los resultados de 2.913 g/cm³ y 2.893 g/cm³, con una diferencia de 0.02 g/cm³ entre los ensayos, lo cual no supera la variación de 0.03 g/cm³ que se especifica en la norma. El valor que se toma es el de 2.903 g/cm³ el cual es el valor promedio de los ensayos realizados.

Los valores de la densidad real entre los cuales oscila el cemento Portland son de 2.90 g/cm³ a 3.15 g/cm³, el valor que se estableció es de 2.903 g/cm³ el cual está dentro de este rango por lo que se toma como válido este resultado.

3.1.4 Densidad real de la arena y capacidad de absorción de la arena

En la Tabla 14 se detallan los resultados de los ensayos realizados a la arena para determinar su densidad real.

Tabla 14. Densidad real de la arena y capacidad de absorción de la arena

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI				
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. William Rodríguez	FECHA:	02/02/2022	
NORMA:	INEN 856			
DENOMINACIÓN	DATOS	UNIDAD	E1	E2
Masa del frasco	m1	gr	145.38	145.38
Masa del frasco + Agregado SSS	m2	gr	644.34	645.25
Masa del frasco + Agregado SSS + Agua	m3	gr	938.20	941.68
Masa agua añadida	$m4 = m3 - m2$	gr	293.86	296.43
Masa del frasco + 500 cc de agua	m5	gr	644.29	644.35
Masa de 500 cc de agua	$m6 = m5 - m1$	gr	498.91	498.97
Densidad del agua	$dg = m6 / 500cc$	gr/cm ³	1.000	1.000
Masa del agua desalojada	$m7 = m6 - m4$	gr	205.05	202.54
Masa del agregado	$M_{sss} = m2 - m1$	gr	498.96	499.87
Volumen del agua desalojada	$V_{sss} = m7 / dg$	cm ³	205.05	202.54
Densidad real de la arena	$DRA = M_{sss} / V_{sss}$	gr/cm ³	2.433	2.468
DENSIDAD REAL DE LA ARENA PROMEDIO	DRAP	gr/cm ³	2.451	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
DENOMINACIÓN	DATOS	UNIDAD	E1	E2
Masa del recipiente	m1	gr	32.34	30.93
M. recipiente + agregado	m2	gr	192.77	180.25
M. recipiente + agregado seco	m3	gr	188.42	176.25
Masa agregado SSS	M _{sss}	gr	160.43	149.32
Masa agregado seco	M _{seco}	gr	156.08	145.32
Capacidad absorción	C.A.	%	2.79	2.75
C. ABSORCIÓN PROMEDIO	C.A.	%	2.77	

Se obtuvo el valor de 2.451 g/cm^3 para la densidad real de la arena y de 2.77% para la capacidad de absorción. En el estudio realizado por Revelo [78], se especifica que el rango entre el que debe encontrarse la densidad real de la arena es de 2.21 g/cm^3 a 2.67 g/cm^3 , y la capacidad de absorción debe estar entre 0% y 3% por lo cual este material cumple satisfactoriamente con los límites especificados

3.1.5 Densidad real y capacidad de absorción del ripio

En la Tabla 15 se puede observar el valor que se determinó al realizar los ensayos de densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

Tabla 15. Densidad real y capacidad de absorción del ripio

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI				
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. William Rodríguez	FECHA:	02/02/2022	
NORMA:	INEN 857			
DENOMINACIÓN	DATOS	UNIDAD	E1	E2
Masa canastilla en el aire	m1	gr	1170	1170
Masa canastilla + Agregado SSS en el aire	m2	gr	3908	3915
Masa del agregado SSS en el aire	$M_{sss} = m2 - m1$	gr	2738	2745
Masa canastilla + Agregado SSS en el agua	m3	gr	2665	2661
Masa canastilla en el agua	m4	gr	1006	1009
Masa del agregado en el agua	$M_{agua} = m3 - m4$	gr	1659	1652
Volumen del agregado	$V_{sss} = ((M_{sss} - M_{agua}) / D_{agua})$	cm ³	1079	1093
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	DRR	gr/cm ³	2.538	2.511
DENSIDAD REAL DEL RIPIO PROMEDIO	DRRP	gr/cm ³	2.524	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
DENOMINACIÓN	DATOS	UNIDAD	E1	E2
Masa del recipiente	m1	gr	30.37	30.97
M. recipiente + agregado	m2	gr	172.65	179.43
M. recipiente + agregado seco	m3	gr	169.45	175.84
Masa agregado SSS	M_{sss}	gr	142.28	148.46
Masa agregado seco	M_{seco}	gr	139.08	144.87
Capacidad absorción	C.A.	%	2.30	2.48
C. ABSORCIÓN PROMEDIO	C.A.	%	2.39	

Mediante la norma NTE INEN 857 se realizaron ensayos para determinar la densidad real del ripio los resultados obtenidos son 2.538 g/cm^3 y 2.511 g/cm^3 , tomándose el promedio de los valores anteriores como valor de la densidad real del ripio 2.524 g/cm^3 . En relación con el valor de la capacidad de absorción el valor que se obtiene del promedio de los dos ensayos realizados es 2.39%.

El rango dentro del que se deben encontrar estos valores son 2.33 g/cm^3 a 2.75 g/cm^3 para la densidad real del ripio y del 0% al 3% para la capacidad de absorción [78], por lo que los valores determinados en los ensayos son aceptables ya que se encuentran dentro de los rangos antes mencionados.

3.1.6 Densidad aparente suelta del agregado fino y grueso

Tabla 16. Densidad aparente suelta del agregado fino y grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI				
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
ORIGEN:		Cantera Villacrés		
ENSAYADO POR:		Egdo. William Rodríguez		
MASA DEL RECIPIENTE (kg)		9.8	FECHA:	03/02/2022
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm³)		20.504		
NORMA:		NTE INEN 858		
AGREGADO	MASA REC. + AGREGADO Kg	MASA AGREGADO Kg	DENS. APARENTE SUELTA Kg/dm ³	DENSIDAD PROMEDIO Kg/dm ³
Fino	42.2	32.4	1.580	1.587
	42.5	32.7	1.595	
Grueso	37.4	27.6	1.346	1.351
	37.6	27.8	1.356	

3.1.7 Densidad aparente compactada del agregado grueso

Tabla 17. Densidad aparente compactada del agregado grueso

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:		Cantera Villacrés		
ENSAYADO POR:		Egdo. William Rodríguez		
MASA DEL RECIPIENTE (kg):		9.8	FECHA:	03/02/2021
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm³):		20.504		
NORMA:		NTE INEN 858		
AGREGADO	MASA REC. + AGREGADO Kg	MASA AGREGADO Kg	DENS. APARENTE SUELTA Kg/dm ³	DENSIDAD PROMEDIO Kg/dm ³
Grueso	39.1	29.3	1.429	1.424
	38.9	29.1	1.419	

Basado en el procedimiento de la norma NTE INEN 858 para los ensayos de densidad aparente suelta y compactada se determinó que la densidad aparente suelta del agregado fino es de 1.587 kg/dm³, la densidad aparente suelta del agregado grueso es de 1.351 kg/dm³, y el valor de la densidad aparente compactada del agregado grueso es de 1.424 kg/dm³.

3.1.8 Interfaz del programa

Al ejecutar el programa la ventana que aparece es la siguiente, la cual muestra el nombre del programa, una breve descripción, nombre del autor y el icono del programa. Luego de 5 segundos se cierra esta ventana y aparece otra en donde se ingresan los datos para los cálculos.



Figura 36. Interfaz de ingreso al programa

La siguiente ventana que aparece es la de la Figura 37, en el apartado de las generalidades de diseño, el List Box permite elegir hormigón con aire incluido o sin aire incluido. En la siguiente casilla se ingresará la resistencia que se quiere alcanzar con la dosificación, en la casilla del asentamiento se ingresa un valor de slump requerido. En el recuadro con un símbolo de pregunta que se encuentra a lado de la casilla del ingreso del asentamiento se tiene una tabla con recomendaciones de asentamientos para diferentes elementos estructurales.

Figura 37. Interfaz del programa

La densidad del cemento se lo obtendrá de ensayos de laboratorio, en el recuadro con el símbolo de pregunta a lado de la casilla del ingreso de la densidad del cemento se tiene una nota que indica que en caso de no contar con este dato se usará un valor de 3.000 g/cm³. En la casilla para ingresar el peso de la bolsa de cemento se ingresará el peso en kg.

GENERALIDADES DEL DISEÑO	
Hormigón	Sin aire incluido
Ingrese f'c requerido (Kg/cm ²)	180
Asentamiento (cm)	8 ?
Densidad del cemento (kg/dm ³)	2.903 ?
Peso del saco de cemento (kg)	50

Figura 38. Ingreso de datos de generalidades de diseño

En los datos del agregado fino, se deben ingresar los valores de la densidad específica del agregado fino, densidad aparente suelta, módulo de finura, capacidad de absorción (%) y contenido de humedad (%). En la nota que se encuentra en la parte inferior se indica que todos estos datos se deben obtener de ensayos realizados en el laboratorio.

DATOS DEL AGREGADO FINO	
Gravedad específica (kg/dm ³)	2.451
Densidad aparente suelta (kg/dm ³)	1.587
Módulo de finura	2.53
Capacidad de absorción (%)	2.77
Contenido de Humedad (%)	0.58
i NOTA	

Figura 39. Ingreso de datos del agregado fino

En los datos del agregado grueso, en el List Box se elige el tamaño nominal máximo, se deben ingresar los valores de la densidad aparente compactada y suelta, la densidad específica, capacidad de absorción (%) y contenido de humedad (%). En la

nota que se encuentra en la parte inferior se indica que todos estos datos se deben obtener de ensayos realizados en el laboratorio.

DATOS DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo del agregado (mm)

Densidad aparente compactada (kg/dm³)

Densidad aparente suelta (kg/dm³)

Gravedad específica (kg/dm³)

Capacidad de absorción (%)

Contenido de Humedad (%)

NOTA

Figura 40. Ingreso de datos del agregado grueso

En la casilla de volumen para prueba, se ingresará el valor del volumen de las probetas que se van a elaborar para comprobar que la dosificación es correcta. Para verificar la resistencia de las probetas estas se someterán a ensayos de compresión. En el apartado de numero de probetas, se ingresa el valor del número de especímenes a fabricar, este dato se reflejará en la tabla resumen que aparece en el reporte generado por el programa.

En el volumen de la parihuela se ingresa el dato del volumen del recipiente que se utilizará para agregar el agregado fino y grueso en la concretera para un saco de cemento. Los recuadros con símbolos de pregunta contienen notas de que datos se deben ingresar.

Una vez ingresado todos los datos se da clic en el botón calcular y aparecerán los resultados en la tabla de la parte inferior.

CONCRETE V1.0 (2022)

GENERALIDADES DEL DISEÑO

Hormigón

Ingreso f_c requerido (kg/cm²)

Asentamiento (cm) ?

Densidad del cemento (kg/dm³) ?

Peso del saco de cemento (kg)

DATOS DEL AGREGADO FINO

Gravedad específica (kg/dm³)

Densidad aparente suelta (kg/dm³)

Módulo de finura

Capacidad de absorción (%)

Contenido de Humedad (%)

NOTA

DATOS DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo del agregado (mm)

Densidad aparente compactada (kg/dm³)

Densidad aparente suelta (kg/dm³)

Gravedad específica (kg/dm³)

Capacidad de absorción (%)

Contenido de Humedad (%)

NOTA

DOSIFICACIÓN REQUERIDA DEL HORMIGÓN

Volumen para prueba (m³) ? Número de probetas Volumen de la parihuela (dm³) ?

	Cantidades Corregidas (m ³)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco (kg)	Dosif. en volumen en obra	Cantidades para pruebas (kg)
Agua	225.93	0.71	35.7	35.7	litros 3.19
Cemento	316.39	1.0	50.0	1.0	saco 4.46
Arena	714.36	2.26	112.89	2.63	parihuelas 10.07
Ripio	999.08	3.16	157.89	4.33	parihuelas 14.09

American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge

Figura 41. Resultados del programa

Al dar clic en el botón Grafico de Resistencia por Edades se desplegará la siguiente ventana, en la tabla que aparece se ingresa los datos de las resistencias que se obtuvieron en los días que se ensayaron. Si no se cuenta con el valor de resistencia de algún día se ingresa el valor de cero, luego se da clic en Graficar y aparece una gráfica que indica como se fue incrementando la resistencia con el pasar de los días.

