



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Monografía

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS DE CONCRETO HACIENDO
USO DE LOS MÉTODOS A.C.I 211, MÉTODO DE WALKER, MÉTODO DE
FULLER, Y MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LOS AGREGADOS,
2019.**

Para optar al título de Ingeniero Civil.

Elaborado por:

Br. Francisco Ramón Obando Carrasco.

Br. Yeldin Mayer Romero Sandino.

Tutor:

Msc. Juan Carlos Mendoza.

Managua, Febrero, 2020

Dedicatoria

Dedico este logro en primer lugar a Dios porque es por él que he podido llegar hasta aquí quien es también forjador de mi camino, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo. A madre Maribel Carrasco y a mi padre José Ramón Obando Castellano por apoyarme en todos estos años de mi carrera por sus consejos y sobre todo por todo su apoyo incondicional que obtuve a lo largo de este camino. a mis hnos. por estar ahí siempre conmigo en los buenos y malos momentos siempre animándome para salir adelante y también a toda mi familia por sus ánimos y buenos consejos para nunca rendirme y también a mi novia Maxwell Urroz por estar siempre ahí a mi lado, siempre alentándome y motivándome para poder concluir esta etapa de mi vida.

Francisco Ramón Obando Carrasco.

Dedicatoria.

El presente trabajo monográfico está dedicado primeramente a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y ha sabido guiarme por el buen camino, brindándome salud y darme la fuerza necesaria para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Con todo amor y cariño dedico este trabajo monográfico a la memoria de mi querida madre Leticia Sandino Téllez, a mi padre y hermanos especialmente a mi hermana Judith Romero por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor. A mis compañeros y amigos presentes y pasados y a todas aquellas personas que durante todo este tiempo estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad. Gracias a todos.

Yeldin Mayer Romero Sandino

Agradecimientos.

A Dios, por iluminarme y darme los dones para llegar a culminar esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros maestros, especialmente a nuestro tutor, ing. Juan Carlos Mendoza. , por guiarnos a lo largo de esta carrera.

Al laboratorio de materiales LAMSA por brindarnos el apoyo incondicional en la elaboración de este proyecto, en especial al ing. José Obando por sus enseñanzas y el apoyo técnico y moral que nos ha dedicado

A todas las personas que de una u otra manera nos apoyaron, nos abrieron sus puertas y nos dieron de su tiempo y sus conocimientos de forma desinteresada para que pudiéramos desarrollar este trabajo final.

Francisco Ramón Obando Carrasco.

Agradecimientos.

Agradezco principalmente a mi familia que andado todo el esfuerzo para que yo ahora este culminando esta etapa de mi vida, darle las gracias por apoyarme en todos los momentos buenos y malos que se han presentado en el camino, tales como la felicidad, la tristeza, pero ellos siempre han estado junto a mí y gracias a ellos ahora soy lo que ahora soy y con el esfuerzo de ellos.

A mi profesor tutor a quien le agradecemos por su apoyo su tiempo y conocimiento a mi compañero de trabajo gracias por su esfuerzo, tiempo y dedicación a este trabajo y a la empresa LAMSA por apoyarnos con sus equipos y laboratorios para realizar nuestro ensayo y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad que abre sus puertas a jóvenes como nosotros preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como futuros profesionales.

Yeldin Mayer Romero Sandino

Resumen del tema

La selección de los diseños de mezclas, es muy importante porque permite lograr un material que satisfaga de manera más eficiente y económica, los requerimientos de un proyecto constructivo. Debido a ello el presente trabajo tiene por objetivo comparar 4 métodos de diseño de mezclas de concreto con resistencia de compresión del concreto de 210 kg/cm^2 (3000 PSI).

Los métodos empleados fueron ACI 211, Walker, Módulo de finura de los agregados y Fuller. Se realizaron ensayos para caracterizar los agregados tanto finos y gruesos, determinando sus propiedades físico-mecánicas para la elaboración de probetas de 4 x 8 pulgadas. En esta investigación para cada método de diseño de mezclas se elaboraron 3 especímenes para su ensayo a los 7, 14 y 28 días respectivamente más un testigo por mezcla, curadas en agua durante 28 días, haciendo un total de 40 especímenes. Realizando el ensaye por compresión a cada probeta según la edad respectiva, observando si las resistencias a la compresión de concreto a los 28 cumplían con la resistencia estimada para cada método de 210 kg/cm^2 .

Comparando después cada resultado minuciosamente para determinar su posible aplicación en las obras civiles de nuestro país.

CONTENIDO

I.	CAPITULO: GENERALIDADES	1
1.1	Introducción.....	2
1.2	Antecedentes.	4
1.3	Justificación.....	5
1.4	Objetivos.	6
1.4.1	Objetivo general	6
1.4.2	Objetivos específicos.....	6
II.	CAPITULO: MARCO TEÓRICO	7
2.1.	Componentes del concreto.	8
2.2.	Agregados.....	8
2.2.1.	Clasificación de agregados.....	9
2.2.1.1.	Agregados finos.	9
2.2.1.2.	Agregados gruesos.	10
2.2.2.	Tipos de agregados gruesos.	11
2.2.2.1.	Agregados naturales.	12
2.2.2.2.	Agregados artificiales.	12
2.2.2.3.	Agregados según su forma.	12
2.2.2.3.1.	Agregados de forma angular.	12
2.2.2.3.2.	Agregados de forma redondeada.	12
2.2.2.3.3.	Agregados mixtos.	13
2.2.3.	Propiedades físicas - mecánicas de los agregados.....	13
2.2.3.1.	Peso específico (ASTM C-127/ASTM128).	14
2.2.3.2.	Peso específico aparente (ASTM C-127/ASTM C-128).	14
2.2.3.3.	Peso específico de la masa (ASTM C-127/ASTMC-128).	14
2.2.3.4.	Peso específico de la masa saturada superficialmente seca (ASTM C-127/ASTM C-128).....	14

2.2.3.5.	Absorción (ASTM C-127/ASTM C-128).....	14
2.2.3.6.	Peso unitario (ASTM C-29)	15
2.2.3.7.	Contenido de humedad (ASTM C-70).	15
2.2.3.8.	Abrasión (ASTM C-131).	15
2.2.3.9.	Granulometría (ASTM C-136).	15
2.2.3.9.1.	Curvas granulométricas.	15
2.2.3.10.	Sanidad de los agregados (ASTM C-88)	16
2.2.3.11.	Partículas fracturadas (ASTM D- 5821-01)	16
2.3.	Cemento.....	17
2.4.	Agua.....	18
2.4.1.	Tipos de agua.....	19
2.4.1.1.	Agua de mezclado.....	19
2.4.1.2.	Agua de hidratación.	19
2.4.1.3.	Agua evaporable.	19
2.4.1.4.	Agua de curado.	20
2.5.	Definición general del concreto.	20
2.5.1.	Características del concreto.	21
2.5.2.	Tipos de concretos.	22
2.5.2.1.	Concreto convencional.	22
2.5.2.2.	Concreto de alta resistencia.	23
2.5.2.3.	Concreto autocompactante.	23
2.5.3.	Estados del concreto.	24
2.5.3.1.	Estado fresco.	24
2.5.3.2.	Ensayos del concreto en estado fresco.....	25
2.5.3.2.1.	Ensayo de asentamiento por medio del cono de Abrams (ASTM C-143).	25
2.5.3.2.2.	Ensayo toma de temperatura (ASTM C -1064).....	25

2.5.3.2.3. Ensayo del peso unitario de la mezcla fresca y contenido de aire incorporado (ASTM C- 138).	26
2.5.3.2.4. Fabricación y curado de especímenes de cilindros de concretos (ASTM C-31).....	26
2.5.3.3. Estado endurecido.	27
2.5.3.4. Ensayos en estado endurecido.	27
2.5.3.4.1. Cabeceo con almohadillas de neopreno (ASTM C-1231).....	27
2.5.3.4.2. Ensayo de ruptura por compresión (ASTM C-39).....	28
2.5.3.4.3. Ensayo de resistencia del concreto mediante esclerómetro (ASTM C-805).	28
2.5.3.4.4. Ensayo a la flexión (ASTM C-293).....	28
2.5.3.4.5. Ensayo de pulso ultra sónico (ASTM C-597).....	28
2.6. Propiedades del concreto.....	29
2.7. Esquema de ruptura de probetas de concreto.	31
2.8. Diseños de concretos.....	32
2.9. Consideración económica para el diseño de concretos.	33
2.10. Métodos de diseños de mezclas de concretos.....	33
2.10.1.Método ACI 211.....	34
2.10.2.Método de Walker.	34
2.10.3.Método de Fuller.....	35
2.10.4.Método módulo de finuras de los agregados.....	36
III. CAPITULO: ENSAYOS DE LABORATORIOS.....	37
3.1. Determinación de la densidad y absorción del agregado grueso.	38
3.2. Determinación de la densidad y absorción del agregado fino.	39
3.3. Determinación de los PVSS y PVSC del agregado fino y grueso (ASTM C-29) 40	
3.4. Determinación de % de desgaste del agregado grueso.....	42

3.5. Ensayo de intemperismo acelerado haciendo uso de sulfato de sodio.....	43
3.6. Determinación de % de caras fracturadas.....	44
3.7. Determinación de granulometría de agregado fino y grueso.....	45
3.8. Determinación de granulometría de agregado fino	46
3.9. Cuadro de resultados de ensayos de laboratorio para agregado grueso y fino.	47
IV. CAPITULO: CÁLCULOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETOS.....	48
4.1. Método ACI 211.	49
4.2. Método de Walker.	54
4.3. Método de módulo de finuras de los agregados.....	58
4.4. Método de Fuller.	63
4.5. Dosificaciones finales para un 1m ³ de concreto haciendo uso de los diferentes métodos de diseños.	70
V. CAPITULO: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.....	71
5.1. Resultados de ensayo a la compresión método ACI- 211.....	72
5.2. Resultados del ensayo a la compresión utilizando el método de Walker.....	74
5.3. Resultados de ensayo a la compresión método módulo de finuras de los agregados.	75
5.4. Resultados de ensayo a la compresión método de Fuller.....	77
VI. CAPITULO: COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	79
6.1. % Porcentajes de materiales para cada método de diseño.....	80
6.2. Comparación del porcentaje de materiales en las mezclas de concreto con sus respectivos métodos de diseño.	84
6.3. Determinación y comparación de la densidad de las mezclas de agregados en seco de los diferentes métodos de diseños.	85

6.4. Comparación del revenimiento por cada método de diseño.....	87
6.5. Determinación y comparación de la densidad de las mezclas de concretos endurecido con los diferentes métodos de diseños.....	88
6.6. Comparación de resultados de los diferentes métodos de diseños según la edad del concreto.....	89
6.7. Comparación de la evolución del concreto según sus diferentes edades por los diferentes métodos de diseños.....	92
6.8. Comparación de concreto dada su resistencia promedio a los 28 días, densidad de agregados en seco y densidad de la mezcla.....	93
6.9. Comparación de rendimientos del concreto con los diferentes métodos de diseños.....	95
6.10. Comparación de costos unitarios para 1 m ³ de concreto.	96
VII. CAPITULO: Conclusiones y Recomendaciones.....	100
7.1. Conclusiones.....	101
7.2. Recomendaciones.....	103
VIII. Bibliografía.	104
IX. Anexos.....	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del agregado fino.	9
Tabla 2. Especificaciones de los agregados gruesos.	11
Tabla 3. Clasificación de los agregados según el tamaño de sus partículas.	11
Tabla 4. Ensayos para las propiedades físicas y mecánicas de los agregados con su correspondiente norma ASTM Y AASHTO.	17
Tabla 5. Tipos de cementos hidráulicos.	18
Tabla 6. Usos, ventajas y desventaja del concreto convencional.	23
Tabla 7. Uso, ventajas y desventajas de alta resistencia.	23
Tabla 8. Uso, ventajas y desventajas del concreto autocompactante.	24
Tabla 9. Ensayo de la densidad y absorción de grava para concreto $\frac{3}{4}$ "PROINCO" (ASTM C-127).	38
Tabla 10. Ensayo de densidad y absorción de la arena para concreto "Motastepe" (ASTM C-128)	39
Tabla 11. PVSS agregado fino.	40
Tabla 12. PVSC Agregado fino.	40
Tabla 13. PVSS agregado grueso.	41
Tabla 14. PVSC agregado grueso.	41
Tabla 15. % Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)	42
Tabla 16. Ensayo sobre agregado grueso (ASTM C-88)	43
Tabla 17. Caras fracturadas agregado grueso (ASTM D-5821)	44
Tabla 18. Granulometría A. grueso.	45
Tabla 19. Granulometría agregado fino.	46
Tabla 20. Resultados de ensayos de laboratorio.	47
Tabla N° 21. Características de los materiales para diseños método ACI 211.	49
Tabla N°22. Características de los materiales para diseño método de Walker.	54
Tabla N°23. Características de los materiales para diseños método módulo de finura.	58
Tabla N°24. Características de los materiales para diseños método de Fuller.	63

Tabla 25. Determinación de la curva de Fuller.....	65
Tabla 26. Cálculo de módulo de finura curva de Fuller	66
Tabla 27. Ajuste de la mezcla en la curva de Fuller.....	68
Tabla 28. Dosificaciones finales por cada método de diseño.	70
Tabla 29. Resultado de ensayo a la compresión probetas a los 7 días método de ACI 211. (ASTMC-39).....	72
Tabla 30. Resultado de ensayo a la compresión probetas a los 14 días método ACI 211(ASTM C-39).....	72
Tabla 31. Resultado de ensayo a la compresión probetas a los 28 días método de ACI 211. (ASTMC-39).....	73
Tabla 32. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 7 días utilizando el método de Walker (ASTMC-39)	74
Tabla 33. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 14 días utilizando el método de Walker. (ASTMC-39).....	74
Tabla 34. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 28 días utilizando el método de Walker. (ASTMC-39).....	74
Tabla 35. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 7 días utilizando el método M.F. (ASTMC-39).	75
Tabla 36. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 14 días utilizando el método M.F. (ASTMC-39)	76
Tabla 37. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 28 días utilizando el método M.F. (ASTMC-39)	76
Tabla 38. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 7 días utilizando el método de Fuller (ASTMC-39).....	77
Tabla 39. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 14 días utilizando el método de Fuller (ASTMC-39).....	77
Tabla 40. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 28 días utilizando el método de Fuller (ASTMC-39).....	77
Tabla 41. Porcentajes de material método ACI 211.....	80
Tabla 42. Porcentajes de material utilizando el método de Walker.....	81
Tabla 43. Porcentajes de materiales método Módulo de finura.	82
Tabla 44. Porcentajes de materiales utilizando el método de Fuller.	83
Tabla 45. % Porcentajes de materiales en las mezclas de concreto con sus respectivos métodos de diseños.	84

Tabla 46. Densidad de agregados combinados en seco.	86
Tabla 47. Revenimiento de los métodos de diseños (pulg).....	87
Tabla 48. Densidades del concreto endurecido.	88
Tabla 49. Promedio del concreto a los 7 días.	89
Tabla 50. Promedio del concreto a los 14 días.	90
Tabla 51. Promedio del concreto a los 28 días.	91
Tabla 52 . Promedio del concreto según sus edades.	92
Tabla 53. Promedio de densidades de agregado combinados en seco, resistencia promedio a los 28 días y densidades de las mezclas.....	94
Tabla 54. Rendimiento de cada método de diseño.	95
Tabla 55. Costo de concreto para 1m ³ (método ACI 211.).....	97
Tabla 56. Costo de concreto para 1m ³ (método de Walker.).....	97
Tabla 57. Costo de concreto para 1m ³ (método de M.F).	97
Tabla 58. Costo de concreto para 1 m ³ (método de Fuller).....	98

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva granulométrica.	16
Gráfica 2. Agregado grueso PROINCO (grava $\frac{3}{4}$ ")	45
Gráfica 3. Agregado fino (arena de Motastepe)	46
Gráfica 4. Ajuste de mezcla por método de Fuller.	68
Gráfica 5. Comportamiento de la resistencia método ACI 211.	73
Gráfica 6. Comportamiento de la resistencia utilizando el método de Walker.	75
Gráfica 7. Comportamiento de la resistencia utilizando el método M.F.	76
Gráfica 8. Comportamiento de la resistencia utilizando el método de Fuller.	78
Gráfica 9. Representación de porcentajes ACI 211.	80
Gráfica 10. Representación de porcentajes utilizando el método de Walker.	81
Gráfica 11. Representación de porcentajes método módulo de finura de los agregados M.F.	82
Gráfica 12. Representación de porcentajes método de Fuller.	83
Gráfica 13. Comparación de materiales en los diferentes métodos de diseño.	85
Gráfica 14. Densidad de los agregados en seco de los diferentes métodos de diseño.	86
Gráfica 15. Revenimientos de cada método de diseño.	87
Gráfica 16. Comparación de las densidades de las mezclas de concreto haciendo uso de los métodos de diseños.	89
Gráfica 17. Concreto a los 7 días con diferentes métodos.	90
Gráfica 18. Concreto a los 14 días con diferentes métodos.	91
Gráfica 19. Concreto a los 28 días con diferentes métodos.	92
Gráfica 20. Evolución del concreto según sus diferentes edades.	93
Gráfica 21. Comparación de mezclas según sus densidades y resistencia a	94
Gráfica 22. Rendimientos de cada método de diseño.	96
Gráfica 23. Comparativa de costos de cada diseño en dólar.	98
Gráfica 24. Comparativa de costos unitarios de cada diseño en córdobas.	99

I. CAPITULO: GENERALIDADES

1.1 Introducción

En la actualidad, el concreto es el elemento más usado en el mundo para la construcción, por lo que el correcto diseño de este material tiene un papel importante en el desarrollo de la ingeniería civil de nuestro país. La correcta selección de los materiales que integran la mezcla de concreto; el conocimiento profundo de las propiedades del concreto; los criterios de diseño de las proporciones de la mezcla más adecuadas según la necesidad de los proyectos; el proceso de puesta y colocación en obra; el control de la calidad del concreto; los adecuados procedimientos de mantenimiento y reparación de las estructuras; son aspectos que tienen que ser considerados por los profesionales de la construcción y más que nada por los ingenieros civiles a cargo de las obras.

El concreto y sus derivados son resultados de diseños, trabajos reales de ingeniería, susceptibles de toda acción de ajustes, modificación y lo que es más importante de optimización, previo a su elaboración. También es un material que posee características de resistencia a la compresión, de impermeabilidad, durabilidad, dureza y apariencia entre muchas otras. Se convierte en la única roca elaborada por el hombre.

Este estudio monográfico tiene como finalidad la utilización de diferentes métodos de diseños de mezclas de concreto; ACI 211, Walker, Fuller y Módulo de finura de los agregados, elaboradas para una resistencia a la compresión de 3000 psi. Cabe destacar que los métodos antes mencionados se originaron en otros países, donde las condiciones y propiedades de los agregados son muy distintas a los agregados de nuestro país, por tal razón se realizará una comparación de los resultados de cada uno de los métodos en la elaboración de dichas mezclas de concreto, para seleccionar aquel que más se acerque a la resistencia requerida, y evitar mayores ciclos de prueba y error en la fabricación de la misma y optimizar el uso de los agregados.

Para este proceso se tendrá que fabricar especímenes o probetas de (4x8) pulg y posteriormente someterlos a esfuerzos de compresión en máquinas especializadas. Antes de este proceso se caracterizan los agregados gruesos y finos, que compondrán la mezcla determinando las propiedades físicas y mecánicas como; granulometría, gravedad específica, desgaste del agregado grueso, pesos unitarios, absorción y humedad, etc. según las normas ASTM (American Society of Testing Materials). De esta manera el diseño se estará estudiando antes, durante y después del endurecimiento de las mezclas de concreto.

1.2 Antecedentes.

Uno de los materiales más utilizados en las obras civiles, es el concreto. Este se presenta en una gran variedad, dependiendo de los requerimientos de la estructura en proyección. El concreto u hormigón, ha sido un gran descubrimiento que ha permitido a lo largo de la historia, la construcción de gran variedad de edificaciones en tierra y mar; esto ha generado la necesidad de investigar más sobre su comportamiento, de entender los factores que afectan su durabilidad (para poder controlarlos), procurar nuevos usos mediante la incorporación de distintos tipos de métodos de diseños, entre otros aspectos.

Un estudio similar se realizó en el Perú. Según Vásquez (2016) en su tesis: Obtención del mejor método para elaborar el diseño de mezclas de concreto, al comparar los métodos ACI 211, Fuller, Walker Y Módulo de Fineza de la Combinación de los agregados, realizado en Cajamarca Perú, tuvo por objetivo determinar cuál método de diseño permitía obtener un concreto que más se aproxime a una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 , siendo el método del ACI el cual obtuvo una resistencia última promedio de 282.95 kg/cm^2 .

Debemos tener en cuenta que no hay antecedentes de la aplicación de los métodos estudiados, Walker y Modulo de Finura en Nicaragua. No siendo así los métodos del ACI (como se especificó anteriormente) y Fuller. El Método de Fuller es poco utilizado en diseño de mezclas de concreto, muchas veces solo para estimar los porcentajes iniciales de agregados que compondrán la mezcla. Posiblemente este trabajo monográfico sea el primero en estudiar en Nicaragua estos métodos de diseños de mezclas (Walker y Modulo de Finura), y poder evaluar los resultados que conllevan a su utilización para la optimización de las características del concreto, tomando en cuenta las características de los agregados.

1.3 Justificación.

En la actualidad en nuestro país no contamos con un método de diseño que contemple los agregados de la zona, esto por falta de estudio de todos los bancos de agregados existente y creación de un procedimiento que involucre las características de dichos agregados. Razón por lo cual se recurre a los sistemas de diseños de mezclas de concreto de otras organizaciones o países internacionales. En muchas empresas y laboratorio de materiales en Nicaragua se utiliza el método del ACI 211, por lo tanto, es el más utilizado y exigido en proyectos importantes, lo que no da lugar a la implementación o investigación de los demás métodos.

Los métodos de diseños de mezclas de concreto en estudio, los compararemos entre sí, mediante este estudio monográfico en el que analizaremos cuál de todos nos permitirá obtener una mezcla de concreto que más se aproxima a la resistencia estipulada de 210 kg/cm (3000 psi), haciendo uso del cemento GU y agregados nativos de Nicaragua, como lo son la grava de Proinco y la arena de Motastepe.