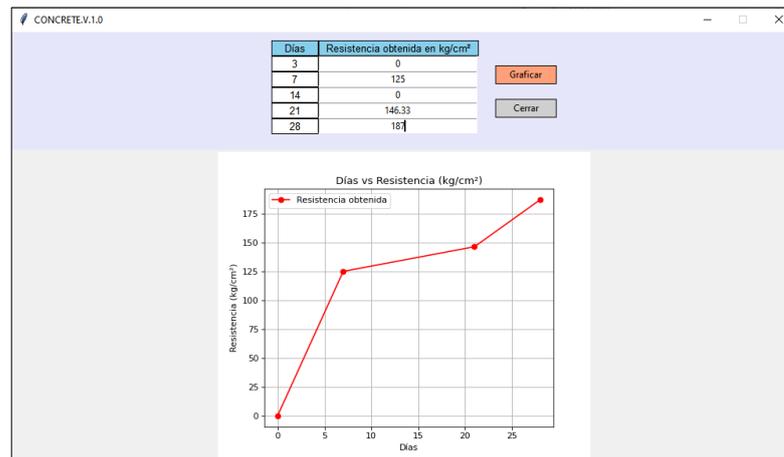


Figura 42. Gráfico de edad vs resistencia

3.1.9 Cálculos realizados manualmente

A continuación, se detalla una dosificación realizada de manera manual para un hormigón de resistencia a la compresión de 180 kg/cm²

Datos	Nomenclatura	Valor	Unidad
Hormigón	-	Sin aire incluido	-
f ^c requerido	-	180	kg/cm ²
Asentamiento	-	8	cm
Densidad real del cemento	DRC	2.903	kg/dm ³
Densidad real de la arena	DRA	2.451	kg/dm ³
Densidad real del ripio	DRR	2.524	kg/dm ³
Densidad aparente suelta de la arena	DAA	1.587	kg/dm ³
Densidad aparente suelta del ripio	DAR	1.351	kg/dm ³
Densidad aparente compactada del ripio	DARc	1.424	kg/dm ³
Módulo de finura de la arena	MF	2.53	-
Capacidad de absorción de la arena	CAA	2.77	%
Capacidad de absorción del ripio	CAR	2.39	%
Contenido de humedad de la arena	CHA	0.58	%
Contenido de humedad del ripio	CHR	0.66	%
Tamaño máximo del ripio	TNM	1	pulg.

Pasos:

1. Resistencia promedio requerida

Resistencia especificada: 180 kg/cm²

De acuerdo con la tabla 5, se debe utilizar la siguiente fórmula para determinar la resistencia promedio requerida:

Tabla 5. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra [27].

Resistencia especificada a la compresión. MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión. MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión. Kgf/cm ²
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$21 \leq f'_c < 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$	$f'_{cr} = f'_c + 84$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 50$

Fuente: ACI 318 -11

$$f'_{cr} = f'_c + 70$$

$$f'_{cr} = 180 \text{ kg/cm}^2 + 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

La resistencia de diseño será igual a

$$f'_{cr} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

2. Elección del asentamiento

El asentamiento considerado es de 8 cm

Tabla 6. Descensos recomendados para diversos tipos de construcciones [58].

ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES		
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Asentamientos (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación de hormigón armado	7.50	2.50
Zapatas, cajones y muros de subestructura	7.50	2.50
Vigas y muros de hormigón armado	10.00	2.50
Columnas	10.00	2.50
Pavimentos y losas	7.50	2.50
Concreto masivo, construcciones ciclópeas	7.50	2.50

Fuente: ACI 211.1 - 91

3. Elección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado es de 25 mm

4. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

De la tabla número 7, la cantidad de agua para 1 m³ con un asentamiento de 8 cm y un tamaño máximo del agregado grueso de 25 mm es igual a 193 kg y el porcentaje de aire atrapado es de 1.5 %

Tabla 7. Requerimiento de agua y aire atrapado en el hormigón [58]

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
Asentamiento (cm)	Agua(kg/m³) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150 mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado en el hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el hormigón								
Exposición leve*	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada*	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema*	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

*Exposición a congelación

Fuente: ACI 211.1 - 91

5. Selección de la relación agua - cemento

De la tabla 8, se selecciona la relación agua/cemento para satisfacer la resistencia de 250.0 kg/cm²

Tabla 8. Relación agua-cemento con relación a la resistencia [58].

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm²	Relación agua cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Fuente: ACI 211.1 - 91

Para la resistencia requerida de 250.0 kg/cm², se tiene una relación w/c = 0.61

6. Cálculo del contenido de cemento

Conocida la cantidad de agua y dosificación de la misma (relación agua-cemento) se puede calcular la cantidad de cemento aplicando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W}{C} * C$$

$$C = \frac{W}{W/C}$$

$$C = \frac{193 \text{ kg}}{0.61}$$

$$C = 316.39 \text{ kg}$$

7. Estimación del contenido de agregado grueso

Tabla 9. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón [58].

Tamaño nominal máximo del agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1 - 91

Haciendo uso del dato del tamaño máximo del ripio 25 mm con el del módulo de finura de la arena 2.53 y realizando una interpolación se obtendrá el volumen del agregado grueso seco y compactado por cada metro cúbico de hormigón.

$$Y_2 = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} * (X_2 - X_0)$$

$$X_0 = 2.40 \quad Y_0 = 0.71$$

$$X_2 = 2.53 \quad Y_2 = ?$$

$$X_1 = 2.60 \quad Y_1 = 0.69$$

$$Y_2 = 0.71 + \frac{0.69 - 0.71}{2.60 - 2.40} * (2.53 - 2.40)$$

$$Y_2 = 0.697 \text{ m}^3$$

El volumen de agregado grueso seco y compactado es de 0.697 m³ por cada metro cúbico.

El volumen de ripio obtenido es aparente y aplicando la fórmula de la densidad calculamos el peso del ripio requerido.

$$R = VAR \times DARc$$

Donde:

R = Cantidad de ripio para un metro cúbico de hormigón

DARc: Densidad aparente compactada del ripio

VAR: Volumen de agregado grueso seco y compactado

Transformar de m³ a dm³ el volumen de agregado grueso seco y compactado para calcular la cantidad de ripio para un metro cúbico de hormigón.

$$0.697 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ dm}^3}{1 \text{ m}^3} = 697 \text{ dm}^3$$

$$R = VAR \times DAR$$

$$R = 697 \text{ dm}^3 \times 1.424 \text{ kg/dm}^3$$

$$R = 992.53 \text{ kg}$$

8. Estimación del contenido de agregado fino

Para determinar el volumen de arena para un metro cúbico se utilizará la siguiente fórmula:

$$V_A = 1000 \text{ dm}^3 - (V_W + V_C + V_R + V_{\text{Aire}})$$

Donde:

V_A = Volumen de arena para 1 m³ de hormigón

V_W = Volumen de agua para 1 m³ de hormigón

V_R = Volumen de ripio para 1 m³ de hormigón

V_{Aire} = Volumen de aire para 1 m³ de hormigón

$$V_A = 1000 - (V_W + \frac{C}{DRC} + \frac{R}{DRR} + \%Aire * 1000 \text{ dm}^3)$$

$$V_A = 1000 \text{ dm}^3 - (193 \text{ dm}^3 + \frac{316.39 \text{ kg}}{2.903 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} + \frac{992.53 \text{ kg}}{2.524 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} + \frac{1.5}{100} * 1000 \text{ dm}^3)$$

$$V_A = 289.78 \text{ dm}^3$$

Para determinar la cantidad de agregado fino utilizamos la siguiente fórmula:

$$A = V_A * D_{RA}$$

Donde:

A = Cantidad de arena para 1 m³ de hormigón

V_A = Cantidad de arena para 1 m³ de hormigón

D_{RA} = Cantidad de arena para 1 m³ de hormigón

$$A = 289.78 \text{ dm}^3 * 2.451 \text{ kg/dm}^3$$

$$A = 710.25 \text{ kg}$$

9. Ajuste por humedad del agregado

El ajuste por humedad de los agregados involucra dos ajustes

a) El peso del agregado húmedo

Se deben utilizar las siguientes fórmulas:

Agregado grueso

$$M_{R-Hum} = R \times (1 + W_R)$$

Donde:

M_{R-Hum} = Masa de ripio húmeda o natural

R = Masa de ripio para 1 m³ de hormigón

W_R = Contenido de humedad del ripio

$$M_{R-Hum} = 992.53 \text{ kg} \times (1 + 0.0066)$$

$$M_{R-Hum} = 999.08 \text{ kg}$$

Agregado fino

$$M_{A-Hum} = A \times (1 + W_A)$$

Donde:

M_{A-Hum} = Masa de arena húmeda o natural

A = Masa de arena para 1 m³ de hormigón

W_A = Contenido de humedad del ripio

$$M_{A-Hum} = 710.25 \text{ kg} \times (1 + 0.0058)$$

$$M_{A-Hum} = 714.37 \text{ kg}$$

b) Cantidad de agua de la mezcla

Se deben utilizar las siguientes fórmulas para determinar la cantidad de agua de mezcla:

Agregado grueso

$$Agua_R = M_{R-Hum} \times (W_R - Abs_R)$$

$Agua_R$ = Cantidad de agua que el ripio aporta o quita

M_{R-Hum} = Masa de ripio húmeda o natural

W_R = Contenido de humedad del ripio

Abs_R = Capacidad de absorción del ripio

$$Agua_R = 999.08 \text{ kg} \times (0.0066 - 0.0239)$$

$$Agua_R = -17.28 \text{ kg}$$

Agregado fino

$$Agua_A = M_{A-Hum} \times (W_A - Abs_A)$$

$Agua_A$ = Cantidad de agua que la arena aporta o quita

M_{A-Hum} = Masa de arena húmeda o natural

W_A = Contenido de humedad de la arena

Abs_A = Capacidad de absorción de la arena

$$Agua_A = 714.37 \text{ kg} \times (0.0058 - 0.0277)$$

$$Agua_A = -15.64 \text{ kg}$$

La cantidad de agua total se determina usando la siguiente formula:

$$Agua_T = W - Agua_R - Agua_A$$

Donde:

$Agua_T$ = Cantidad de agua para 1 m³ de hormigón

W = Cantidad de agua aproximada de mezclado para 1 m³ de hormigón

$$Agua_T = 193 \text{ kg} - (-17.28 \text{ kg}) - (-15.64 \text{ kg})$$

$$Agua_T = 225.92 \text{ kg}$$

Para convertir de kg a lt se usa el valor de la densidad del agua que es de 1 g/cm³

$$Agua_T = 225.92 \text{ lt}$$

- Cálculos de dosificación al peso

La fórmula utilizada para estos cálculos es la siguiente:

$$Dosificación \text{ del material} = \frac{\text{Cantidad del material}}{\text{Cantidad de demento}}$$

$$Agua = \frac{225.93 \text{ kg}}{316.39 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{Agua = 0.71}$$

$$Cemento = \frac{316.39 \text{ kg}}{316.39 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{Cemento = 1}$$

$$Arena = \frac{714.37 \text{ kg}}{316.39 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{Arena = 2.26}$$

$$Ripio = \frac{999.08 \text{ kg}}{316.39 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{Ripio = 3.16}$$

- Cálculo de cantidades en kg para 1 saco de cemento

El peso de la bolsa de cemento que se usa es de 50.0 kg

Se utiliza la siguiente fórmula para determinar estas cantidades

Material = Peso de la bolsa de cemento x dosificación al peso del material

$$Agua = 50 \text{ kg} \times 0.71$$

$$\mathbf{Agua = 35.5 \text{ kg}}$$

$$Cemento = 50 \text{ kg} \times 1$$

$$\mathbf{Cemento = 50 \text{ kg}}$$

$$Arena = 50 \text{ kg} \times 2.26$$

$$\mathbf{Arena = 113 \text{ kg}}$$

$$Ripio = 50 \text{ kg} \times 3.16$$

$$\mathbf{Ripio = 158 \text{ kg}}$$

- Volumen aparente suelto en dm³ para 1 saco de cemento

La fórmula a utilizar será:

$$\mathbf{Volumen} = \frac{\mathbf{masa}}{\mathbf{densidad}}$$

El valor de la densidad aparente suelta de la arena DAA: 1.587 kg/dm³

El valor de la densidad aparente suelta del ripio DAR: 1.351 kg/dm³

$$Arena = \frac{113 \text{ kg}}{1.587 \text{ kg/dm}^3}$$

$$Arena = 71.20 \text{ dm}^3$$

$$Ripio = \frac{158 \text{ kg}}{1.351 \text{ kg/dm}^3}$$

$$Ripio = 116.95 \text{ dm}^3$$

- Dosificación al volumen en obra

La fórmula que se usará es la siguiente:

$$\mathbf{Volumen} = \frac{\mathbf{masa}}{\mathbf{densidad}}$$

$$Agua = \frac{35.5 \text{ kg}}{1 \text{ kg/1lt}}$$

$$Agua = 35.5 \text{ lt}$$

$$Cemento = 1 \text{ saco}$$

El volumen de la parihuela utilizada para colocar los materiales en la concretetera es de 27 dm³

$$Arena = \frac{71.20 \text{ dm}^3}{27 \text{ dm}^3}$$

$$Arena = 2.64 \text{ parihuelas}$$

$$Ripio = \frac{116.95 \text{ dm}^3}{27 \text{ dm}^3}$$

$$Ripio = 4.33 \text{ parihuelas}$$

Cantidades en kg para elaborar los cilindros y hacer pruebas.