Los materiales empleados en la realización de este trabajo monográfico no son de la misma área en donde los métodos fueron desarrollados, lo cual nos conlleva, observar el comportamiento de los componentes que conforman las mezclas de concreto (grava, arena y cemento), en los diferentes métodos de diseños, para determinar su posible uso en nuestro país. Por último, se demostrará la viabilidad de los métodos en estudio, al mismo tiempo se analizará cuidadosamente cada uno de los métodos empleados y se observará cual cumple o se aproxima a la resistencia requerida, para garantizar un buen diseño de mezcla de concreto para las diversas obras civiles requeridas del país. Si bien el método Fuller se limita a agregados redondeados (probablemente de depósitos naturales como ríos), en este trabajo no se excluirá los agregados angulares u otro tipo de forma, porque se utilizará un mismo agregado comercializado por una sola empresa, para establecer ventajas y desventajas entre los diferentes métodos de diseño de mezclas especificados anteriormente.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general

- Realizar análisis comparativo de mezclas de concreto, haciendo uso de los métodos ACI 211, método de Walker, método de Fuller, y Método del módulo de finura de los agregados.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Determinar las propiedades físicas de los agregados que se utilizarán en las elaboraciones de mezclas de concreto.
- Elaborar mezclas de concreto con resistencia a la compresión de 210 kg/cm² (3000 psi) haciendo uso de los métodos ACI 211, Fuller, Walker, y Módulo de finura de los agregados.
- Comparar los resultados finales de las mezclas de concreto de los diferentes métodos propuestos, determinando la efectividad a la aproximación de la resistencia a compresión proyectada.

II. CAPITULO: MARCO TEÓRICO

2.1. Componentes del concreto.

El concreto es un material pétreo, de origen artificial, ya que está mezclado con ciertas proporciones de cemento, agregados y agua. En lo que respecta a los agregados, son aquellos materiales inertes como la arena y la grava.

Para interpretar el comportamiento de un material compuesto, se requiere un conocimiento de las características de sus componentes, por otro lado, la calidad final depende en gran parte de la buena elección de éstos, de ahí la importancia de caracterizar cada uno de estos.

Se puede expresar los componentes del concreto con la siguiente expresión:

$$\text{Cemento} + \text{agregados} + \text{aire} + \text{agua} = \text{concreto}$$

El concreto es una mezcla de agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento y agua, une a los agregados para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el agua y el cemento

2.2. Agregados.

El agregado es un material granular (arena, grava, piedra triturada o escoria) usado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico. Puede utilizarse en su estado natural o bien, triturado, de acuerdo a su uso y aplicación.

Los agregados constituyen la mayor parte del volumen del concreto y son responsables de las características del mismo, pues comprenden entre el 70 % y 85 % de su masa total de las mezclas de concretos.

2.2.1. Clasificación de agregados.

Los agregados para la fabricación de concretos se clasifican en dos tipos que se detallan a continuación:

- Agregados finos: Arena
- Agregados gruesos: Grava.

2.2.1.1. Agregados finos.

Se considera como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8). La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas las mallas normalizadas utilizadas como son las N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y N°200.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define la arena natural como un material granular fino resultante de la desintegración natural de la roca, o de la trituración de arenisca quebradiza. La arena manufacturada es el material fino resultante de la trituración y clasificación (por cribado u otros medios) de roca, grava o escoria de alto horno. La arena debe pasar las pruebas estándar de consistencia, impurezas orgánicas y materiales deletéreos que pudieran reaccionar desfavorablemente con los álcalis del cemento; debe estar graduada dentro de límites especificados.

Tabla 1. Especificaciones del agregado fino.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm (3/8 in.)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

Fuente: American Society for Testing and Materials (Norma ASTM C-33)

La Arena Motastepe es utilizada de forma natural para la fabricación de prefabricados de concreto, concreto premezclado y concreto mezclado en sitio, muy utilizado en las construcciones verticales y horizontales del Departamento de Managua y sus alrededores. Este banco de material se encuentra ubicado en el departamento de Managua y fue utilizado como agregado fino para la elaboración de las mezclas de concreto en estudio.

Imagen N°1. Ubicación banco agregado fino Motastepe



Fuente: Software Google Earth

2.2.1.2. Agregados gruesos.

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz n°4 (4.75 mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas. El agregado grueso puede ser grava, piedra triturada, etc. El agregado grueso deberá estar gradado dentro de los límites establecidos en la norma A.S.T.M. C-33, los cuales están indicados en la Tabla N°2.

Tabla 2. Especificaciones de los agregados gruesos.

Tamaño nominal	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso												
	4" 100 mm	3 1/2" 90 mm	3" 75 mm	2 1/2" 63 mm	2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm	1" 25.0 mm	3/4" 19.0 mm	1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	No. 4 4.75 mm	No. 8 2.36 mm	No. 16 1.18 mm
3 1/2" a 1 1/4"	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5					
2 1/2" a 1 1/4"	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5					
2" a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30 I	-	0-5		
1 1/4" a No. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30 I	0-5		
1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40 I	0-15	0-5		
1" a No. 4	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	
3/4" a No. 4	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	
2" a 1"	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5				
1 1/4" a 3/4"	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5			
1" a 1/2"	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5			
3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5		
1 1/4" a No. 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	
3/8" a No. 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30 I	0-10	0-5

Fuente: American Society for Testing and Materials (Norma ASTM C-33)

A continuación, se muestra en la tabla N°3 la clasificación de los agregados finos y los agregados gruesos según su tamaño.

Tabla 3. Clasificación de los agregados según el tamaño de sus partículas.

TAMAÑO EN mm.	DENOMINACIÓN MÁS COMÚN	CLASIFICACIÓN	USO COMO AGREGADO DE MEZCLAS
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
0,002 – 0,074	Limo	Fracción fina	No recomendable
0,074 – 4,76 #200 - #4	Arena	Agregado fino	Material apto para mortero o concreto
4,76 – 19,1 #4 – 3/4"	Gravilla	Agregado grueso	Material apto para concreto
19,1 – 50,8 3/4" – 2"	Grava		Material apto para concreto
50,8 – 152,4 2" – 6"	Piedra		
> 152,4 6"	Rajón, Piedra bola		Concreto ciclópeo

Fuente: Concretos Simple-ING. Gerardo A. Rivera L. /Universidad del Cauca

2.2.2. Tipos de agregados gruesos.

Los agregados deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes y durables, libres de químicos y de recubrimientos de arcilla o material fino que pueden influenciar en la vida útil de la estructura.

Entre los tipos de agregados podemos encontrar los siguientes:

- Agregados naturales.
- Agregados artificiales.

2.2.2.1. Agregados naturales.

Son los que se encuentran en la corteza terrestre, y sus partículas se forman por la acción directa de la naturaleza o el proceso de trituración. A través de estos procesos se obtienen los agregados tradicionales como arena y grava.

2.2.2.2. Agregados artificiales.

Son productos de materiales triturados industrializados, controlando los diámetros de las partículas según las especificaciones de las normas vigentes.

2.2.2.3. Agregados según su forma.

Los agregados se dividen en dos grandes grupos, según su forma:

- Agregados de forma angular.
- Agregados de forma redondeada.
- Agregados mixtos.

2.2.2.3.1. Agregados de forma angular.

Son aquellos provenientes por lo general de trituración de rocas de tamaño más grande.

2.2.2.3.2. Agregados de forma redondeada.

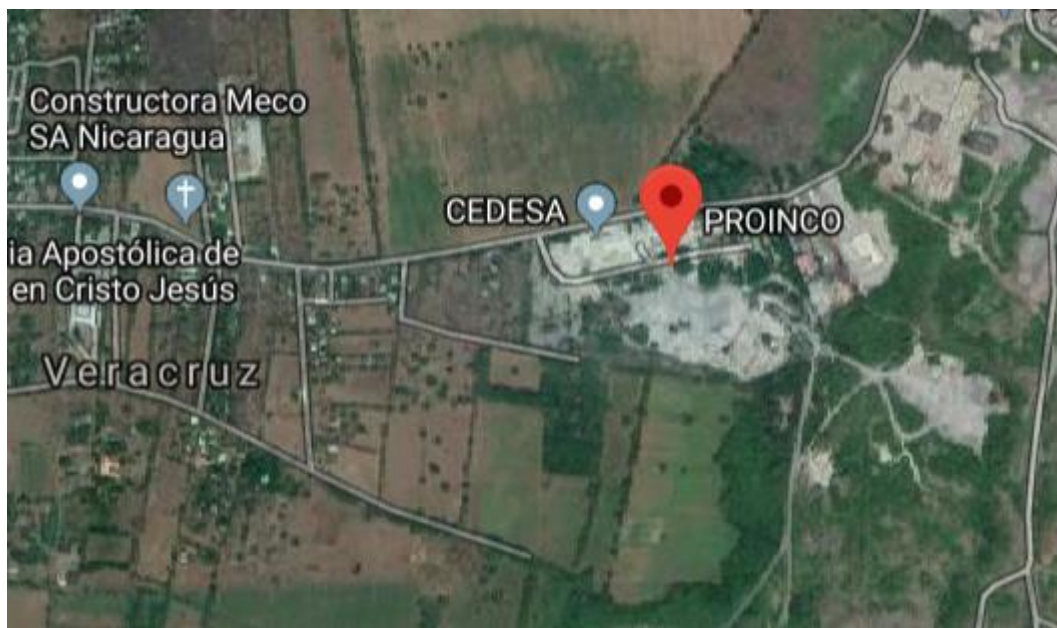
Son todos aquellos provenientes por lo general de cauces de ríos.

2.2.2.3.3. Agregados mixtos.

Son aquellos provenientes de trituración de canto rodado y mezclado con grava natural, su forma es redondeada con caras fracturadas.

La empresa Proinco S.A, se dedica principalmente a la producción de agregados industriales y concretos. Dicha empresa explota un banco de agregado grueso que se encuentra ubicado en el departamento de Managua colindando con el departamento de Masaya, el agregado grueso utilizado para la fabricación de las mezclas de concretos para esta investigación, fue extraído de este banco de material el cual tiene un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ".

Imagen N°2. Ubicación banco agregado grueso Proinco



Fuente: Software Google Earth.

2.2.3. Propiedades físicas - mecánicas de los agregados.

Los agregados tienen una influencia notable en el concreto, ya que estos participan de gran manera en el volumen del mismo, por ellos sus propiedades juegan un papel muy importante. Entre las propiedades del concreto se encuentran las siguientes:

2.2.3.1. Peso específico (ASTM C-127/ASTM128).

Se define como la relación entre la masa de un volumen unitario del material y la masa de igual volumen de agua destilada una temperatura especificada. Según el sistema internacional de unidades, el término correcto es densidad.

2.2.3.2. Peso específico aparente (ASTM C-127/ASTM C-128).

Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario del material, a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada libre de gas, a una temperatura especificada.

2.2.3.3. Peso específico de la masa (ASTM C-127/ASTMC-128).

Viene a ser la relación entre la masa en el aire de un volumen unitario del material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material) a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada, libre de gas y a una temperatura especificada.

2.2.3.4. Peso específico de la masa saturada superficialmente seca (ASTM C-127/ASTM C-128).

Tiene la misma definición que el peso específico de masa con la salvedad de que la masa incluye el agua en los poros permeables. El peso específico que más se utiliza, para calcular el rendimiento del concreto o la cantidad necesaria de agregado para un volumen dado de concreto.

2.2.3.5. Absorción (ASTM C-127/ASTM C-128).

Es la capacidad que tienen los agregados para absorber agua en los poros permeables de su estructura interna, al ser sumergidos durante 24 horas en ésta. La relación del incremento en peso al peso de la muestra seca, expresada en porcentaje, se denomina porcentaje de absorción.

2.2.3.6. Peso unitario (ASTM C-29)

Es el peso del material seco que se necesita para llenar cierto recipiente de volumen unitario. También se le denomina peso volumétrico y se emplea en la conversión de cantidades en peso a cantidades en volumen y viceversa (peso suelto o compactado).

2.2.3.7. Contenido de humedad (ASTM C-70).

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado, cuando dicha cantidad se expresa como porcentaje de la muestra seca en estufa, se le denomina porcentaje de humedad, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción.

2.2.3.8. Abrasión (ASTM C-131).

Es la posición que presentan los agregados sometidos a fuerzas de impacto y al desgaste por abrasión y frotamiento, ya sea de carácter mecánico o hidráulico, se mide en función inversas al incremento de material fino; y cuando la pérdida de peso se expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina porcentaje de desgaste.

2.2.3.9. Granulometría (ASTM C-136).

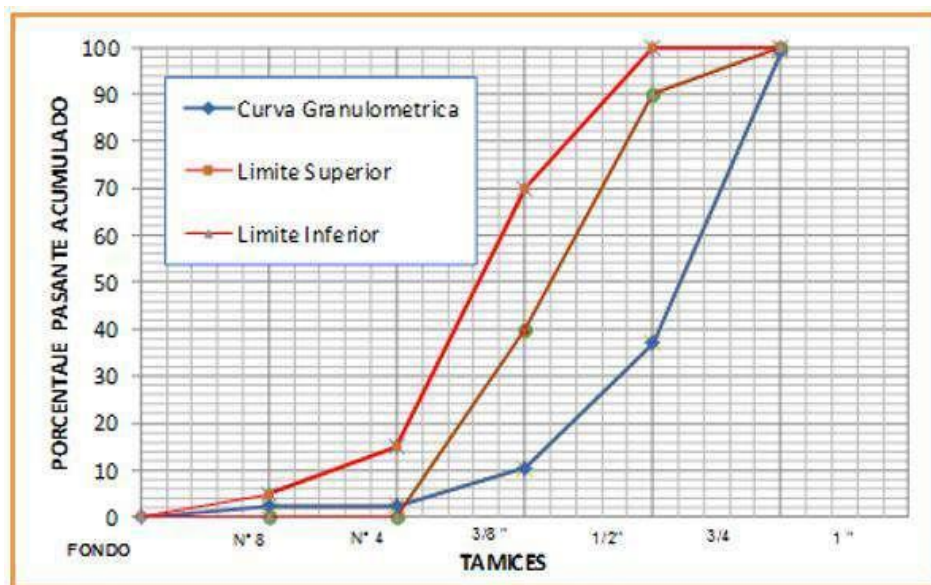
Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

2.2.3.9.1. Curvas granulométricas.

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que

pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices. Una curva tendida indica un material bien gradado o con todos los tamaños y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado.

Gráfica 1. Curva granulométrica.



Fuente: Roberto González Carranza/Universidad privada Antenor Orrego/Perú.

2.2.3.10. Sanidad de los agregados (ASTM C-88)

Este método cubre las pruebas de agregados para estimar su sanidad cuando están sujetos a la acción del intemperismo, por ejemplo en concreto u otras aplicaciones. Esto se realiza por inmersión repetida en solución de sulfato de sodio o de magnesio seguida por secado al horno hasta que se deshidrate parcial o totalmente la sal precipitada en los espacios de los poros permeables.

2.2.3.11. Partículas fracturadas (ASTM D- 5821-01)

Son aquellas partículas de agregado que tienen al menos el mínimo número de caras fracturadas o quebradas, ya sea por medio natural o por triturado artificial.

Tabla 4. Ensayos para las propiedades físicas y mecánicas de los agregados con su correspondiente norma ASTM Y AASHTO.

ENSAYOS	NORMA ASTM	NORMA AASHTO
Método para el análisis granulométrico agregado grueso y fino (vía seca)	C 117-13 C 136-06	T 11-09 T 27-11
Método para el análisis granulométrico agregado grueso y fino (lavado)	C 117-13 C 136-06	T 11-09
Método para la determinación del peso unitario de agregado (envarillado)	C 29/ C 29 M- 09	
Método para la determinación del peso unitario de agregado (suelto)	C 29/C 29 M-09	
Abrasión en máquina los ángeles	C 131 /C131M- 14	T 96-10
Sanidad con sulfato de sodio	C 88-13	T 104-11
Método para la determinación de la gravedad específica y absorción de agregado gruesos	C 127-12	T-85-13
Método para la determinación de la gravedad específica y absorción de agregado fino	C 128-12	T 84-13
Caras fracturadas	D 5821- 13	

Fuente. American Society for Testing and Materials (Normas ASTM).

2.3. Cemento.

El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el Clinker principal ingrediente del cemento que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento.

Los cementos, en general, son conglomerados hidráulicos, o sea, productos que mezclados con agua forman pastas que fraguan y endurecen, dando lugar

a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire, como bajo el agua.

Tabla 5. Tipos de cementos hidráulicos.

Tipo de cemento	Prueba ASTM aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Superficie específica, m ² /kg (mín.)	C 204-05	A	A	A	A	A	A
Finura pasante en malla 45µm (No. 325), % (mín.)	C 430-96 (2003)	A	A	A	A	A	A
Cambio en longitud-Autoclave %, (máx.)	C 151-05	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de Fraguado, Prueba Vicat	C 191 - 04b						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Final, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de Aire en el volumen del mortero, % (máx.)	C 185-02	B	B	B	B	B	B
Resistencia a la compresión, mínima	C 109C109M-05						
1 día, Mpa (PSI)		-----	10 -1450)	-----	-----	-----	-----

Fuente: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON-12 006-11.)

2.4. Agua.

El agua necesaria para la producción de concreto debe ser limpia y libre de sustancias nocivas, contaminantes, sedimentos, aceites, azúcares o químicos que puedan afectar la resistencia y el fraguado del cemento. Dada la necesidad de hidratar el cemento, es la cantidad de agua con relación a la cantidad de cemento, la cifra clave para determinar la calidad del concreto que se obtiene medido en peso. La relación agua / cemento, es determinante para la calidad del concreto, ya que al agregar agua adicional a la mezcla diluye la pasta y la debilita. Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para el preparo del concreto.

2.4.1. Tipos de agua.

El agua es el componente con el cual el cemento experimenta reacciones químicas que le permiten fraguar, endurecer y formar un sólido único con los agregados. Se habla básicamente de dos tipos de agua: el agua de mezclado y el agua de curado. A su vez el agua de mezclado se divide en agua de hidratación y agua evaporable. El agua evaporable se compone de agua de absorción o activa, capilar y libre. A continuación, se explica cada una de ellas:

2.4.1.1. Agua de mezclado.

Es la cantidad de agua por volumen de concreto que requiere el cemento para hidratarse de manera que la pasta adquiere fluidez que le permita la lubricación a los agregados en estado plástico. En el momento en que se forma la pasta se encuentra dos formas básicas de agua: de hidratación y evaporable.

2.4.1.2. Agua de hidratación.

Es aquella que hace parte de la fase sólida del gel. Se llama no evaporable porque se conserva a 1100 c de temperatura y 0% de humedad del ambiente.

2.4.1.3. Agua evaporable.

El gel estable atrae el agua evaporable mediante tensión superficial ejercida por las partículas del cemento. Está compuesta por dos tipos de agua:

- Agua de absorción o activa: están más débilmente sujetas al gel.
- Agua libre: puede evaporarse con facilidad.

El agua de mezclado puede variar por las siguientes razones:

- **Tamaño del agregado:** cuanto más grande sea este, menos agua se tendrá que utilizar debido a menor superficie expuesta.
- **Forma del agregado:** cuanto más angular, rugoso y poroso, mayor será la cantidad de agua requerida para obtener la trabajabilidad deseada.

- **Contenido del cemento en el concreto:** a mayor cantidad de cemento por metro cubico de concreto se requerirá más agua para alcanzar una consistencia dada, lo cual podría afectar la resistencia del concreto si no se toma en cuenta.
- **Consistencia o trabajabilidad:** importante en la colocación ya que se debe tener un control estricto sobre la trabajabilidad original con la que fue diseñado el concreto, para que esta no sea modificada en la ejecución.
- **Características del cemento:** los cementos pueden variar en sus necesidades de agua y su calor de hidratación, el exceso de agua podría segregar el cemento hacia la superficie (sangrado).

2.4.1.4. Agua de curado.

Está definida como el conjunto de agua adicional que necesita para que se hidrate la pasta completamente. El curado es el periodo más importante durante el fraguado del concreto, ya que los silicatos cálcicos del cemento están reaccionando con el agua formando el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio, que son los responsables del fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional del concreto.

Un curado pobre, es decir, un curado inconsistente en el humedecimiento del concreto puede ocasionar fisuras en formas de mapas, por lo que se recomienda un curado húmedo y continuo.

Este curado húmedo y continuo ayuda a terminar de hidratar las partículas de cemento y a controlar el calor de hidratación que puede ser generador de fisuras por alta retracción térmica.

2.5. Definición general del concreto.

El concreto es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena, piedra triturada o natural (grava) y en algunos casos aditivos. Es un material durable, resistente y dado que se trabaja en forma líquida, prácticamente puede adquirir

cualquier forma. El concreto es una roca creada por el ser humano, diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con características determinadas, que tiene una alta resistencia a la compresión, pero una baja resistencia a la tracción, por lo que se refuerza con varillas de acero para que sean éstas las que soporten esos esfuerzos.

2.5.1. Características del concreto.

Entre los factores que hacen del concreto un material de construcción universal tenemos:

- La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de cualquier forma mientras aún tiene una consistencia plástica.
- Su elevada resistencia a la compresión lo que hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- Su elevada resistencia al fuego y a la penetración del agua.

Pero el concreto también tiene desventajas como, por ejemplo:

- Con frecuencia el concreto se prepara en el sitio en condiciones en donde no hay un responsable absoluto de su producción, es decir un control de calidad no es tan bueno.
- El concreto es un material de escasa resistencia a la tracción. esto hace difícil su uso en elementos estructurales que están sometidos a tracción por completo (como los tirantes) o en parte de sus secciones transversales (como vigas u otros elementos sometidos a flexión).

- Para superar esta limitación se utiliza el acero, con su elevada resistencia a la tracción. La combinación resultante de ambos materiales, se conoce como concreto armado, posee muchas de las mejores propiedades de cada uno. Esta combinación es la que permite la masiva utilización del concreto armado en la construcción de edificios, puentes, pavimentos, presas, tanques, pilotes, etc.

2.5.2. Tipos de concretos.

Dentro de los concretos que se producen están:

- Concreto convencional.
- Concreto alta resistencia.
- Concretos autocompactante.

2.5.2.1. Concreto convencional.

El concreto convencional o normal, es una mezcla de cemento, arena, agregado y agua, que, en estado fresco, posee suficiente tiempo de manejabilidad y excelente cohesividad en estado endurecido. Este material de construcción es ideal para utilizarse en general donde la mezcla no requiera ser sometidas a factores ambientales especiales o estar sujeta a condiciones de trabajo a ambientes químicos severos y agresivos. La mezcla puede ser diseñada dependiendo de las dimensiones y cuantía del refuerzo del elemento que va a ser llenado, el tipo de agregado es especificado y sus proporciones. Los usos más comunes de las mezclas son: cimientos, prefabricados, columnas, cunetas, tanques, muros, escaleras, vigas, pisos, etc.

Tabla 6. Usos, ventajas y desventaja del concreto convencional.