Las dimensiones de los cilindros a elaborar serán de 10 x 20 cm, el número de cilindros a fabricarse será de 9 en total de esta dosificación.

$$V_c = 9x \left(\frac{\pi x D^2}{4} \right) x h$$

$$V_c = 9x \left(\frac{\pi x (0.10m)^2}{4} \right) x 0.20 m$$

$$V_c = 0.0141 m^3$$

El volumen considerado para la elaboración de las 9 probetas es 0.0141 m³

Determinación de la cantidad de cemento para elaborar los cilindros

$$1 m^3 \quad 316.39 \text{ kg}$$

$$0.0141 m^3 \quad \text{Cemento}$$

$$\text{Cemento} = \frac{0.0141 m^3 x 316.39 \text{ kg}}{1 m^3}$$

$$\text{Cemento} = 4.46 \text{ kg}$$

Para dosificar los siguientes materiales se utiliza la siguiente fórmula:

Material = Cemento x dosificación al peso

$$\text{Agua} = 4.46 \text{ kg} x 0.71$$

$$\text{Agua} = 3.17 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 4.46 \text{ kg} x 2.26$$

$$\text{Arena} = 10.08 \text{ kg}$$

$$\text{Ripio} = 4.46 \text{ kg} x 3.16$$

$$\text{Ripio} = 14.09 \text{ kg}$$

En la siguiente tabla resumen se puede observar los valores de dosificación calculados manualmente.

Materiales	Cantidades corregidas para 1m ³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Volumen aparente suelto por cada saco de cemento (dm ³)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 9 probetas (kg)
Agua	225.92	0.71	35.5	-	35.5 lt	3.17
Cemento	316.39	1	50	-	1 saco	4.46
Arena	714.37	2.26	113	71.20	2.64 par.	10.08
Ripio	999.08	3.16	158	116.95	4.33 par	14.09

3.1.10 Cálculos realizados por el programa

El botón de reporte genera un PDF, el cual detalla cada uno de los pasos seguidos para los cálculos de la dosificación con los datos ingresados. En las siguientes capturas de pantalla se pueden observar los resultados que se obtienen al momento de generar el reporte.

MEMORIA DE CÁLCULO SOBRE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN NORMA ACI 211.1

DATOS INGRESADOS

Datos	Valor	Unidad
Hormigón	Sin aire incluido	-
Asentamiento	8	cm
f'c requerido	180	kg/cm ²
Densidad real del cemento	2.903	kg/dm ³
Densidad real de la arena	2.451	kg/dm ³
Densidad real del ripio	2.524	kg/dm ³
Densidad aparente suelta de la arena	1.587	kg/dm ³
Densidad aparente suelta del ripio	1.351	kg/dm ³
Densidad aparente compactada del ripio	1.424	kg/dm ³
Módulo de finura	2.53	-
Capacidad de absorción de la arena	2.77	%
Capacidad de absorción del ripio	2.39	%
Contenido de humedad de la arena	0.58	%
Contenido de humedad del ripio	0.66	%
Tamaño máximo del ripio	25.0	pulg.

1. Resistencia de diseño

Resistencia especificada: 180 kg/cm²

De acuerdo con la tabla número 1, la resistencia de diseño será igual a 250.0 kg/cm²

TABLA 1. RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
Resistencia especificada a la compresión MPa	Resistencia especificada a la compresión kgf/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión Kgf/cm ²
$f'c < 21$	$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 7.0$	$f'cr = f'c + 70$
$21 \leq f'c \leq 35$	$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 8.3$	$f'cr = f'c + 84$
$f'c > 35$	$f'c > 350$	$f'cr = 1.10f'c + 5.0$	$f'cr = 1.10f'c + 50$

Fuente: ACI 318 - 11

2. Elección del asentamiento

El asentamiento considerado es de 8 cm

TABLA 2. DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES		
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Descenso (cm)	
	Mínimo	Máximo
Muros y zapatas de cimentación de hormigón armado	2.50	7.50
Zapatas, cajones y muros de subestructura	2.50	7.50
Vigas y muros de hormigón armado	2.50	10.00
Columnas	2.50	10.00
Pavimentos y losas	2.50	7.50
Concreto masivo, construcciones ciclópeas	2.50	7.50

Fuente: ACI 211.1-91

3. Elección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado es de 25.0 mm

4. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

De la tabla número 3, la cantidad de agua para 1 m³ con un asentamiento de 8 cm y un tamaño máximo del agregado grueso de 25.0 mm es igual a 193 kg y el porcentaje de aire atrapado es de 1.5 %

TABLA 3. REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
Asentamiento (cm)	Agua(kg/m ³) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150 mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado en el hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el hormigón								
Exposición leve*	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada*	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema*	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Exposición a congelación

Fuente: ACI 211.1 - 91

5. Selección de la relación agua - cemento

De la tabla 4, se selecciona la relación agua/cemento para satisfacer la resistencia de 250.0 kg/cm²

TABLA 4. CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación agua cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Fuente: ACI 211.1 - 91

Para nuestra resistencia requerida de 250.0 kg/cm², interpolando entre los valores correspondientes tendremos una relación w/c = 0.61

Tamaño nominal máximo del agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1-91

Intersecando el dato del tamaño máximo del ripio 25.0 mm con el módulo de finura de la arena 2.53 obtenemos un volumen del agregado grueso seco y compactado de 0.697 m³ por cada metro cúbico de hormigón.

6. Cálculo del contenido de cemento

Conocida la cantidad de agua y dosificación de la misma (relación agua-cemento) se puede calcular la cantidad de cemento aplicando la siguiente ecuación

$$W = W/C * C$$

$$C = 193 \text{ kg} / 0.61$$

$$C = 316.39 \text{ kg para } 1 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}$$

7. Estimación del contenido de agregado grueso

Con la tabla 4, se determina que el volumen de agregado grueso seco y compactado en función del tamaño máximo del ripio y del módulo de finura de la arena, para luego calcular la cantidad de ripio en peso por cada metro cúbico de hormigón

El volumen de ripio obtenido es aparente y multiplicando el volumen de agregado grueso seco y compactado por la densidad aparente compactada del ripio calculamos el peso del ripio requerido

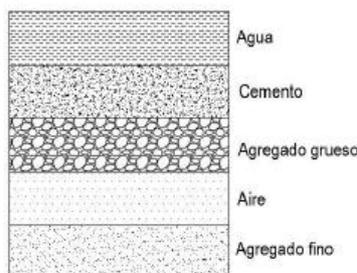
$$R = \text{VAR} \times \text{DARc}$$

$$R = 697.0 \text{ dm}^3 \times 1.424 \text{ kg/dm}^3$$

$$R = 992.53 \text{ kg para un metro cúbico de hormigón}$$

8. Estimación del contenido de agregado fino (por volumen)

Hasta este punto se han determinado los pesos por unidad de volumen (1m³) de agua, cemento, agregado grueso y aire



La fórmula $VAF = 1000 \text{ dm}^3 - (VA+VC+VAG+VAIRE)$ se usará para determinar la cantidad de agregado fino

$$A = VAF \times DRA$$

$$A = 289.78 \text{ dm}^3 \times 2.451 \text{ kg/dm}^3$$

$$A = 710.24 \text{ kg para un metro cúbico de hormigón}$$

9. Ajuste por humedad del agregado

El ajuste por humedad de los agregados involucra dos ajustes: A.El peso del agregado húmedo y B.Cantidad de agua de la mezcla

A.Peso del agregado húmedo

$$MAG - HUM = MAG \times (1+WAG)$$

$$MAG - HUM = 992.53 \text{ kg} \times (1+0.0066)$$

$$MAG - HUM = 999.08 \text{ kg}$$

$$MAF - HUM = MAF \times (1+WAF)$$

$$MAF - HUM = 710.24 \text{ kg} \times (1+0.0058)$$

$$MAF - HUM = 714.36 \text{ kg}$$

B.Cantidad de agua de la mezcla

$$\text{AguaTotal} = \text{Agua} - \text{AguaAG} - \text{AguaAF}$$

$$\text{AguaAG} = \text{MAG} - \text{HUM} (WAG - \text{ABSAG})$$

$$\text{AguaAG} = 999.08 \text{ kg} (0.0066-0.0239)$$

$$\text{AguaAG} = -17.28 \text{ kg}$$

$$\text{AguaAF} = \text{MAF} - \text{HUM} (WAF - \text{ABSAF})$$

$$\text{AguaAF} = 714.36 \text{ kg} (0.0058-0.0277)$$

$$\text{AguaAF} = -15.64 \text{ kg}$$

$$\text{AguaTotal} = 193 \text{ kg} - (-17.28 \text{ kg}) - (-15.64 \text{ kg})$$

$$\text{AguaTotal} = 225.93 \text{ kg}$$

Para transformar de kg a lt se usara el valor de la densidad del agua 1g/cm^3

CÁLCULOS DE DOSIFICACIÓN

- Cálculos de dosificación al peso

La fórmula utilizada para estos cálculos es la siguiente:

Dosificación del material = Cantidad del material / Cantidad de cemento:

Agua = 225.93 / 316.39

Agua = 0.71

Cemento = 316.39 / 316.39

Cemento = 1.0

Arena = 714.36 / 316.39

Arena = 2.26

Ripio = 999.08 / 316.39

Ripio = 3.16

- Cálculo de cantidades en kg para 1 saco de cemento

El peso de la bolsa de cemento que se usa es de 50.0 kg

Material = Peso de la bolsa de cemento x dosificación al peso del material

Agua = 50.0 kg x 0.71

Agua = 35.7 kg

Cemento = 50.0 kg x 1.0

Cemento = 50.0 kg

Arena = 50.0 kg x 2.26

Arena = 112.89 kg

Ripio = 50.0 kg x 3.16

Ripio = 157.89 kg

- Volumen aparente suelto en dm³ para 1 saco de cemento

La fórmula a utilizar será:

Volumen = masa / densidad

El valor de la Densidad Aparente de la Arena (suelta) DAA : 1.587 kg/dm³

El valor de la Densidad Aparente del Ripio (suelta) DAR : 1.351 kg/dm³

Arena = 112.89 kg / 1.587 kg/dm³

Arena = 71.13 dm³

Ripio = 157.89 kg / 1.351 kg/dm³

Ripio = 116.87 dm³

- Dosificación al volumen en obra

Volumen = masa / densidad

Agua = 35.7 litros

Cemento = 1.0 saco

El volumen de la parihuela utilizada es de 27.0 dm³

Arena = 71.13 / 27.0

Arena = 2.63 parihuelas

Ripio = 116.87 / 27.0

Ripio = 4.33 parihuelas

Cantidades en kg para pruebas

El volumen considerado para elaboración de probetas es 0.0141 m³

Agua = 4.46 kg x 0.71

Agua = 3.19 kg

Cemento = 316.39 kg x 0.0141

Cemento = 4.46 kg

Arena = 4.46 kg x 2.26

Arena = 10.07 kg

Ripio = 4.46 kg x 3.16

Ripio = 14.09 kg

En la siguiente tabla resumen se puede observar los valores de dosificación calculados

CUADRO RESUMEN DE DOSIFICACIÓN PARA 1m³ DE HORMIGÓN

Materiales	Cantidades corregidas para 1m ³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Volumen aparente suelto por cada saco de cemento (dm ³)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 9 probetas (kg)
Agua	225.93	0.71	35.7	-	35.7 lt	3.19
Cemento	316.39	1.0	50.0	-	1.0 sac.	4.46
Arena	714.36	2.26	112.89	71.13	2.63 par.	10.07
Ripio	999.08	3.16	157.89	116.87	4.33 par	14.09

Figura 43. Capturas de pantalla del reporte generado

En el programa también se pueden encontrar las tablas que se consideraron para la programación de los algoritmos. Estas tablas se encuentran en las normas ACI 211.1 y ACI 318 – 11. Para ver las tablas se debe dar clic en el botón tablas de diseño, se desplegará un menú de las tablas, se debe dar clic en el botón de la tabla que se quiera revisar.



Figura 44. *Tablas de diseño utilizadas en el proceso de cálculo*

3.1.9 Dosificaciones para las probetas de hormigón

Se realizarán ensayos de compresión a 27 probetas en 3 edades (7 días, 14 días y 28 días), las cuales están divididas en grupos de 9, las cuales corresponden a 3 dosificaciones diferentes, 180 kg/cm², 210 kg/cm² y 240 kg/cm², se utilizarán moldes de 10 x 20 cm para la elaboración de los especímenes de hormigón, el asentamiento que se especifico es de 8 cm.

En la siguiente tabla se detallan los resultados de los ensayos necesarios para utilizar este método.

Tabla 18. *Resultados de los ensayos para las dosificaciones*

Propiedad	Nomenclatura	Valor	Unidad
Densidad real del cemento	DRC	2.903	kg/dm ³
Densidad real de la arena	DRA	2.451	kg/dm ³
Densidad real del ripio	DRR	2.524	kg/dm ³
Densidad aparente suelta de la arena	DAA	1.587	kg/dm ³
Densidad aparente suelta del ripio	DAR	1.351	kg/dm ³
Densidad aparente compactada del ripio	DARc	1.424	kg/dm ³
Módulo de finura de la arena	MF	2.53	-
Capacidad de absorción de la arena	CAA	2.77	%
Capacidad de absorción del ripio	CAR	2.39	%
Contenido de humedad de la arena	CHA	0.58	%
Contenido de humedad del ripio	CHR	0.66	%
Tamaño máximo del ripio	TNM	1	pulg.