Usos	Ventajas	Desventajas
• Placas • Muros de contención • Paredes de mampostería • Pisos • Tanques • Gradas • Columnas • Vigas • Losas • Elementos prefabricados	• Puede ser fabricado por los peones en la obra como en una planta (premezclado) • No necesita aditivos para lograr la resistencia a los 28 d • Presenta buena trabajabilidad • En iguales condiciones (geográficas, tiempo, clima) es menos costoso que otros tipos de concretos	• Las desventajas están asociadas al peso de los elementos que se requieren en las edificaciones, como ejemplo si las edificaciones tienen luces grandes o voladizos grandes las vigas y losas tendrían dimensiones grandes, esto llevaría a generar mayor peso de la edificación

Fuente: Concretos hidráulicos/Guiselle Serrano/ucr.edu

2.5.2.2. Concreto de alta resistencia.

Se entiende por concreto normal de alta resistencia (CAR) como aquel concreto de peso normal cuya resistencia a la compresión es de 42 MPA o mayor (ACI 363) cuando se habla de concreto de alta resistencia, es necesario indicar el rango de valores para los que el término debe aplicarse.

Tabla 7. Uso, ventajas y desventajas de alta resistencia.

Usos	Ventajas	Desventajas
• Edificios de gran altura • En puentes de grandes luces • Represas de arco muy delgadas • Pilotes para fundaciones	• Permite cubrir grandes luces • La baja permeabilidad del concreto endurecido, lo hace recomendable para piezas atacadas por el medio ambiente • Permite mayor rotación de encofrados y menos tiempo de uso • Se pueden diseñar menores secciones estructurales, con ahorro en áreas de construcción • Reduce en el peso y costo de la estructura • Logra un mejor comportamiento ante sismos	• Necesidad de muy buenos materiales para su fabricación • Puede ser difícil de colocar • Puede presentar mayor contracción por secado que otros concretos • La baja relación a/c hace necesario el uso de aditivos • Lapsos de manipulación del concreto fresco muy cortos • Se debe llevar un seguimiento y control de obra más intenso, así como una planificación bien establecida para la solicitud de los camiones transportadores

Fuente: Concreto hidráulico/Guiselle Serrano/uc.r.edu.

2.5.2.3. Concreto autocompactante.

El concreto autocompactante es un concreto fluido, diseñado para que se coloque sin necesidad de vibradores en cualquier tipo de elemento, también es conocido como concreto autoconsolidante.

El concreto autocompactante es una mezcla capaz de fluir y llenar cualquier parte del encofrado, atravesar zonas con alta densidad de refuerzo de acero u otros obstáculos, solo bajo la acción de su propio peso, sin método de compactación externo alguno y sin mostrar indicios de segregación, y/o bloqueo. Para lograr dicho comportamiento especial es necesario la inclusión de materiales distintos a los tradicionales, tales como los aditivos, el concreto autocompactante sería catalogado como un concreto de alto desempeño, con todos los cuidados y beneficios que eso origina.

Tabla 8. Uso, ventajas y desventajas del concreto autocompactante.

Usos	Ventajas	Desventajas
• En estructuras de alta concentración de armadura • Donde el acceso de un vibrador es difícil • Muros y columnas de gran altura • Elementos prefabricados, presforzados o postensados • Bombeos a grandes distancias horizontales o verticales • Pisos industriales • Losas de entrepiso y contrapiso	• Aumenta productividad, al dar mayor velocidad en la construcción • Reduce costos de mano de obra • Disminuye tiempos de colocación y plazos de construcción • Elimina el vibrado y por ende disminuye la contaminación sónica	• La producción del CAC es más cara que el concreto convencional • Es difícil de mantener la consistencia deseada por un largo periodo • Puede presentar más fisuración por retracción plástica que el concreto convencional, sin el curado requerido

Fuente: Concreto Hidráulicos/Guiselle Serrano/uc.r.edu.

2.5.3. Estados del concreto.

El concreto presenta dos tipos de estados los cuales son:

- Estado fresco.
- Estado endurecido.

2.5.3.1. Estado fresco.

Al principio el concreto parece una “masa”. Es blando y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas. Y así se conserva durante la colocación y la compactación. Las propiedades más importantes del concreto fresco son la trabajabilidad y la cohesividad.

2.5.3.2. Ensayos del concreto en estado fresco.

2.5.3.2.1. Ensayo de asentamiento por medio del cono de Abrams (ASTM C-143).

Para efectuar el ensayo de asentamiento debemos colocar un tronco de cono de chapa (de 30 cm de altura y 20 cm de diámetro de base inferior y 10 cm de diámetro de base superior) sobre una superficie lisa, plana y no absorbente, se lo mantiene afirmado contra el piso, apoyando los pies sobre las orejas inferiores del dispositivo. El molde tronco- cónico se llena con la mezcla en tres capas iguales, compactadas con la varilla (de acero común liso de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo) mediante 25 golpes enérgicos por capa, que atraviesan la capa a compactar, pero no las inferiores. Cuando se llega a la base superior se enrasa con cuchara dejando la superficie de hormigón lisa. Se levanta el molde tomándolo por las manijas superiores hasta dejar libre totalmente la mezcla en estudio.

2.5.3.2.2. Ensayo toma de temperatura (ASTM C -1064).

La medición de la temperatura se hace cuando el concreto es recibido en la obra, mientras se coloca, con termómetros de vidrio o con corazas, los cuales deben tener una precisión de 1°C y deben ser introducidos dentro de la muestra representativa por mínimo dos minutos o hasta que la lectura se estabilice. La temperatura ideal para la colocación del concreto es de 15 °C que es imposible conseguir en climas cálidos, siendo la tendencia de temperaturas del concreto mayor por lo que se debe hacer el máximo esfuerzo para bajar la temperatura de colocación debajo de los 30 C °.

Se coloca el dispositivo para medir la temperatura en el concreto de modo que la porción sensible esté sumergida al menos 3 pulgadas [75 mm]. Se presiona suavemente el concreto alrededor del dispositivo para medir la temperatura de modo que la temperatura del aire ambiente (afuera) no influya en la temperatura medida. Se deja el dispositivo para medir la temperatura del

concreto por un mínimo de 2 minutos, o hasta que la lectura se estabilice. Se lee y registre la temperatura del concreto fresco al 1 °F [0.5 °C] más próximo.

2.5.3.2.3. Ensayo del peso unitario de la mezcla fresca y contenido de aire incorporado (ASTM C- 138).

Son ensayos muy sencillos pero que brindan informaciones sumamente importantes. El primero consiste en determinar el peso de un volumen conocido de hormigón fresco, compactado en forma normalizada (por ejemplo, molde cilíndrico de 15 x 30 cm llenado en 3 capas con compactación similar al ensayo de asentamiento ASTM C-29).

Se determina el contenido de aire de morteros y hormigones para facilitar la verificación de características de los aditivos. Se basa en la relación entre el volumen de aire y la presión aplicada (a temperatura constante). No se necesitan conocer las proporciones de la mezcla o las propiedades de los materiales y el porcentaje de aire se obtiene directamente, mediante un equipo llamado Aerómetro.

2.5.3.2.4. Fabricación y curado de especímenes de cilindros de concretos (ASTM C-31).

La resistencia a compresión del concreto se mide para asegurar que el concreto entregado cumpla con los requisitos de las especificaciones de la obra y para el control de calidad. Para probar la resistencia a compresión del concreto se elaboran especímenes cilíndricos de prueba de 15 x 30 cm (estándar) y se almacenan en la obra hasta que el concreto se endurece de acuerdo con los requisitos de la elaboración y curado en obra de especímenes de concreto (ASTM C-31, práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de prueba de concreto en el campo).

2.5.3.3. Estado endurecido.

Después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. También se conoce como la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación agua/cemento en peso. La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo.

De acuerdo a la teoría de Abrams para un conjunto dado de materiales y condiciones, la resistencia del concreto está principalmente determinada por la cantidad neta de agua empleada por unidad de cemento. Esta agua neta excluye aquella absorbida por los agregados. Así, el factor influyente sobre la resistencia es la relación agua/cemento, siendo mayor la resistencia conforme dicha relación se hace menor. El norteamericano Gilkey, apoyándose en sus propias observaciones y en los trabajos de Walker, Bloem y Gaynor, han demostrado que la resistencia del concreto es función de cuatro factores.

- Relación agua/cemento.
- Relación cemento/agregado.
- Granulometría, perfil, textura, resistencia y dureza del agregado.
- Tamaño máximo del agregado.

2.5.3.4. Ensayos en estado endurecido.

2.5.3.4.1. Cabeceo con almohadillas de neopreno (ASTM C- 1231).

Previo al ensayo de compresión, deben prepararse las superficies de las bases del cilindro de manera que resulten paralelas entre sí y a los mismos tiempos planos y lisos con las tolerancias de norma en este caso el uso de neoprenos.

2.5.3.4.2. Ensayo de ruptura por compresión (ASTM C-39).

Se utilizan prensas con capacidad de 100 a 150 toneladas. Se mide la deformación de la probeta al aplicársele cargas cada vez mayores. En algunas prensas hidráulicas debe disponerse una tabla de conversión, que permita calcular la carga aplicada. La velocidad de aplicación de la carga sobre la probeta tiene influencia importante en el resultado del ensayo.

2.5.3.4.3. Ensayo de resistencia del concreto mediante esclerómetro (ASTM C-805).

Nos ofrece una estimación de la resistencia a compresión del hormigón, se determinará mediante el esclerómetro Schimdt este consta de una masa de acero impulsada por un muelle el cual, cuando es liberado, golpea un vástago de acero en contacto con la superficie de hormigón. La distancia del rebote del martillo de acero se medirá en una escala lineal acoplada al instrumento.

2.5.3.4.4. Ensayo a la flexión (ASTM C-293).

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (Mpa) y es determinada mediante los métodos de ensayo.

2.5.3.4.5. Ensayo de pulso ultra sónico (ASTM C-597).

El método del pulso ultrasónico se basa en un fenómeno físico muy bien conocido: la propagación de ondas en un medio material; fenómeno que puede tornarse complejo cuando el medio de propagación es heterogéneo. Este hecho implica diferentes fases que componen al material, con diferentes propiedades elásticas relativas a la propagación de ondas; heterogeneidad que

representa una limitación en el conocimiento de la forma del frente de onda, así como también en el camino seguido por la onda.

Cabe recalcar que de los ensayos para determinar la resistencia del concreto en estado endurecido será la resistencia por la compresión norma ASTM C-170.

2.6. Propiedades del concreto.

Densidad: es la relación entre la masa y el volumen que ocupa un cuerpo o una sustancia, en nuestro caso el concreto. La densidad del concreto líquido que se elabora con agregados ordinarios, se aproxima a 2400 kg/m^3 .

Resistencia: es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación agua/cemento en peso.

Curado: el curado tiene como objetivo la preservación de un aceptable contenido de humedad y temperatura en el concreto. Durante el proceso de hidratación, una serie de reacciones químicas toman lugar entre el cemento y el agua de mezclado.

Trabajabilidad: Es como una propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad para ser colocado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación ni exudación; la manejabilidad va asociada al término plasticidad, definida como la propiedad del concreto fresco que le permite dejarse moldear y cambiar lentamente si se saca del molde.

- **Consistencia:** Es la propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma, es decir cuánto más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con que le concreto fluirá durante su colocación.

- **El tiempo de fraguado:** es un periodo en el cual mediante reacciones químicas del cemento y el agua conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos, estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla.

- **Exudación:** También se le conoce como sangrado y consiste en un fenómeno que se produce por el ascenso del agua de amasado de una mezcla de concreto durante el fraguado. Esta propiedad es inherente en el concreto, dado a esto se debe controlar en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener. Puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de evaporación es menor que la velocidad de exudación, se forma una película de agua que aumenta la relación agua/cemento en la superficie y posteriormente esta zona queda porosa y de baja resistencia al desgaste.

- **Contracción:** Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. La mayor parte de los problemas de fisuración se origina debido a la contracción por secado dado tanto en el estado plástico como en el endurecido, donde el concreto va estar sometido a cambios volumétricos, originados por la pérdida de agua por evaporación de la superficie del concreto.