Tabla 19. Dosificación para $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN PARA $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$			
Material	Cantidad por m^3 (kg)	Dosificación al peso	Cantidad para pruebas (kg)
W	225.93	0.71	3.19
C	316.39	1.00	4.46
A	714.36	2.26	10.07
R	999.08	3.16	14.09

Tabla 20. Dosificación para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN PARA $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
Material	Cantidad por m^3 (kg)	Dosificación al peso	Cantidad para pruebas (kg)
W	225.27	0.64	3.18
C	351.93	1.00	4.96
A	684.18	1.94	9.65
R	999.08	2.84	14.09

Tabla 21. Dosificación para $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN PARA $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$			
Material	Cantidad por m^3 (kg)	Dosificación al peso	Cantidad para pruebas (kg)
W	224.72	0.59	3.17
C	381.12	1.00	5.37
A	659.39	1.73	9.30
R	999.08	2.62	14.09

3.1.10 Ensayos a compresión

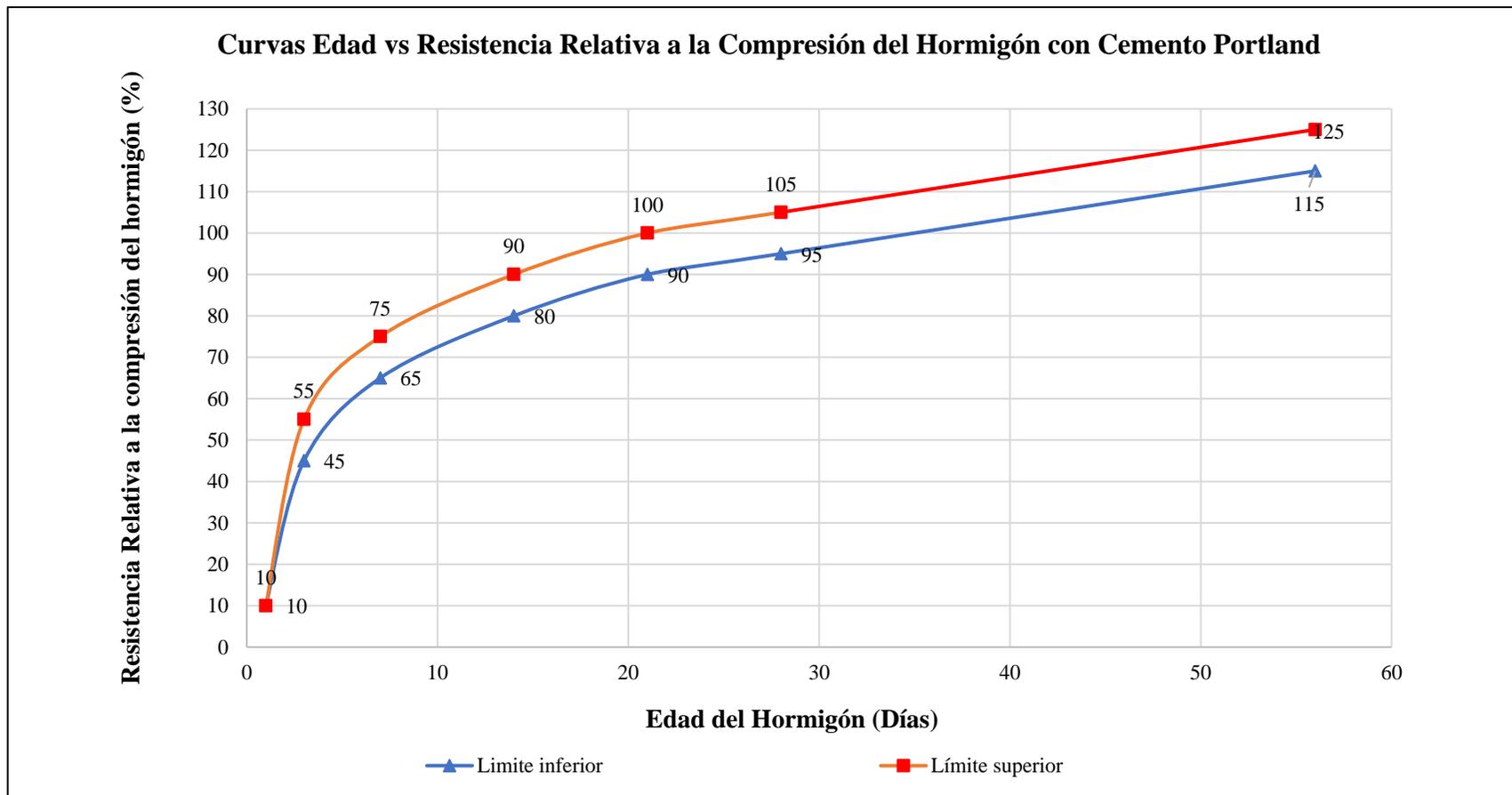


Gráfico 1. Edad vs Resistencia Relativa a la Compresión del Hormigón

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, FICM – UTA

Tabla 22. Resistencias más comunes del hormigón

RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN MÁS COMUNES DEL HORMIGÓN															
Resistencia Relativa a la Compresión (%)				f'c = 180 kg/cm²			f'c = 210 kg/cm²			f'c = 240 kg/cm²			f'c = 350 kg/cm²		
Edad Días	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior	Límite Inferior	Promedio	Límite Superior
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	10	10	10	18	18	18	21	21	21	24	24	24	35	35	35
3	45	50	55	81	90	99	94.5	105	115.5	108	120	132	157.5	175	192.5
7	65	70	75	117	126	135	136.5	147	157.5	156	168	180	227.5	245	262.5
14	80	85	90	144	153	162	168	178.5	189	192	204	216	280	297.5	315
21	90	95	100	162	171	180	189	199.5	210	216	228	240	315	332.5	350
28	95	100	105	171	180	189	199.5	210	220.5	228	240	252	332.5	350	367.5
56	115	120	125	207	216	225	241.5	252	262.5	276	288	300	402.5	420	437.5

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, FICM – UTA

Tabla 23. Resistencia a compresión del $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

REALIZADO POR:				Egdo. William Rodríguez				NORMA:	NTE INEN 1573 – ASTM C39			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESISTENCIA DE DISEÑO 180 kg/cm²												
Probeta N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo a la compresión (kg/cm²)	Esfuerzo a la compresión promedio (kg/cm²)	Límite inferior %	Valor obtenido %	Límite superior %
1	8/2/2022	15/2/2022	7	10.2	81.71	96.7	12.3	123	125.00	65	69.44	75
2	8/2/2022	15/2/2022		10.3	83.32	99.3	12.7	127				
3	8/2/2022	15/2/2022		10.3	83.32	98	12.5	125				
4	8/2/2022	22/2/2022	14	10.3	83.32	118	14.4	144	146.33	80	81.30	90
5	8/2/2022	22/2/2022		10.2	81.71	122	14.9	149				
6	8/2/2022	22/2/2022		10.2	81.71	117	14.6	146				
7	8/2/2022	8/3/2022	28	10.3	83.32	163	19.6	196	187.00	95	103.89	105
8	8/2/2022	8/3/2022		10.3	83.32	151	18.1	181				
9	8/2/2022	8/3/2022		10.3	83.32	153	18.4	184				

Tabla 24. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de $f'c = 180\text{kg/cm}^2$

Edad (días)	Límite inferior kg/cm^2	Resistencia obtenida kg/cm^2	Límite superior kg/cm^2
7	117	125.00	135
14	144	146.33	162
28	171	187.00	189

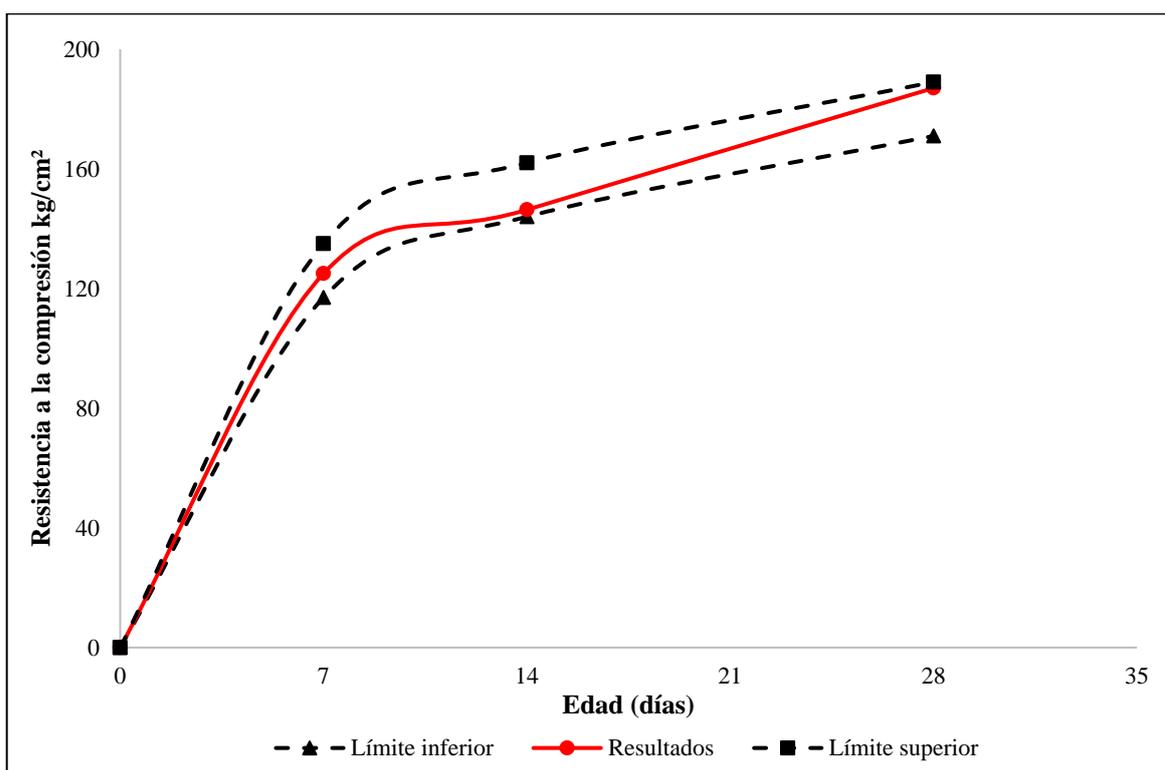


Gráfico 2. Resistencia a la compresión ($f'c = 180 \text{kg/cm}^2$).

En el Gráfico 2 se observa que el valor de las probetas ensayadas a los 7, 14 y 28 días se encuentra dentro de los límites especificados para el $f'c = 180 \text{kg/cm}^2$, llegando a tener una resistencia promedio de 187kg/cm^2 a los 28 días, con lo cual se comprueba que la dosificación para 180kg/cm^2 es la adecuada.

El porcentaje que se obtuvo al ensayar las probetas a los 28 días es de 103.89% el cual se encuentra dentro del rango inferior y superior esperadas para la dosificación de 180kg/cm^2 a esta edad como se puede observar en la Tabla 23.

Tabla 25. Resistencia a compresión del $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

REALIZADO POR:			Egdo. William Rodríguez					NORMA:	NTE INEN 1573 – ASTM C39				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESISTENCIA DE DISEÑO 210 kg/cm^2													
Probeta N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm^2)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo a la compresión (kg/cm^2)	Esfuerzo a la compresión promedio (kg/cm^2)	Límite inferior %	Valor obtenido %	Límite superior %	
1	8/2/2022	15/2/2022	7	10.2	81.71	110	14	140	140.33	65	66.83	75	
2	8/2/2022	15/2/2022		10	78.54	110	14	140					
3	8/2/2022	15/2/2022		10	78.54	111	14.1	141					
4	8/2/2022	22/2/2022	14	10	78.54	130	16.6	166	172.67	80	82.22	90	
5	8/2/2022	22/2/2022		10	78.54	135	17.2	172					
6	8/2/2022	22/2/2022		10	78.54	141	18	180					
7	8/2/2022	8/3/2022	28	10.1	80.12	175	21.4	214	215.67	95	102.70	105	
8	8/2/2022	8/3/2022		10.2	81.71	177	21.7	217					
9	8/2/2022	8/3/2022		10.3	83.32	180	21.6	216					

Tabla 26. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Edad (días)	Límite inferior kg/cm^2	Resistencia obtenida kg/cm^2	Límite superior kg/cm^2
7	136.5	140.34	157.5
14	168	172.66	189
28	199.5	215.67	220.5

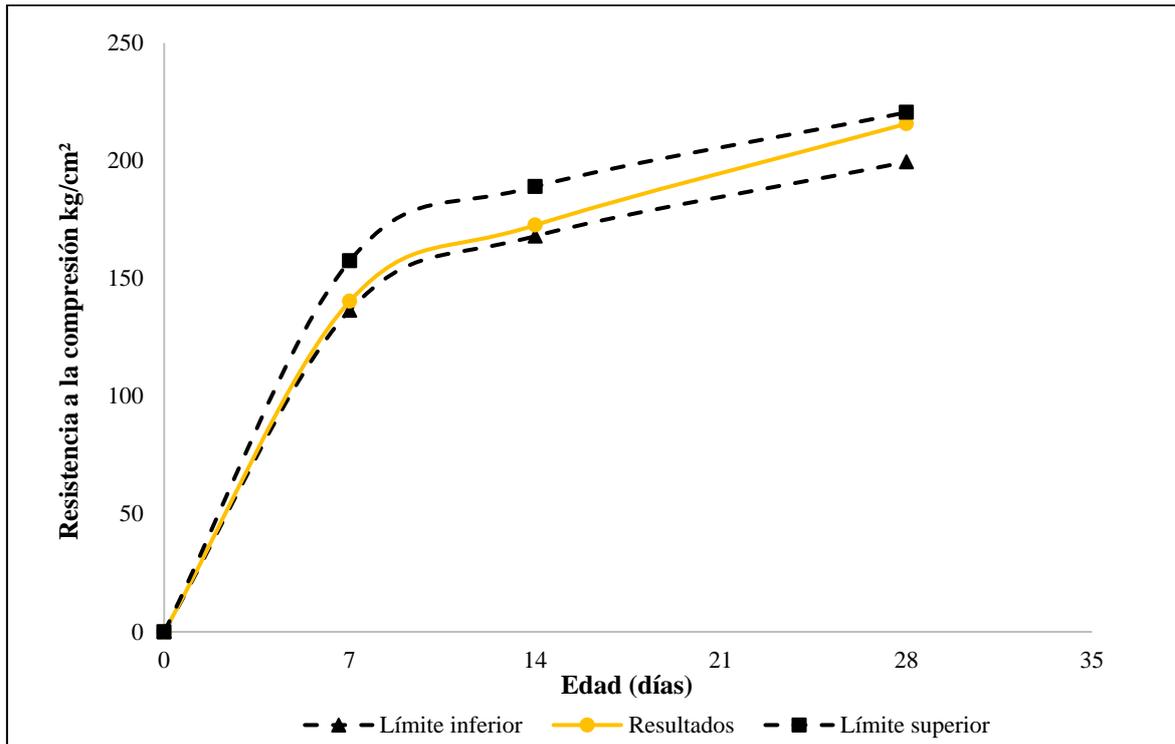


Gráfico 3. Resistencia a la compresión ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$).

La resistencia que se tiene a los 28 días con la dosificación de la Tabla 20 es de 215.67 kg/cm^2 la cual es superior al $f'c$ de 210 kg/cm^2 con lo cual se comprueba que esta dosificación permite obtener una correcta dosificación.

El porcentaje de resistencia obtenido a los 28 días para el $f'c$ de 210 kg/cm^2 es de 102.70 kg/cm^2 , valor que se encuentra dentro del rango inferior de 95% y del rango superior del 105% de la resistencia del $f'c$.

Tabla 27. Resistencia a compresión del $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

REALIZADO POR:			Egdo. William Rodríguez					NORMA:	NTE INEN 1573 – ASTM C39				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESISTENCIA DE DISEÑO 240 kg/cm²													
Probeta N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo a la compresión (kg/cm²)	Esfuerzo a la compresión promedio (kg/cm²)	Límite inferior %	Valor obtenido %	Límite superior %	
1	8/2/2022	15/2/2022	7	10	78.54	131.1	16.7	167	161.00	65	67.08	75	
2	8/2/2022	15/2/2022		10	78.54	129.8	16.4	164					
3	8/2/2022	15/2/2022		10	78.54	120.4	15.2	152					
4	8/2/2022	22/2/2022	14	10	78.54	151	19.2	192	194.33	80	80.97	90	
5	8/2/2022	22/2/2022		10	78.54	153	19.5	195					
6	8/2/2022	22/2/2022		10	78.54	154	19.6	196					
7	8/2/2022	8/3/2022	28	10	78.54	194	24.7	247	244.33	95	101.81	105	
8	8/2/2022	8/3/2022		10	78.54	190	24.2	242					
9	8/2/2022	8/3/2022		10	78.54	192	24.4	244					

Tabla 28. Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Edad (días)	Límite inferior kg/cm^2	Resistencia obtenida kg/cm^2	Límite superior kg/cm^2
7	156	160.99	180
14	192	194.33	216
28	228	244.34	252

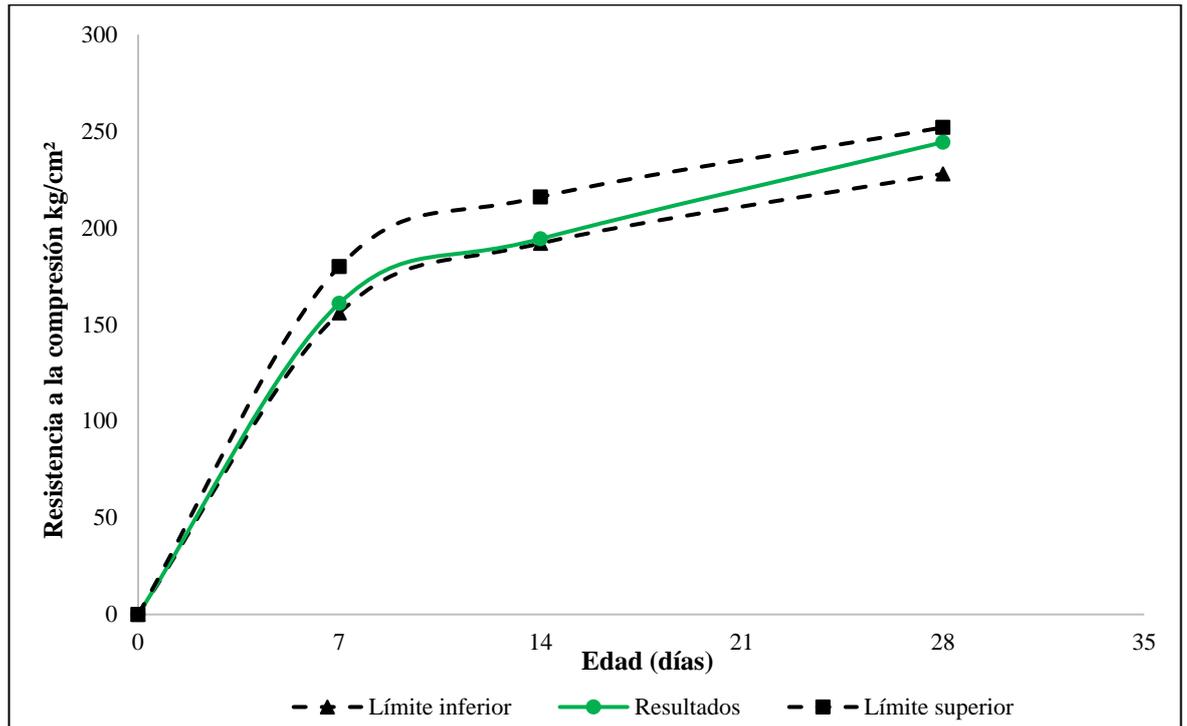


Gráfico 4. Resistencia a la compresión ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$).

En el Gráfico 4 se puede observar que con el pasar de los días el hormigón tiende a ganar resistencia, y que a los 28 días alcanza una resistencia que se encuentra entre el límite inferior y superior. En la Tabla 28 se muestra que al ensayar las probetas elaboradas con la dosificación que se detalla en la Tabla 21 a los 28 días de edad éstas habrán alcanzado una resistencia de 244.34 kg/cm^2 , el cual supera al $f'c$ de 240 kg/cm^2 esperado y se puede observar que la resistencia supera a la esperada en un 1.81% al 100% de la resistencia de 240 kg/cm^2 como se puede observar en la Tabla 27.

3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez elaboradas las probetas de hormigón y realizados los ensayos de compresión a los 28 días de edad para las 3 dosificaciones de hormigón, 180 kg/cm², 210 kg/cm² y 240 kg/cm², se alcanzó la resistencia especificada, esto se comprobó mediante los resultados que se obtuvieron de los especímenes que fueron ensayados con lo cual se pudo comprobar la hipótesis.

Los resultados que se obtuvieron fueron de 187 kg/cm² para la dosificación de 180 kg/cm², 215.67 kg/cm² para la dosificación de 210 kg/cm² y de 244.33 kg/cm² para la dosificación de 240 kg/cm².

Por lo tanto, la hipótesis es afirmativa y se acepta que el programa elaborado en lenguaje de programación Python es útil para la obtención de dosificaciones mediante el método ACI para la elaboración de hormigón.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Las probetas de hormigón ensayadas a la edad de 28 días alcanzaron una resistencia promedio de 187 kg/cm², 215.67 kg/cm² y 244.33 kg/cm². Por lo que se concluye que las resistencias de las probetas elaboradas con la dosificación obtenida del programa superan las resistencias de diseño de 180 kg/cm², 210 kg/cm² y 240 kg/cm², respectivamente.
2. La resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} usando los factores de $f'_{c} +70$ para probetas menores a 21 MPa y $f'_{c} +84$ para resistencias comprendidas entre 21 y 35 MPa, permitieron alcanzar las resistencias de diseño al colocar estos factores en los cálculos para las dosificaciones de 180 kg/cm², 210 kg/cm² y 240 kg/cm².
3. El porcentaje que se obtuvo de la resistencia relativa a la compresión para la resistencia de 180 kg/cm² es de 103.89%, para 210 kg/cm² es de 102.70% y para 240 kg/cm² es de 101.81%. Por lo que se concluyó que estos valores se encuentran dentro de los límites del 95% al 105% de la resistencia relativa a la compresión del hormigón a los 28 días de edad.
4. A los 14 días de edad las probetas de 180 kg/cm² arrojaron un valor de 146.33 kg/cm² lo cual es el 81.30%, para 210 kg/cm² se tiene un valor del 172.67 kg/cm² lo cual representa el 82.22 %. Al ensayar las probetas de 240 kg/cm² se obtuvo el valor de 190.33 kg/cm², lo cual representa un 80.97%. Por lo que se concluye que las probetas de 240 kg/cm² son las que menor valor de resistencia alcanzan en comparación con el límite inferior (80%) y superior (90%) de la resistencia relativa del hormigón a esta edad
5. Las librerías de Python que se utilizaron para la programación fueron Matplotlib para los gráficos, PyQt5 para la creación de la interfaz gráfica, Tkinter para la creación de cuadros de entrada de datos para el gráfico de la edad vs la

resistencia, Python-docx para la creación del reporte con extensión .docx y docx2pdf para generar un archivo en PDF.

6. El entorno gráfico se diseñó con Qt Designer haciendo uso de Widgets los cuales son botones, cuadros de texto, list box y tablas, en los cuales se puede ingresar datos e imprimir resultados de los cálculos realizados por el programa.
7. El tamaño máximo nominal del agregado grueso que se utilizó es de 25 mm, el cual es apto para la elaboración de probetas de 10x20 cm, según la norma NTE INEN 1576. El diámetro del recipiente debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo del agregado, por lo que es aceptable este agregado para la fabricación de probetas de las dimensiones mencionadas.
8. En los gráficos se puede observar que a medida que pasan los días las probetas de hormigón ganan resistencia al estar sumergidas en el tanque de curado, por lo que a la edad de 28 días se tuvieron las resistencias para las que fueron diseñadas las dosificaciones.
9. El método utilizado para el diseño de las mezclas de hormigón para la resistencia a la compresión de 180 kg/cm², 210 kg/cm² y 240 kg/cm², es el método que se detalla en la ACI 211.1 y en la ACI 318-11.
10. Al realizar el ensayo de las probetas se pudo verificar que estas presentaban fallas en los bordes de los cilindros de los especímenes de hormigón, debido a los esfuerzos de corte que se generan al utilizar las placas de neopreno en los ensayos a compresión.
11. Para la creación del archivo ejecutable del programa se utilizó la librería de Python auto-py-to-exe. Al hacer uso de esta herramienta se creó un ejecutable con un tamaño de 303 MB, el cual puede ser almacenado en un pendrive para su uso ya que no necesita de instalación.
12. Los reportes en PDF y Word se crean en la carpeta del ejecutable; estos deben ser movidos hacia otra carpeta o pueden ser abiertos y guardados en otra ubicación, ya que si se crea otro reporte con datos diferentes estos serán eliminados y actualizados con los nuevos datos que se ingresaron.

13. El gráfico que genera el programa permite el ingreso de valores de resistencia de las probetas a las edades de 3,7,14,21 y 28 días; los datos de 3 y 14 días pueden ser omitidos y llenados con el valor de cero. Esta grafica permite observar como evoluciona la resistencia de las probetas elaboradas con el pasar de los días.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Evitar la pérdida de los materiales al momento de movilizarlos debido a que en la elaboración de las mezclas de hormigón estas variaciones generan alteraciones en la dosificación.
2. Se recomienda elaborar en otro estudio, especímenes de hormigón con resistencias de diseño mayores a las de este proyecto, con la finalidad de comprobar la correcta funcionalidad del programa creado en Python.
3. Respetar la relación agua/cemento, al momento de la elaboración de las probetas de hormigón dado que si existe un exceso de esta se verá afectada la resistencia de diseño esperada.
4. Enrasar cuidadosamente la superficie de las probetas para que sea lo más uniforme, para que al momento de ensayar las probetas la carga se distribuya de una manera adecuada.
5. Ajustar las tuercas de los moldes metálicos de manera correcta para evitar que el hormigón fresco se riegue y al momento del endurecimiento el hormigón no tenga dimensiones inferiores a las esperadas debido a las fugas de material.
6. Ensayar las probetas de hormigón en estado húmedo inmediatamente después de sacarlos de la cámara de curado como se detalla en la norma NTE INEN 1573 o dentro de los límites de tolerancia de tiempo admisible que especifica la norma.
7. Ubicar de manera ordenada los List Box, Edit Line en Qt Designer para poder hacer uso de la tecla Tab para saltar entre los campos de ingreso de datos.
8. Revisar la sintaxis de importación de librerías de Python al momento de la programación debido a que con las actualizaciones la sintaxis cambia.
9. Utilizar un IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) que permita la visualización de los errores en la programación de manera rápida.