- **Elasticidad:** es la capacidad que tiene el concreto para deformarse cuando se somete a fuerzas externas no permanentes. El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un porcentaje de la tensión última.

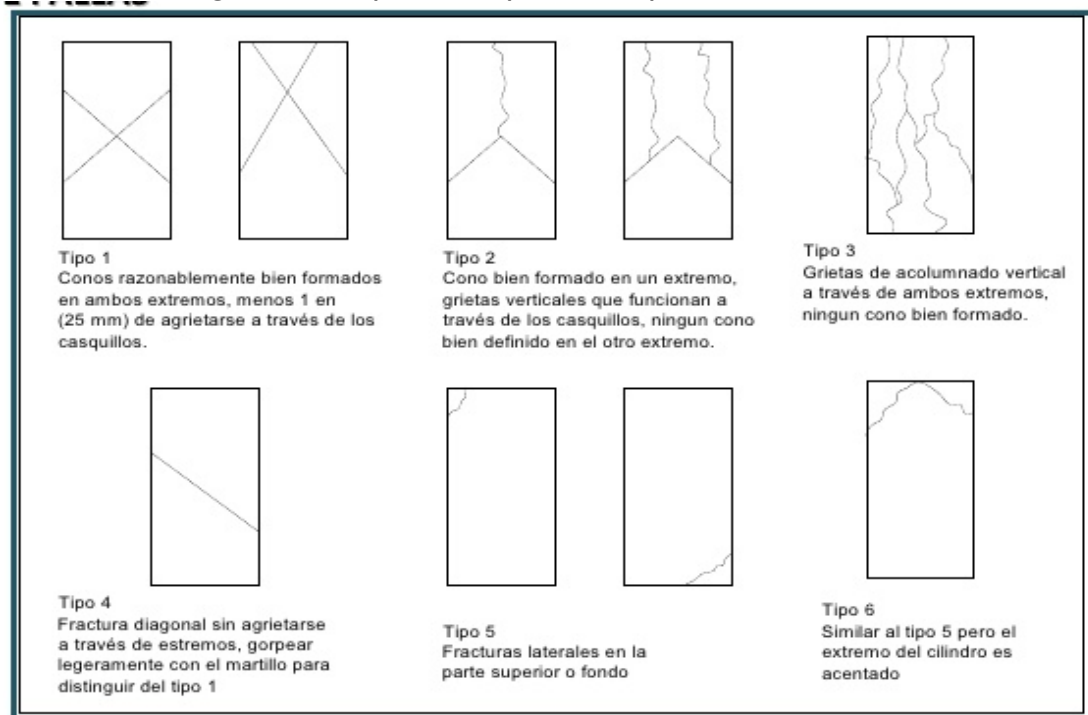
- **Durabilidad:** el concreto tiene la capacidad de endurecer y mantener sus propiedades en el tiempo aún en aquellas condiciones de exposición que

normalmente podrían disminuir o hacerle perder su capacidad estructural. Por tanto, define como concreto durable aquel que puede resistir en grado satisfactorio, los efectos de las condiciones de servicio a las cuales él está sometido.

- **Permeabilidad:** el grado de permeabilidad del concreto depende de su constitución. Dado este rango de variabilidad relativamente amplio, es conveniente conocer el mecanismo mediante el cual se produce el escurrimiento de agua en el concreto, lo cual permitirá a su vez establecer los recursos que pueden utilizarse para controlar su permeabilidad. El agua puede escurrir en el interior del concreto a través de las discontinuidades (poros y fisuras) de la pasta del cemento y de la porosidad existente en el contacto entre la pasta del cemento y los áridos constituyentes del concreto.

2.7. Esquema de ruptura de probetas de concreto.

Imagen N°1. Tipos de rupturas de probetas de concreto.



Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM C-39).

Se muestra en la imagen anterior los tipos de rupturas que se producen al momento de finalizar el ensayo a la compresión encontrando 5 tipos de fracturas mostrada anteriormente.

2.8. Diseños de concretos.

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

- a) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b) Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada, así como una trabajabilidad apropiada. Además, es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). Sin embargo, antes de pasar a ver los métodos de diseño en uso común en este momento, será de mucha utilidad revisar, en más detalle, las consideraciones básicas de diseño.

2.9. Consideración económica para el diseño de concretos.

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra empleada y el equipamiento. Sin embargo, excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto, los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comparar mezclas diferentes. Debido a que el cemento es más costoso que los agregados, es claro que minimizar el contenido del cemento en el concreto es el factor más importante para reducir el costo del concreto. En general, esto puede ser echo del siguiente modo:

- Utilizando el menor revenimiento que permita una adecuada colocación.
- Utilizando el mayor tamaño máximo del agregado (respetando las limitaciones indicadas en el capítulo anterior).
- Utilizando una relación óptima del agregado grueso al agregado fino.
- Y cuando sea necesario utilizando un aditivo conveniente.

2.10. Métodos de diseños de mezclas de concretos.

Es muy importante conocer acerca de los diferentes métodos de diseños de mezclas de concretos que existen, en lo que es respecto a la cantidad que se requiere de cada material en el diseño y también la eficiencia de cada uno de ellos. Es importante saber que se han realizado una gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas de concreto, en buena parte se entiende que el diseño de mezcla es un procedimiento empírico, y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseños están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad determinada así como la manejabilidad apropiada para un tiempo determinado, como se mencionó en párrafos anteriores, además se debe diseñar para unas propiedades que el concreto debe cumplir cuando una estructura se coloca en servicio.

2.10.1. Método ACI 211.

El método es el resultado de extensas investigaciones, en el campo del hormigón, de varias organizaciones norteamericanas entre ellas: el A.C.I., ·P.C.A., U.S.B.R. se fundamenta en los trabajos experimentales de Andrew Duff Abrams, Richart y Talbot, Goldbeck y Gray. Es un método empírico cuyos resultados han sido confirmados por una amplia información experimental.

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas de las tablas que se mostraran más adelante, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto. El procedimiento para la selección de las proporciones es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que para cada una de las tablas se indican en ellas.

En el método de diseño del comité 211 del American Concrete Institute, se determina en primer lugar los contenidos de cemento, agua, aire y agregado grueso y, por diferencia de la suma de volúmenes absolutos en relación con la unidad, el volumen absoluto y peso seco del agregado fino.

De esta manera, sea cual fuere la resistencia deseada, en tanto se mantengan constantes el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, el contenido total de agregado grueso en la mezcla será el mismo, independientemente del contenido de pasta. Este hecho ha llevado a muchos investigadores a cuestionar el método de diseño del ACI y buscar un procedimiento en el cual la relación fino - grueso se modifique en función del contenido de pasta en consideración al contenido de cemento.

2.10.2. Método de Walker.

El denominado método de Walker se desarrolla debido a la preocupación del profesor norteamericano Staton Walker en relación con el hecho de que, sea cual fuera la resistencia de diseño del concreto y por tanto su relación agua - cemento, contenido de cemento y características del agregado fino, la cantidad

de agregado grueso era la misma, ello cuando se aplicaba el procedimiento de diseño desarrollado por el comité 211 del ACI. Considerando que la relación fino - grueso debería variar en función del contenido de la pasta en la mezcla, así como del perfil y tamaño máximo nominal del agregado grueso, y que otro factor que debería ser considerado era la mayor o menor fineza del agregado fino.

Este método permite determinar el porcentaje aproximado de agregado fino en relación al volumen total de agregados, en función del módulo de fineza del agregado fino, el tamaño máximo nominal del agregado grueso, el perfil del mismo y el contenido de cemento en la unidad cúbica de concreto.

2.10.3. Método de Fuller.

En el año de 1907 Fuller y Thompson seleccionaron una curva granulométrica continua para la composición óptima de los agregados en el hormigón.

El método de dosificación de Fuller es uno de los métodos más clásicos, su aplicación está dirigida principalmente para diseños de hormigones en los cuales el tamaño máximo del árido se encuentra comprendido entre 20 mm (3/4") y 50 mm (2"), los áridos son rodados. cabe mencionar que si bien el método te establece que trabaja con agregados redondeados, la investigación no excluiría de manera sustancial el uso de áridos con formas distintas, por ejemplo los de formas angulares, los cuales son los más utilizados en la construcción, ya que es mejor la trabazón de las partículas, además este trabajo contempla la comparación de los distintos métodos de diseños de mezclas especificados, con agregados más utilizados en la construcción como es el comercializado por Proinco. Otras limitaciones del método son; no se puede utilizar en secciones fuertemente armadas y la cantidad de cemento por metro cúbico tiene que ser superior a los 300 kg/m³. para la aplicación del método se considera como tamaño máximo del árido la abertura del menor tamiz que retiene menos del 25% (o pasa más del 75%) al cribar por él, sólo el

árido de mayor tamaño (la grava), excluyéndose de esta determinación los grandes cantos de dimensiones anormales.

La cantidad de cemento a introducir en el diseño de la mezcla será la real que se vaya a emplear en la fabricación del hormigón. La cantidad de agua dependerá de la tipología de árido utilizada, de su tamaño máximo y de la consistencia que deba tener el hormigón. Si el hormigón debe ser bombeable o se debe colocar en secciones estrechas, es conveniente emplear una consistencia blanda; si el hormigón se va a consolidar por vibración enérgica puede emplearse consistencia seca.

2.10.4. Método módulo de finuras de los agregados.

Las investigaciones realizadas en la universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso, cuando éstos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que establece la norma ASTM C-33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias, si el módulo de fineza de la combinación de agregados se aproxima a los valores indicado.

El módulo de finura de los agregados consiste en efectuar un diseño de mezcla teniendo en consideración principal que el módulo de fineza del agregado fino y grueso es un indicador de su superficie específica y a medida que esta aumenta se incrementa la demanda de pasta, así como si se mantiene constante la pasta y se incrementa la fineza del agregado disminuye la resistencia por adherencia. Otro factor que se toma en cuenta en este método es la ecuación que relaciona el módulo de fineza de los agregados finos y gruesos.

III. CAPITULO: ENSAYOS DE LABORATORIOS.

En el presente capítulo se muestran los ensayos realizados para caracterizar los agregados que se implementarán en los diseños de mezclas de concretos, haciendo uso de los diferentes métodos de diseños.

Se determinó la densidad y absorción del agregado grueso según la norma ASTM C-127 como se muestra a continuación:

3.1. Determinación de la densidad y absorción del agregado grueso.

Tabla 9. Ensayo de la densidad y absorción de grava para concreto $\frac{3}{4}$ “PROINCO” (ASTM C-127).

Determinación N°	1	2	3	Promedio
Frasco N°	U-1	U-2	R-2	
Peso del frasco lleno de agua (p)	1272.8	1279.3	1278.2	
Peso del material sat. Y sup. seco (as)	1000	1000	1000	
Total (p) mas (as)	2272.8	2279.3	2278.2	
Peso del frasco con agua y arena (w)	1918.8	1902.8	1915.2	
Volumen desalojado (p) mas (as) - (w)	354	376.5	363	
Temperatura °C	26.7°	27°	27°	
Peso del material seco (ps)	982.99	979.2	979.8	
Densidad referida al peso seco (ps) / (p) mas (as) - (w)	2.777	2.601	2.699	2.69
% Absorción (AS-PS /PS)	1.730	2.124	1.91	1.92 %

Fuente: Elaboración propia.

Después de realizar el ensayo para determinar la densidad del agregado grueso obtenido del banco de materiales de PROINCO, se determinó su densidad y absorción, dando como resultado 2.69 su gravedad específica y 1.92% su porcentaje de absorción como lo muestra la tabla N°9.

También se determinó la densidad del agregado fino haciendo uso del método “B” método del picnómetro, según la norma ASTM C-128 para agregados finos como se muestra a continuación:

3.2. Determinación de la densidad y absorción del agregado fino.

Tabla 10. Ensayo de densidad y absorción de la arena para concreto “Motastepe” (ASTM C-128)

Determinación N°	1	2	3	Promedio
Frasco N°	U-2	R-2	U-1	
Peso del frasco lleno de agua (p)	677.5	673.9	677	
Peso del material sat. Y sup. seco (as)	500	500	500	
Total (p) mas (as)	1177.5	1173.9	1177	
Peso del frasco con agua y arena (w)	985	985	995.85	
Volumen desalojado (p) mas (as) - (w)	192.5	188.9	181.15	
Temperatura °C	27°	27°	27°	
Peso del material seco (ps)	473.5	471.5	473.1	
Densidad referida al peso seco (ps) / (p) mas (as) - (w)	2.46	2.50	2.61	2.53
% Absorción (AS-PS /PS)	5.60	6.04	5.69	5.73 %

Fuente: Elaboración propia.

Después de realizar el ensayo para determinar la densidad del agregado fino obtenido del banco de materiales de Motastepe, se determinó su densidad y absorción, dando como resultado 2.53 su gravedad específica y 5.73 % su porcentaje de absorción como lo muestra la tabla N°10.

Se determinaron los pesos unitarios sueltos y compactos (PVSS, PVSC); tanto para el agregado fino como para el agregado grueso según lo establece la norma ASTM C-29 obteniendo los siguientes resultados mostrados a continuación:

3.3. Determinación de los PVSS y PVSC del agregado fino y grueso (ASTM C-29)

Tabla 11. PVSS agregado fino.

Primer ensaye		Segundo ensaye		Tercer ensaye	
Peso bruto (kg)	3187	Peso bruto (kg)	3184	Peso bruto (kg)	3189
Tara	G-2	Tara	G-2	Tara	G-2
Volumen (kg/m ³)	2086.07	Volumen (kg/m ³)	2086.07	Volumen (kg/m ³)	2086.7
Peso V.S (kg/m ³)	1528	Peso V.S (kg/m ³)	1526	Peso V.S (kg/m ³)	1529

Fuente: Elaboración propia

Promedio: 1528

Tabla 12. PVSC Agregado fino.

Primer ensaye		Segundo ensaye		Tercer ensaye	
Peso bruto (kg)	3551.8	Peso bruto KG	3557	Peso bruto KG	3547
Tara	G-2	Tara	G-2	Tara	G-2
Volumen (kg/m ³)	2086.07	Volumen (kg/M ³)	2086.07	Volumen (kg/M ³)	2086.7
Peso V.S (kg/m ³)	1702	Peso V.S (kg/M ³)	1705	Peso V.S (kg/M ³)	1700

Fuente: Elaboración propia

Promedio: 1702

Tabla 13. PVSS agregado grueso.

Primer ensaye		Segundo ensaye		Tercer ensaye	
Peso bruto (kg)	10950	Peso bruto (kg)	10895	Peso bruto (kg)	1083
Tara	G-2	Tara	G-2	Tara	G-2
Volumen (kg/m ³)	7058.93	Volumen (kg/m ³)	7058.93	Volumen (kg/m ³)	7058.93
Peso V.S (kg/m ³)	1551	Peso V.S (kg/m ³)	1543	Peso V.S (kg/m ³)	1534

Fuente: Elaboración propia

Promedio: 1542**Tabla 14.** PVSC agregado grueso.

primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
Peso bruto (kg)	11660	Peso bruto (kg)	11680	Peso bruto (kg)	11775
Tara	g-2	Tara	g-2	Tara	g-2
Volumen (kg/m ³)	7058.93	Volumen (kg/m ³)	7058.93	Volumen (kg/m ³)	7058.93
Peso V.S (kg/m ³)	1651	Peso V.S (kg/m ³)	1654	Peso V.S (kg/m ³)	1668

Fuente: Elaboración propia

Promedio: 1657

$$PVSS = \frac{(Peso\ cilindro\ (Kg) + Arena\ gruesa\ (Kg)) - (Peso\ (Kg))}{Volumen\ cilindro\ (m^3)}$$

$$PVSC = \frac{(Peso\ cilindro\ (Kg) + A.\ grueso\ (Kg)) - (Peso\ (Kg))}{Volumen\ cilindro\ (m^3)}$$

Una vez realizados los ensayos para la determinación de los pesos volumétricos sueltos y compactos (PVSS, PVSC) para el agregado grueso y

agregado fino, se obtuvieron como resultados en el agregado grueso un PVSS de 1542 kg/m³ y PVSC de 1657 kg/m³ y para el agregado fino un PVSS 1528 kg/m³ y un PVSC 1702 kg/m³ como se observa en las tablas anteriormente mostradas.

3.4. Determinación de % de desgaste del agregado grueso.

Lo siguiente fue determinar el porcentaje de desgaste obtenido del agregado grueso, obteniendo los siguientes resultados mostrados a continuación:

Tabla 15. % Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

Peso de la muestra total (gr.) (A)	5,000
Peso retenido en tamiz no. 12 (gr.) (B)	3,645
Diferencia C = (A - B) (gr.)	1,355
% Desgaste: C/A*100	27.1

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que al realizar el ensayo de desgaste al agregado grueso, este obtuvo un resultado de 27.1 %; el cual cumple con la especificación de 50% máximo como lo establece la norma ASTM C-131, lo que nos indica que es un material apto para la elaboración de mezclas de concreto.

3.5. Ensayo de intemperismo acelerado haciendo uso de sulfato de sodio.

Se determinó el porcentaje de daño causado al agregado grueso (grava de 3/4") haciendo uso de sulfato de sodio según la norma ASTM C - 88 en la cual obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 16. Ensayo sobre agregado grueso (ASTM C-88)

Tamaño de malla		Granulometría original en % que pasa (3)	Granulometría original en % retenidos parciales (4)	Peso retenido antes del ensaye en grms. (5)	Peso retenido después del ensaye en grms (6)	Diferencia que pasa la malla (5) - (6) = (7)	% que pasa la malla (pérdida real) (7) ÷ (5) = (8)	% de perdida corregida con decimales (4) × (8) = (9)
(1) pasa por	(2) retiene por							
2 ½"	1 ½"			3000				
1 ½"	¾"	-	-	1500	-	-	-	-
¾"	3/8"	24	34	1000	989	11	0.011	0.374
3/8"	nº 4	47	66	300	295	5	0.016	1.056
totales		71	100					1.43 %

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el ensayo de intemperismo acelerado en el agregado grueso extraído del banco de materiales de PROINCO se obtuvo un resultado de 1.43 %; como se muestra en la tabla N°16, el cual se encuentra dentro de las especificaciones proporcionadas por la norma ASTM C-88, en donde su aceptación para su uso en concretos es del 12% máximo.

3.6. Determinación de % de caras fracturadas.

Además se determinó el porcentaje de caras fracturadas para el agregado grueso según lo establecido por la norma ASTM D-5821 obteniendo los resultados que se muestran a continuación:

Tabla 17. Caras fracturadas agregado grueso (ASTM D-5821)

Granulometría original					
Tamiz	Peso R.P	% R.P	% R.A	% Pasa	
1 ½"					
1"					
¾"					
½"	1306.6	18	18	82	
⅜"	1664.4	24	42	58	
nº 4	3988.4	57	99	1	
fondo	36.4	0.52	100		
total	6,996	100			

Tamaño		a	b	c	d	e	% caras fracturadas	
Pasa 1 ½"	Ret. 1"							
Pasa 1"	Ret. ¾"							
Pasa ¾"	Ret. ½"	1,200	1,295	107.9	18	1,942.5		
Pasa ½"	Ret. ⅜"	300	295.0	98.3	24	2,360.0		
Pasa ⅜"	Ret. 4"	300	296.0	98.7	57	5,624.0	99.27%	
				total	100	9,927		

Fuente: Elaboración propia.

Al determinarse el porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso se obtuvo un 99.27 % de caras fracturadas como lo muestra la tabla N°17. No

hay datos disponibles sobre la precisión cuando se utiliza este método de ensayo. Hay registros de estudios separados efectuados por el Departamento de Transporte de California y de Arizona utilizando sus propios métodos, en materiales que promediaron cerca del 80% de partículas fracturadas.

Se realizaron los ensayos para determinar la graduación tanto del agregado fino como del agregado grueso según la ASTM -136; así mismo se determinó si ambos agregados cumplen las especificaciones según la norma ASTM C-33 obteniendo los siguientes resultados:

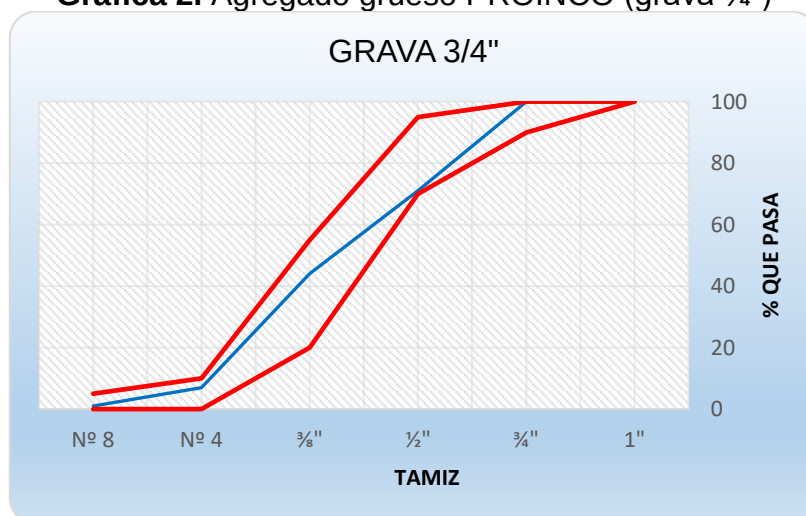
3.7. Determinación de granulometría de agregado fino y grueso.

Tabla 18. Granulometría A. grueso.

Tamiz	% que pasa	Especificaciones (ASTM C-33)
1½"		100
¾"	100	90 – 100
½"	71	-
3/8"	44	20 - 55
N4	7	0 – 10
N8	1	0 - 5
M.F: 7.48		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Agregado grueso PROINCO (grava ¾")



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó de igual manera el ensayo para la determinación granulométrica del agregado grueso, en donde en la tabla N°18 se observa que el material grueso cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-33 para elaboración de concreto reflejada de mejor forma en la gráfica N°2 donde se observa el comportamiento granulométrico.

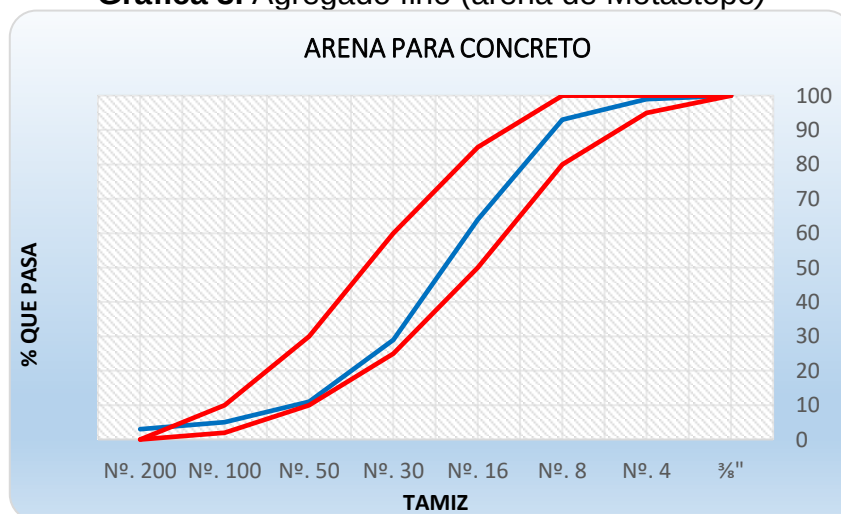
3.8. Determinación de granulometría de agregado fino

Tabla 19. Granulometría agregado fino.