10. Crear el ejecutable del programa en un directorio debido a que existen librerías externas que deben ser incluidas y si estas no son agregadas no se podrá abrir el archivo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Vidaud, Z. Frómeta y E. Vidaud, «Control de calidad en estructuras de hormigón para la construcción en zonas de elevado peligro sísmico,» *Ciencia en su PC*, vol. 1, nº 4, pp. 72-85, 2019.
- [2] J. Santamaría, L. Morales y J. Pilaluisa, «Modelo para dosificación de mezclas de hormigón utilizando lógica difusa,» *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, vol. 1, nº 1, pp. 54-61, 2018.
- [3] A. B. Zanwar y S. Jankar, «Comparative Study of Mix Proportioning of High Strength Concrete using DOE and ACI Method,» *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 4, nº 30, pp. 1-3, 2016.
- [4] A. Ghaly y L. Almstead, «Concrete Mix Design - Weight Method,» 2001. [En línea]. Available: <https://concrete.union.edu/WtSINon.htm>.
- [5] A. Garrido, «Materiales de Construcción II,» 2007. [En línea]. Available: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6195/mod_resource/content/1/Discurso.pdf. [Último acceso: 25 Diciembre 2021].
- [6] Á. F. Nistal Cordero, M. J. Retana Masqueda y T. Ruiz Abrio, «El hormigón : Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia,» *Tecnología y Desarrollo*, vol. 10, pp. 3-16, 2012.
- [7] C. Romea, «El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario,» de *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación*, Barcelona, OmniaScience , 2014, pp. 1-18.
- [8] C. Balboa, «Historia del Cemento,» Votorantim, 2019. [En línea]. Available: <https://cementosbalboa.es/historia-del-cemento/> . [Último acceso: 27 Diciembre 2021].
- [9] J. Ruiz, «American Concrete Institute (ACI),» VivirHogar, 21 Agosto 2008. [En línea]. Available: <https://vivirhogar.republica.com/general/american-concrete-institute-aci.html>. [Último acceso: 27 Diciembre 2021].

- [10] A. Chhachhia, «Concrete Mix Design by IS, ACI and BS Methods: A Comparative Analysis,» *Journal of Building Material Science*, vol. 2, n° 1, pp. 30-33, 2020.
- [11] K. Vásquez, «Obtención del mejor método para elaborar el diseño de mezclas de concreto, al comparar los métodos ACI, Fullerm Walker y módulo de fineza de la combinación de los agregados, para una resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (A los 28 días),» 2013. [En línea]. Available: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/363/T%20693.7%20M236%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 27 Diciembre 2021].
- [12] R. Okoloekwe y F. Okafor, «A New Approach to Concrete Mix Design Using Computer Techniques,» *Nigerian Journal of Technology*, vol. 26, n° 1, pp. 26-36, 2007.
- [13] A. Pérez, «Desarrollo de Aplicación Móvil para Dosificación de Mezclas de Hormigón Aplicando el Método Volumétrico.,» 6 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/9202/1/131191.pdf>. [Último acceso: 27 Diciembre 2021].
- [14] D. Onwuka, C. Okere, O. Ibearugbulem y S. Onwuka, «Computer-Aided Design of Concrete Mixes,» *International Journal Of Computational Engineering Research*, vol. 3, n° 2, pp. 67-81, 2013.
- [15] M. Sanabria, «PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA CEMENTOS TEQUENDAMA,» UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD, Bogotá, 2018.
- [16] M. Mastropietro, *El Hormigón para Arquitectos*, Bogota: Nobuko, 2019.
- [17] G. Belito, «Influencia De Agregados De Diferentes Procedencias Y Diseño De Mezcla Sobre La Resistencia Del Concreto,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA, Huancavelica, 2018.
- [18] IECA, «Proceso de fabricación,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.ieca.es/proceso-de-fabricacion>. [Último acceso: 31 Diciembre 2021].

- [19] INEN, «Cemento Portland.Requisitos,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152*, pp. 1-9, 2010.
- [20] O. Silva, «TIPOS DE AGREGADOS Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>.
- [21] A. Rodríguez, «La importancia de la calidad del agua para el concreto,» 2021. [En línea]. Available: www.concrelab.com/agua-concreto/.
- [22] K. Kucche, S. Jamkar y P. Sadgir, «Quality of Water for Making Concrete:A Review of Literature,» *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 5, nº 1, pp. 1-10, 2015.
- [23] S. H. Kosmatka, K. Beatrix, P. William y T. Jussara, « Diseño y Control de Mezclas de Concreto,» 2004. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/33383752/Diseño_Y_Control_De_Mezclas_De_Concreto_Steven_H_Kosmatka_Beatrice_Kerkhoff_and_William_C_Panarese_1ra_Edición.
- [24] S. Silva, «Dosificación de un hormigón,» 2016. [En línea]. Available: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/811/course/section/869/Dosificacion%20de%20Hormigones.pdf>.
- [25] H. Vizconde, «Diseño de mezclas Método ACI,» 2011. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/19636430/DISENO_DE_MEZCLAS_CONCRETO_METODO_ACI.
- [26] Z. Wadud y S. Ahmad, «ACI METHOD OF CONCRETE MIX DESIGN: A PARAMETRIC STUDY,» Singapore , 2001.
- [27] ACI, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-11) versión en español y en sistema métrico, Farmington Hills , 2011.
- [28] UCA, «Prueba de revenimiento,» [En línea]. Available: <https://www.uca.edu.sv/mecanica->

estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoConcretoFresco/REV ENIMIENTO.pdf. [Último acceso: 16 Enero 2022].

- [29] INEN, «Hormigón de cemento hidráulico.Determinación del asentamiento,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1578*, pp. 1-9, 2010.
- [30] INECYC, *El manual de Pepe Hormigón*, Quito: APRHOEC, 2007.
- [31] S. Aragón Masís, *Manual de Elaboración de Concreto en Obra*, Costa Rica: KS Publicidad, 2006.
- [32] S. Medina, *Ensayo de Materiales II*, Ambato.
- [33] M. Peralta García, «Evaluación de la incidencia del tamaño nominal del agregado grueso en los resultados de los ensayos de resistencia a compresión del concreto empleando cilindros de diferentes dimensiones,» Tesis, Magister, Barranquilla, 2019.
- [34] J. Ticlla, «Tecnología del concreto,» 2018. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56669256/6Diseno_de_Mezcla_I_Parte_2018-I-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1642444477&Signature=S0k6hN5YjfWqNoTgys3LTppF69hiWJ2he~kaNfaSaoW31qxAtKWJ9yVAqN5Q9qYDCQgYxps-1TO8LNP6Do2EX4jYQQgQNK-kvhWE0iaiqkDA2mOTDxKt4rz0. [Último acceso: 17 Enero 2022].
- [35] G. Guevara Fallas, C. Hidalgo Madrigal, M. Pizarro García, I. Rodríguez Valenciano, L. D. Rojas Vega y G. Segura Guzmán, «Efecto de la variación agua/cemento en el concreto,» *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 25, n° 2, p. 80, 2012.
- [36] Gatza, «La importancia del cemento en una construcción,» 2021. [En línea]. Available: <https://gatza.mx/la-importancia-del-cemento-en-una-construccion/>. [Último acceso: 17 Enero 2022].
- [37] L. A. La Madrid Shimokawa, «Medición del grado de humedad en agregados de concreto por medio de frecuencias de microondas,» Tesis Pregrado, Piura, 2020.

- [38] PUCV, «El Hormigón,» 2015. [En línea]. Available: https://wiki.ead.pucv.cl/images/5/5a/Clase_2_construcción_1_náutica_2015_Hormigón.pdf.
- [39] UPCT, «Hormigón,» 2007. [En línea]. Available: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf.
- [40] M. Fernández y M. Algar, «Introducción práctica a la programación con Python,» 2019. [En línea]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/uta/124259?page=14>. [Último acceso: 29 Diciembre 2021].
- [41] Á. Hinojosa, «Python Paso a paso,» 2016. [En línea]. Available: <https://elibro.net/es/lc/uta/titulos/107213>. [Último acceso: 29 Diciembre 2021].
- [42] I. Challenger, R. Díaz y R. Becerra, «El lenguaje de programación Python,» *Ciencias Holguín*, vol. 20, n° 2, pp. 1-13, 2014.
- [43] M. Herrmann, «Qt Designer Download,» Omaha Consulting GmbH, 2016. [En línea]. Available: <https://build-system.fman.io/qt-designer-download>. [Último acceso: 29 Diciembre 2021].
- [44] D. Gonzalez, Tutorial de Qt4 Designer y QDevelop, FIB-UPC, 2008.
- [45] D. Sánchez, Tecnología del concreto y del mortero, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2001.
- [46] INEN, «Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156*, pp. 1-9, 2009.
- [47] INEN, «Árido. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856*, pp. 1-12, 2010.
- [48] S. Shahriar, «Density of Aggregate - Bulk and Relative Density,» [En línea]. Available: <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/aggregate/198-density-of-aggregate>. [Último acceso: 13 Enero 2022].

- [49] S. Rocha, «Densidad y absorción del agregado,» ConstruaPrende, 2013. [En línea]. Available: <https://www.construaprende.com/docs/lab/335-practica-densidad-absorcion-agregados>. [Último acceso: 13 Enero 2022].
- [50] Inacap, «El Hormigón y sus Materiales Componentes.,» [En línea]. Available: <http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/Laboratorio-de-Hormigones-y-Suelos-I/G02-Densidad-de-los-Aridos.pdf>. [Último acceso: 11 Enero 2021].
- [51] INEN, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 857*, pp. 1-10, 2010.
- [52] INEN, «Áridos para hormigón. Requisitos,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 872*, p. 16, 2011.
- [53] J. L. Chan Yam, R. Solís Carcaño y E. I. Moreno, «Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto,» *Ingeniería*, vol. 7, nº 2, pp. 39-46, 2003.
- [54] Eddyhrbs, «Características de los Agregados,» [En línea]. Available: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/caracteristicas-de-los-agregados.html>. [Último acceso: 13 Enero 2022].
- [55] A. Muciño Vélez y P. Santa Ana Lozada, «Diseño de mezclas de concreto,» 2018. [En línea]. Available: http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/05/1805_15_Practica9_W_LMSE.pdf. [Último acceso: 16 Enero 2022].
- [56] E. Martínez y L. Lira, «Análisis y aplicación,» *Metrología*, pp. 1-6, 2010.
- [57] INEN, «Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico.,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1573*, pp. 1-11, 2010.
- [58] Comité ACI 211, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy weight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91), 1991.

- [59] INEN, «Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380*, pp. 1-8, 2011.
- [60] Holcim Ecuador S.A., «Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general,» *Holcim Fuerte*, pp. 1-17, 2015.
- [61] INEN, «Agua Potable.Requisitos,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108*, pp. 1-9, 2011.
- [62] F. Del Valle Rodríguez, «El agua y el hormigón,» *Teorías y técnicas de la edificación*, nº 19, pp. 23-34, 1995.
- [63] INEN, «Gasolina.Requisitos,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 935*, pp. 1-6, 2012.
- [64] Novachem, «Picnómetro,» Novachem del Ecuador, 2021. [En línea]. Available: <https://www.novachem.com.ec/producto/picnometro/>. [Último acceso: 5 Enero 2022].
- [65] Lifeder, «Picnómetro: características, funciones, tipos,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/picnometro/>. [Último acceso: 5 Enero 2022].
- [66] GENEQ, «Materials Testing,» , 2022. [En línea]. Available: <https://geneq.com/materials-testing/en/product/humboldt/deluxe-water-bath-7796>. [Último acceso: 4 Enero 2022].
- [67] INEN, «Cámaras de curado,gabinetes húmedos,tanques para el almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón.Requisitos,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2528*, pp. 1-9, 2010.
- [68] R. Solís Carcaño y E. Moreno, «Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo,» *Ingeniería*, vol. 9, nº 3, pp. 5-17, 2005.
- [69] Shimadzu, «CONCRETO 2000X/3000X - Specs,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.shimadzu.com/an/products/materials-testing/uni-ttm/concreto->

2000x3000x/spec.html. [Último acceso: 18 Enero 2022].

- [70] Shimadzu, «Shimadzu Analytical and Measuring Instruments,» 2022. [En línea]. Available: https://www.shimadzu.com/an/sites/shimadzu.com/files/pim/pim_document_file/brochures/10435/jpz19014.pdf. [Último acceso: 18 Enero 2022].
- [71] M. Buttu, El gran libro de Python, MARCOMBO, 2016.
- [72] B. Sintés Marco, «IDLE, entorno de desarrollo de Python,» 14 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.mclibre.org/consultar/python/otros/python-idle.html>. [Último acceso: 3 Enero 2021].
- [73] INEN, «Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad,» *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 862*, pp. 1-8, 2011.
- [74] ACI, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19), Farmington Hills, 2019.
- [75] Bottega, «Qué es una librería en programación,» 14 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://devcamp.es/que-es-libreria-programacion/>.
- [76] M. Laca, «PyQt 5 + Designer – Lo instalamos y examinamos código – tutoria,» 2020 Mayo 20. [En línea]. Available: <https://pythones.net/pyqt-instalacion-y-codigo-tutorial/>. [Último acceso: 15 Abril 2022].
- [77] M. Laca, «Clases en Python (Programación orientada a objetos),» 20 Abril 2019. [En línea]. Available: Clases en Python (Programación orientada a objetos). [Último acceso: 15 Marzo 2022].
- [78] C. J. Revelo Andrade, «Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón con : escoria volcánica como sustituto del agregado grueso y arena volcánica como sustituto del agregado fino,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23505>.

ANEXOS

A1. REPORTES DE DOSIFICACIONES OBTENIDOS DEL PROGRAMA EN PDF

A1.1 Dosificación de 210 kg/cm²

MEMORIA DE CÁLCULO SOBRE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN NORMA ACI 211.1

DATOS INGRESADOS

Datos	Valor	Unidad
Hormigón	Sin aire incluido	-
Asentamiento	8	cm
f'c requerido	210	kg/cm ²
Densidad real del cemento	2.903	kg/dm ³
Densidad real de la arena	2.451	kg/dm ³
Densidad real del ripio	2.524	kg/dm ³
Densidad aparente suelta de la arena	1.587	kg/dm ³
Densidad aparente suelta del ripio	1.351	kg/dm ³
Densidad aparente compactada del ripio	1.424	kg/dm ³
Módulo de finura	2.53	-
Capacidad de absorción de la arena	2.77	%
Capacidad de absorción del ripio	2.39	%
Contenido de humedad de la arena	0.58	%
Contenido de humedad del ripio	0.66	%
Tamaño máximo del ripio	25.0	pulg.

1. Resistencia de diseño

Resistencia especificada: 210 kg/cm²

De acuerdo con la tabla número 1, la resistencia de diseño será igual a 294.0 kg/cm²

TABLA 1. RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
Resistencia especificada a la compresión MPa	Resistencia especificada a la compresión kgf/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión Kgf/cm ²
$f'c < 21$	$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 7.0$	$f'cr = f'c + 70$
$21 \leq f'c \leq 35$	$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 8.3$	$f'cr = f'c + 84$
$f'c > 35$	$f'c > 350$	$f'cr = 1.10f'c + 5.0$	$f'cr = 1.10f'c + 50$

Fuente: ACI 318 - 11

2. Elección del asentamiento

El asentamiento considerado es de 8 cm

TABLA 2. DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES		
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Descenso (cm)	
	Mínimo	Máximo
Muros y zapatas de cimentación de hormigón armado	2.50	7.50
Zapatas, cajones y muros de subestructura	2.50	7.50
Vigas y muros de hormigón armado	2.50	10.00
Columnas	2.50	10.00
Pavimentos y losas	2.50	7.50
Concreto masivo, construcciones ciclópeas	2.50	7.50

Fuente: ACI 211.1-91

3. Elección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado es de 25.0 mm

4. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

De la tabla número 3, la cantidad de agua para 1 m³ con un asentamiento de 8 cm y un tamaño máximo del agregado grueso de 25.0 mm es igual a 193 kg y el porcentaje de aire atrapado es de 1.5 %

TABLA 3. REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
Asentamiento (cm)	Agua(kg/m ³) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150 mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado en el hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el hormigón								
Exposición leve*	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada*	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema*	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Exposición a congelación

Fuente: ACI 211.1 - 91

5. Selección de la relación agua - cemento

De la tabla 4, se selecciona la relación agua/cemento para satisfacer la resistencia 294.0 kg/cm²

TABLA 4. CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación agua cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Fuente: ACI 211.1 - 91

Para nuestra resistencia requerida de 294.0 kg/cm², interpolando entre los valores correspondientes tendremos una relación w/c = 0.55

6. Cálculo del contenido de cemento

Conocida la cantidad de agua y dosificación de la misma (relación agua-cemento) se puede calcular la cantidad de cemento aplicando la siguiente ecuación

$$W = W/C * C$$

$$C = 193\text{kg}/0.55$$

$$C = 351.93 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de hormigón}$$

7. Estimación del contenido de agregado grueso

Con la tabla 4, se determina que el volumen de agregado grueso seco y compactado en función del tamaño máximo del ripio y del módulo de finura de la arena, para luego calcular la cantidad de ripio en peso por cada metro cúbico de hormigón

TABLA 5. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN				
Tamaño nominal máximo del agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1-91

Intersecando el dato del tamaño máximo del ripio 25.0 mm con el módulo de finura de la arena 2.53 obtenemos un volumen del agregado grueso seco y compactado de 0.697 m³ por cada metro cúbico de hormigón.

El volumen de ripio obtenido es aparente y multiplicando el volumen de agregado grueso seco y compactado por la densidad aparente compactada del ripio calculamos el peso del ripio requerido

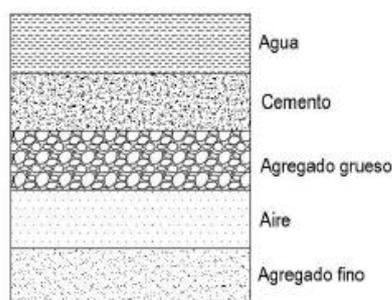
$$R = \text{VAR} \times \text{DARc}$$

$$R = 697.0 \text{ dm}^3 \times 1.424 \text{ kg/dm}^3$$

$$R = 992.53 \text{ kg para un metro cúbico de hormigón}$$

8. Estimación del contenido de agregado fino (por volumen)

Hasta este punto se han determinado los pesos por unidad de volumen (1m³) de agua, cemento, agregado grueso y aire



La fórmula $VAF = 1000 \text{ dm}^3 - (VA+VC+VAG+VAIRE)$ se usará para determinar la cantidad de agregado fino

$$A = VAF \times DRA$$

$$A = 277.53 \text{ dm}^3 \times 2.451 \text{ kg/dm}^3$$

$$A = 680.23 \text{ kg para un metro cúbico de hormigón}$$

9. Ajuste por humedad del agregado

El ajuste por humedad de los agregados involucra dos ajustes: A.El peso del agregado húmedo y B.Cantidad de agua de la mezcla

A.Peso del agregado húmedo

$$MAG - HUM = MAG \times (1+WAG)$$

$$MAG - HUM = 992.53 \text{ kg} \times (1+0.0066)$$

$$MAG - HUM = 999.08 \text{ kg}$$

$$MAF - HUM = MAF \times (1+WAF)$$

$$MAF - HUM = 680.23 \times (1+0.0058)$$

$$MAF - HUM = 684.18 \text{ kg}$$

B.Cantidad de agua de la mezcla

$$\text{AguaTotal} = \text{Agua} - \text{AguaAG} - \text{AguaAF}$$

$$\text{AguaAG} = \text{MAG} - \text{HUM} (WAG - \text{ABSAG})$$

$$\text{AguaAG} = 999.08 \text{ kg} (0.0066-0.0239)$$

$$\text{AguaAG} = -17.28 \text{ kg}$$

$$\text{AguaAF} = \text{MAF} - \text{HUM} (WAF - \text{ABSAF})$$

$$\text{AguaAF} = 684.18 \text{ kg} (0.0058-0.0277)$$

$$\text{AguaAF} = -14.98 \text{ kg}$$

$$\text{AguaTotal} = 193 \text{ kg} -(-17.28 \text{ kg})-(-14.98 \text{ kg})$$

AguaTotal = 225.27 kg

Para transformar de kg a lt se usara el valor de la densidad del agua 1g/cm³

CÁLCULOS DE DOSIFICACIÓN

- Cálculos de dosificación al peso

La fórmula utilizada para estos cálculos es la siguiente:

Dosificación del material = Cantidad del material / Cantidad de cemento:

Agua = 225.27 / 351.93

Agua = 0.64

Cemento = 351.93 / 351.93

Cemento = 1.0

Arena = 684.18 / 351.93

Arena = 1.94

Ripio = 999.08 / 351.93

Ripio = 2.84

- Cálculo de cantidades en kg para 1 saco de cemento

El peso de la bolsa de cemento que se usa es de 50.0 kg

Material = Peso de la bolsa de cemento x dosificación al peso del material

Agua = 50.0 kg x 0.64

Agua = 32.0 kg

Cemento = 50.0 kg x 1.0

Cemento = 50.0 kg

Arena = 50.0 kg x 1.94

Arena = 97.2 kg

Ripio = 50.0 kg x 2.84

Ripio = 141.94 kg

- Volumen aparente suelto en dm³ para 1 saco de cemento

La fórmula a utilizar será:

Volumen = masa / densidad

El valor de la Densidad Aparente de la Arena (suelta) DAA : 1.587 kg/dm³

El valor de la Densidad Aparente del Ripio (suelta) DAR : 1.351 kg/dm³

Arena = 97.2 kg / 1.587 kg/dm³

Arena = 61.25 dm³

Ripio = 141.94 kg / 1.351 kg/dm³

Ripio = 105.06 dm³

- Dosificación al volumen en obra

Volumen = masa / densidad

Agua = 32.0 litros

Cemento = 1.0 saco

El volumen de la parihuela utilizada es de 27.0 dm³

Arena = 61.25 / 27.0

Arena = 2.27 parihuelas

Ripio = 105.06 / 27.0

Ripio = 3.89 parihuelas

Cantidades en kg para pruebas

El volumen considerado para elaboración de probetas es 0.0141 m³

Agua = 4.96 kg x 0.64

Agua = 3.18 kg

Cemento = 351.93 kg x 0.0141

Cemento = 4.96 kg

Arena = 4.96 kg x 1.94

Arena = 9.65 kg

Ripio = 4.96 kg x 2.84

Ripio = 14.09 kg

En la siguiente tabla resumen se puede observar los valores de dosificación calculados

CUADRO RESUMEN DE DOSIFICACIÓN PARA 1m³ DE HORMIGÓN

Materiales	Cantidades corregidas para 1m ³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Volumen aparente suelto por cada saco de cemento (dm ³)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 9 probetas (kg)
Agua	225.27	0.64	32.0	-	32.0 lt	3.18
Cemento	351.93	1.0	50.0	-	1.0 sac.	4.96
Arena	684.18	1.94	97.2	61.25	2.27 par.	9.65
Ripio	999.08	2.84	141.94	105.06	3.89 par	14.09

A1.2 Dosificación de 240 kg/cm²

MEMORIA DE CÁLCULO SOBRE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN NORMA ACI 211.1

DATOS INGRESADOS

Datos	Valor	Unidad
Hormigón	Sin aire incluido	-
Asentamiento	8	cm
f'c requerido	240	kg/cm ²
Densidad real del cemento	2.903	kg/dm ³
Densidad real de la arena	2.451	kg/dm ³
Densidad real del ripio	2.524	kg/dm ³
Densidad aparente suelta de la arena	1.587	kg/dm ³
Densidad aparente suelta del ripio	1.351	kg/dm ³
Densidad aparente compactada del ripio	1.424	kg/dm ³
Módulo de finura	2.53	-
Capacidad de absorción de la arena	2.77	%
Capacidad de absorción del ripio	2.39	%
Contenido de humedad de la arena	0.58	%
Contenido de humedad del ripio	0.66	%
Tamaño máximo del ripio	25.0	pulg.

1. Resistencia de diseño

Resistencia especificada: 240 kg/cm²

De acuerdo con la tabla número 1, la resistencia de diseño será igual a 324.0 kg/cm²

TABLA 1. RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
Resistencia especificada a la compresión MPa	Resistencia especificada a la compresión kgf/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión Kgf/cm ²
$f'c < 21$	$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 7.0$	$f'cr = f'c + 70$
$21 \leq f'c \leq 35$	$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 8.3$	$f'cr = f'c + 84$
$f'c > 35$	$f'c > 350$	$f'cr = 1.10f'c + 5.0$	$f'cr = 1.10f'c + 50$

Fuente: ACI 318 - 11

2. Elección del asentamiento

El asentamiento considerado es de 8 cm

TABLA 2. DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES		
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Descenso (cm)	
	Mínimo	Máximo
Muros y zapatas de cimentación de hormigón armado	2.50	7.50
Zapatas, cajones y muros de subestructura	2.50	7.50
Vigas y muros de hormigón armado	2.50	10.00
Columnas	2.50	10.00
Pavimentos y losas	2.50	7.50
Concreto masivo, construcciones ciclópeas	2.50	7.50

Fuente: ACI 211.1-91

3. Elección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado es de 25.0 mm

4. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

De la tabla número 3, la cantidad de agua para 1 m³ con un asentamiento de 8 cm y un tamaño máximo del agregado grueso de 25.0 mm es igual a 193 kg y el porcentaje de aire atrapado es de 1.5 %

TABLA 3. REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
Asentamiento (cm)	Agua(kg/m ³) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150 mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado en el hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el hormigón								
Exposición leve*	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada*	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema*	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Exposición a congelación

Fuente: ACI 211.1 - 91

5. Selección de la relación agua - cemento

De la tabla 4, se selecciona la relación agua/cemento para satisfacer la resistencia 324.0 kg/cm²

TABLA 4. CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación agua cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Fuente: ACI 211.1 - 91

Para nuestra resistencia requerida de 324.0 kg/cm², interpolando entre los valores correspondientes tendremos una relación w/c = 0.51

6. Cálculo del contenido de cemento

Conocida la cantidad de agua y dosificación de la misma (relación agua-cemento) se puede calcular la cantidad de cemento aplicando la siguiente ecuación

$$W = W/C \cdot C$$

$$C = 193 \text{ kg} / 0.51$$

$$C = 381.12 \text{ kg para } 1 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}$$

7. Estimación del contenido de agregado grueso

Con la tabla 4, se determina que el volumen de agregado grueso seco y compactado en función del tamaño máximo del ripio y del módulo de finura de la arena, para luego calcular la cantidad de ripio en peso por cada metro cúbico de hormigón

Tamaño nominal máximo del agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1-91

Intersecando el dato del tamaño máximo del ripio 25.0 mm con el módulo de finura de la arena 2.53 obtenemos un volumen del agregado grueso seco y compactado de 0.697 m³ por cada metro cúbico de hormigón.

El volumen de ripio obtenido es aparente y multiplicando el volumen de agregado grueso seco y compactado por la densidad aparente compactada del ripio calculamos el peso del ripio requerido

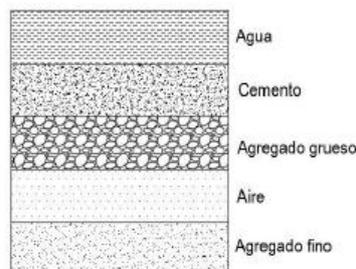
$$R = \text{VAR} \times \text{DARc}$$

$$R = 697.0 \text{ dm}^3 \times 1.424 \text{ kg/dm}^3$$

$$R = 992.53 \text{ kg para un metro cúbico de hormigón}$$

8. Estimación del contenido de agregado fino (por volumen)

Hasta este punto se han determinado los pesos por unidad de volumen (1m³) de agua, cemento, agregado grueso y aire



La fórmula $VAF = 1000 \text{ dm}^3 - (VA+VC+VAG+VAIRE)$ se usará para determinar la cantidad de agregado fino

$$A = VAF \times DRA$$

$$A = 267.48 \text{ dm}^3 \times 2.451 \text{ kg/dm}^3$$

$$A = 655.59 \text{ kg para un metro cúbico de hormigón}$$

9. Ajuste por humedad del agregado

El ajuste por humedad de los agregados involucra dos ajustes: A.El peso del agregado húmedo y B.Cantidad de agua de la mezcla

A.Peso del agregado húmedo

$$MAG - HUM = MAG \times (1+WAG)$$

$$MAG - HUM = 992.53 \text{ kg} \times (1+0.0066)$$

$$MAG - HUM = 999.08 \text{ kg}$$

$$MAF - HUM = MAF \times (1+WAF)$$

$$MAF - HUM = 655.59 \text{ kg} \times (1+0.0058)$$

$$MAF - HUM = 659.39 \text{ kg}$$

B.Cantidad de agua de la mezcla

$$\text{AguaTotal} = \text{Agua} - \text{AguaAG} - \text{AguaAF}$$

$$\text{AguaAG} = \text{MAG} - \text{HUM} (WAG - \text{ABSAG})$$

$$\text{AguaAG} = 999.08 \text{ kg} (0.0066-0.0239)$$

$$\text{AguaAG} = -17.28 \text{ kg}$$

$$\text{AguaAF} = \text{MAF} - \text{HUM} (WAF - \text{ABSAF})$$

$$\text{AguaAF} = 659.39 \text{ kg} (0.0058-0.0277)$$

$$\text{AguaAF} = -14.44 \text{ kg}$$

$$\text{AguaTotal} = 193 \text{ kg} - (-17.28 \text{ kg}) - (-14.44 \text{ kg})$$

$$\text{AguaTotal} = 224.72 \text{ kg}$$

Para transformar de kg a lt se usara el valor de la densidad del agua 1g/cm^3

CÁLCULOS DE DOSIFICACIÓN

- Cálculos de dosificación al peso

La fórmula utilizada para estos cálculos es la siguiente:

Dosificación del material = Cantidad del material / Cantidad de cemento:

$$\text{Agua} = 224.72 / 381.12$$

$$\text{Agua} = 0.59$$

$$\text{Cemento} = 381.12 / 381.12$$

Cemento = 1.0

Arena = 659.39 / 381.12

Arena = 1.73

Ripio = 999.08 / 381.12

Ripio = 2.62

- Cálculo de cantidades en kg para 1 saco de cemento

El peso de la bolsa de cemento que se usa es de 50.0 kg

Material = Peso de la bolsa de cemento x dosificación al peso del material

Agua = 50.0 kg x 0.59

Agua = 29.48 kg

Cemento = 50.0 kg x 1.0

Cemento = 50.0 kg

Arena = 50.0 kg x 1.73

Arena = 86.51 kg

Ripio = 50.0 kg x 2.62

Ripio = 131.07 kg

- Volumen aparente suelto en dm³ para 1 saco de cemento

La fórmula a utilizar será:

Volumen = masa / densidad

El valor de la Densidad Aparente de la Arena (suelta) DAA : 1.587 kg/dm³

El valor de la Densidad Aparente del Ripio (suelta) DAR : 1.351 kg/dm³

Arena = 86.51 kg / 1.587 kg/dm³

Arena = 54.51 dm³

Ripio = 131.07 kg / 1.351 kg/dm³

Ripio = 97.02 dm³

- Dosificación al volumen en obra

Volumen = masa / densidad

Agua = 29.48 litros

Cemento = 1.0 saco

El volumen de la parihuela utilizada es de 27.0 dm³

Arena = 54.51 / 27.0

Arena = 2.02 parihuelas

Ripio = 97.02 / 27.0

Ripio = 3.59 parihuelas

Cantidades en kg para pruebas

El volumen considerado para elaboración de probetas es 0.0141 m³

Agua = 5.37 kg x 0.59

Agua = 3.17 kg

Cemento = 381.12 kg x 0.0141

Cemento = 5.37 kg

Arena = 5.37 kg x 1.73

Arena = 9.3 kg

Ripio = 5.37 kg x 2.62

Ripio = 14.09 kg

En la siguiente tabla resumen se puede observar los valores de dosificación calculados

CUADRO RESUMEN DE DOSIFICACIÓN PARA 1m³ DE HORMIGÓN

Materiales	Cantidades corregidas para 1m ³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Volumen aparente suelto por cada saco de cemento (dm ³)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 9 probetas (kg)
Agua	224.72	0.59	29.48	-	29.48 lt	3.17
Cemento	381.12	1.0	50.0	-	1.0 sac.	5.37
Arena	659.39	1.73	86.51	54.51	2.02 par.	9.3
Ripio	999.08	2.62	131.07	97.02	3.59 par	14.09

A2. FOTOGRAFÍAS



Figura 45. *Ensayo granulométrico del agregado fino*



Figura 46. *Ensayo granulométrico del agregado grueso*



Figura 47. *Ensayo de densidad aparente suelta del agregado fino*



Figura 48. *Ensayo de densidad aparente suelta del agregado grueso*



Figura 49. *Ensayo de densidad aparente compactada del agregado grueso*



Figura 50. *Ensayo de densidad real del agregado grueso*



Figura 51. *Ensayo de densidad real del cemento*

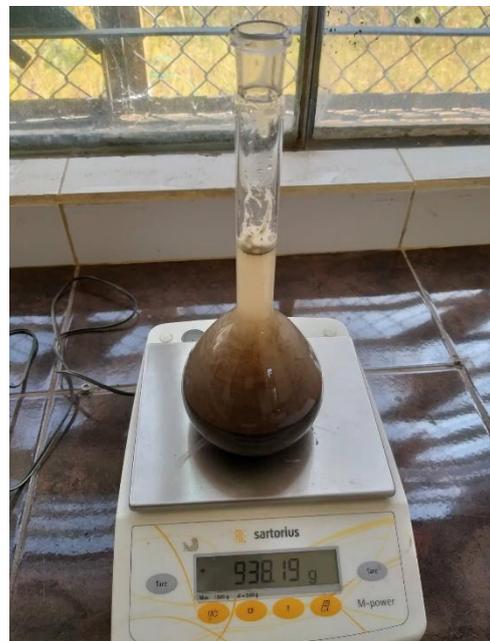


Figura 52. *Ensayo de densidad real del agregado fino*



Figura 53. Ensayo de asentamiento del hormigón



Figura 54. Elaboración de las probetas de hormigón



Figura 55. Probetas de hormigón elaboradas



Figura 56. Probetas de hormigón en proceso de curado



Figura 57. Secado de las probetas de hormigón



Figura 58. Colocación de las placas de neopreno a la probeta de hormigón

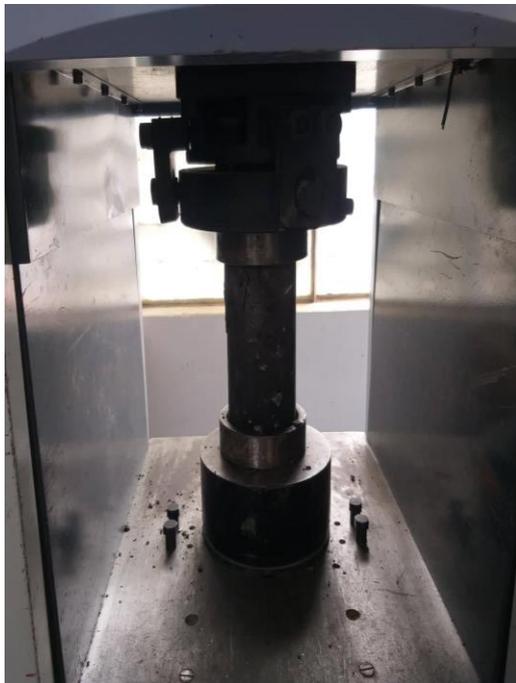


Figura 59. Ensayo de compresión



Figura 60. Probetas ensayadas a compresión

CONCRETE V1.0 (2022)

GENERALIDADES DEL DISEÑO

Hormigón: Sin aire incluido

Ingreso f_c requerido (Kg/cm²): 210

Asentamiento (cm): 8

Densidad del cemento (kg/dm³): 2.903

Peso del saco de cemento (kg): 50

DATOS DEL AGREGADO FINO

Gravedad específica (kg/dm³): 2.451

Densidad aparente suelta (kg/dm³): 1.587

Módulo de finura: 2.53

Capacidad de absorción (%): 2.77

Contenido de Humedad (%): 0.58

NOTA

DATOS DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo del agregado (mm): 25.0

Densidad aparente compactada (kg/dm³): 1.424

Densidad aparente suelta (kg/dm³): 1.351

Gravedad específica (kg/dm³): 2.524

Capacidad de absorción (%): 2.39

Contenido de Humedad (%): 0.66

NOTA

DOSIFICACIÓN REQUERIDA DEL HORMIGÓN

Volumen para prueba (m³): 0.0141 Número de probetas: 9 Volumen de la parihuela (dm³): 27

	Cantidades Corregidas (1m ³)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco (kg)	Dosif. en volumen en obra	Cantidades para pruebas (kg)
Agua	225.27	0.64	32.0	32.0 litros	3.18
Cemento	351.93	1.0	50.0	1.0 saco	4.96
Arena	684.18	1.94	97.2	2.27 parihuelas	9.65
Ripio	999.08	2.84	141.94	3.89 parihuelas	14.09

CALCULAR
RESISTENCIA POR EDADES
REPORTE
TABLAS DE DISEÑO

Figura 61. Ingreso de datos y obtención de resultados para 210 kg/cm² en el programa

CONCRETE V1.0 (2022)

GENERALIDADES DEL DISEÑO

Hormigón: Sin aire incluido

Ingreso f_c requerido (Kg/cm²): 240

Asentamiento (cm): 8

Densidad del cemento (kg/dm³): 2.903

Peso del saco de cemento (kg): 50

DATOS DEL AGREGADO FINO

Gravedad específica (kg/dm³): 2.451

Densidad aparente suelta (kg/dm³): 1.587

Módulo de finura: 2.53

Capacidad de absorción (%): 2.77

Contenido de Humedad (%): 0.58

NOTA

DATOS DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo del agregado (mm): 25.0

Densidad aparente compactada (kg/dm³): 1.424

Densidad aparente suelta (kg/dm³): 1.351

Gravedad específica (kg/dm³): 2.524

Capacidad de absorción (%): 2.39

Contenido de Humedad (%): 0.66

NOTA

DOSIFICACIÓN REQUERIDA DEL HORMIGÓN

Volumen para prueba (m³): 0.0141 Número de probetas: 9 Volumen de la parihuela (dm³): 27

	Cantidades Corregidas (1m ³)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco (kg)	Dosif. en volumen en obra	Cantidades para pruebas (kg)
Agua	224.72	0.59	29.48	29.48 litros	3.17
Cemento	381.12	1.0	50.0	1.0 saco	5.37
Arena	659.39	1.73	86.51	2.02 parihuelas	9.3
Ripio	999.08	2.62	131.07	3.59 parihuelas	14.09

CALCULAR
RESISTENCIA POR EDADES
REPORTE
TABLAS DE DISEÑO

Figura 62. Ingreso de datos y obtención de resultados para 240 kg/cm² en el programa