Tamiz	% que pasa	Especificaciones (ASTM C-33)
4	99	95 – 100
8	93	80 – 100
16	64	50 – 85
30	29	25 – 60
50	11	10 – 30
100	5	2 – 10
200	3	
M.F: 2.99		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Agregado fino (arena de Motastepe)



Fuente: Elaboración propia.

Al realizarse el ensayo para la determinación granulométrica del agregado fino se aprecia que el material fino cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-33 para elaboración de concreto reflejada de mejor forma en la gráfica N°3 donde se observa su comportamiento granulométrico.

En la tabla N°20 se muestran los resultados obtenidos de cada ensayo, tanto para agregado grueso como agregado fino.

3.9. Cuadro de resultados de ensayos de laboratorio para agregado grueso y fino.

Tabla 20. Resultados de ensayos de laboratorio.

Ensaye	Grava	Arena
Absorción	1.92	5.75
Densidad	2.69	2.53
PVSS	1542	1528
PVSC	1657	1702
M. de finura	7.48	2.94
Desgaste	27.1 %	-
Intemperismo	1.47%	-
Caras fracturadas	99.27%	-
Impureza orgánica	-	COLOR N°1

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°20 se observa la caracterización final obtenida del agregado fino y agregado grueso; en donde después de la realización de los ensayos correspondientes a cada uno, se obtuvieron los datos necesarios para el cálculo y posterior proporcionamiento de mezclas de concretos efectuado en esta investigación.

IV. CAPITULO: CÁLCULOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETOS.

En el presente capítulo se muestran los cálculos realizados para cada uno de los métodos de diseños de mezclas de concreto propuestos en este estudio obteniendo los resultados siguientes por cada método de diseño:

4.1. Método ACI 211.

Tabla N° 21. Características de los materiales para diseños método ACI 211.

Material	PVSS.	PVSC.	Gravedad específica	Módulo de finura	% absorción	% Humedad
Cemento			3.15			-
Arena	1528	1702	2.53	2.94	5.73	-
Grava	1542	1657	2.69	7.43	1.92	-

Fuente: Elaboración propia.

Debemos tener en cuenta, que no se realizó ensayos al cemento por lo cual se optó el trabajar con una gravedad específica de 3.15, ya que la PCA (Portland Cement Association) en unos de sus artículos define que la gravedad específica de los cementos rondan entre 2.9 a 3.20, teniendo como promedio 3.15, dato que adoptamos para nuestros diseños y dosificaciones de concretos.

Teniendo en cuenta esta consideración con respecto al cemento planteamos las siguientes características del diseño:

Características del diseño.

Concreto de 3000 psi.

Agregado $\frac{3}{4}$ "

TMN: $\frac{1}{2}$ "

El método del ACI 211, nos aconseja realizar un cálculo aritmético para encontrar el factor de resistencia de diseño por medio de datos estadísticos, al no contar con estos, el mismo método nos aconseja la utilización de una serie de fórmulas, las cuales dependiendo de nuestra resistencia de diseño 210 kg/cm² se aplica un factor de seguridad establecido en el comité 211 del ACI tabla N°5.3.2.2. Mostrada en la tabla A0 de los anexos, obteniendo el siguiente resultado:

- ✓ Resistencia de diseño más factor de seguridad: **$210 \text{ kg/cm}^2 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$** .

Para determinar el asentamiento de diseño lo hacemos determinándolo por la tabla 6.3.1 dada por comité 211 del ACI, mostrada en la tabla A1 de los anexos en los cuales para este diseño se tomó un asentamiento **3"- 4"** para obtener una consistencia con buena trabajabilidad y ser usado en vigas o muros armados, según lo recomendado por el ACI.

El contenido de agua de diseño se determina mediante la tabla 6.3.3 dada por el comité 211 del ACI mostrada en la tabla A3 en los anexos, en donde dependiendo del TMN del agregado grueso y el revenimiento de diseño obtenemos la cantidad de agua y porcentaje de aire, el TMN es de $\frac{1}{2}$ " y el asentamiento propuesto es de 3" – 4", por lo tanto, la cantidad de agua y porcentaje de contenido de aire son los siguientes:

- ✓ **Contenido de agua de diseño: 216 lts.**
- ✓ **Contenido de aire: 2%.**

Se determina la Ra/c mediante la tabla 6.3.4 del comité 211 del ACI mostrada en la tabla A3 de los anexos, en la cual encontramos una serie de resistencias y sus respectivas Ra/c, al no estar nuestra resistencia se procede a realizar una interpolación para determinar el dato faltante como se muestra a continuación:

- ✓ **Cálculo de la relación agua/cemento (a/c).**

$$(300 - 250) \longrightarrow (0.55 - 0.62)$$

$$(294 - 250) \longrightarrow (x - 0.62)$$

Ra/c: 0.558

Una vez encontrado la Ra/c se procede a determinar la cantidad de cemento la cual encontramos despejando la fórmula de la Ra/c como se muestra a continuación:

✓ **Cálculo de cemento.**

$$Ra/c = c = a/Rac$$

$$c = \frac{216 \text{ lts.}}{0.558} = 387.09 \text{ kgs.}$$

Cantidad de bolsas por m³

$$387.09/42.5 = 9.10 \text{ bolsas.}$$

Se calcula la cantidad de agregado grueso mediante la tabla 6.3.6 del comité 211 del ACI mostrada en la tabla A5 de los anexos en donde se determina mediante el TMN del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino. Al no estar nuestro módulo de finura en la tabla se procede a realizar una interpolación para determinar el dato faltante como se muestra a continuación:

✓ **Cantidad de agregado grueso.**

$$(2.90 - 3.00) \longrightarrow (0.54 - 0.53)$$

$$(2.94 - 3.00) \longrightarrow (x - 0.53)$$

$$\text{C.A Grueso: } 0.54$$

✚ **Cálculo de peso unitario del agregado grueso.**

✓ peso unitario: Cant. agregado grueso * PVSC del agregado grueso

$$\text{Peso unitario A. grueso: } 0.54 * 1657 \text{ kg/m}^3 = 894.78 \text{ kg}$$

✚ **Volumen absoluto para determinar cantidad de agregado fino.**

$$\text{vol. del cemento: } \frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{Gravedad específica} * \text{Densidad de Agua}}$$

$$✓ \text{ vol. del cemento: } \frac{385.7 \text{ kg}}{3.15 * 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.1224 \text{ m}^3$$

$$\text{vol. del a. grueso: } \frac{\text{cantidad de A.grueso}}{\text{Gravedad específica} * \text{Densidad Agua}}$$

$$✓ \text{ vol. del a. grueso: } \frac{894.78 \text{ kg}}{2.69 \times 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.332 \text{ m}^3$$

$$\text{vol. de aire: } \frac{\text{contenido de aire}}{\text{densidad del aire}}$$

$$✓ \text{ vol. de aire: } \frac{2.0\%}{100} * 1 \text{ m}^3 = 0.02 \text{ m}^3$$

$$\text{vol. de agua: } \frac{\text{contenido de agua}}{1000}$$

$$✓ \text{ vol. de agua: } \frac{216}{1000} = 0.216 \text{ m}^3$$

Suma de los volúmenes

Cemento: 0.1224 m³

Grava: 0.3326 m³

Aire: 0.02 m³

Agua: 0.216 m³

$\Sigma = 0.691 \text{ m}^3$

Vol. absoluto de la arena.

1 – Σ de volúmenes.

$$✓ 1 - 0.691 \text{ m}^3 = 0.309 \text{ m}^3$$

Cálculo de peso unitario de arena.

$$\text{Arena: vol. absoluto de arena} * \frac{\text{peso esp. de arena}}{\text{Densidad del agua}}$$

$$\text{Arena: } 0.309 \text{ m}^3 * \frac{2.53}{1000 \text{ kg/m}^3} = 782.0 \text{ kg.}$$

Corrección por absorción.

Se tiene que mencionar que en este método no se realizó corrección por humedad dado que los materiales fueron secados hasta no retener humedad en sus agregados por lo que su corrección fue solo por absorción.

$$W_{\text{mezclado}}: W_{\text{diseño}} + W_{\text{ARENA}} * \left(\frac{\text{ABS. DE ARENA}}{100} \right) + W_{\text{GRAVA}} \left(\frac{\text{ABS. DE GRAVA}}{100} \right)$$

$$\checkmark \quad W_{\text{mezclado}}: 216 \text{ lts.} + 782 \text{ kg} * \left(\frac{5.75}{100} \right) + 894.78 \left(\frac{1.92}{100} \right)$$

$$\checkmark \quad W_{\text{mezclado}}: 278.08 \text{ lts}$$

Proporciones en peso.

$$\text{Cemento: } \frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Cemento: } \frac{385.7 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = 1$$

$$\text{Arena: } \frac{\text{cantidad de arena}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Arena: } \frac{782 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = 2.02$$

$$\text{Grava: } \frac{\text{cantidad de grava}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Grava: } \frac{894.78 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = 2.32$$

4.2. Método de Walker.

Tabla N°22. Características de los materiales para diseño método de Walker.

5. Material	PVSS.	PVSC.	Gravedad específica	Módulo de finura	% absorción	% Humedad
Cemento			3.15			-
Arena	1528	1702	2.53	2.94	5.73	-
Grava	1542	1657	2.69	7.43	1.92	-

Fuente: Elaboración propia.

Características del diseño.

Concreto de 3000 psi.

Agregado $\frac{3}{4}$ "

TMN: $\frac{1}{2}$ "

Para el diseño de mezcla de concreto por el método de Walker la obtención de la resistencia requerida, cantidad de agua, revenimiento, relación agua/cemento, cantidad de cemento y cantidad de bolsas de cementos son calculadas de la misma manera que el método del ACI 211, Por lo cual los datos obtenidos son los mismos que los del método ACI 211 como se muestra a continuación:

- ✓ **Factor de seguridad:** $210 \text{ kg/cm}^2 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.
- ✓ **Revenimiento:** 3"- 4" para ser usado en vigas o muros armados.
- ✓ **Relación agua/cemento:** 0.558
- ✓ **Cantidad de agua:** 216 lts.
- ✓ **Contenido de cemento:** 385.7 kg
- ✓ **Cantidad de bolsas de cementos:** 9.10 bolsas
- ✓ **Contenido de aire:** 2%.

Una vez obtenidos los valores anteriores se continúa el cálculo de vol. Absoluto de la pasta y los correspondientes cálculos para al diseño de la mezcla como se muestra a continuación:

✚ Se Calcula el vol. absoluto de la pasta

✚ vol. del cemento: $\frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{Gravedad esp.} \cdot \text{Densidad Agua}}$

✓ vol. del cemento: $\frac{385.7 \text{ kg}}{3.15 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.1224 \text{ m}^3$

vol. de aire: $\frac{\text{Porcentaje de aire} \cdot \text{m}^3 \text{ cúbico de concreto}}{100}$

✓ vol. de aire: $\frac{2.0\%}{100} \cdot 1 \text{ m}^3 = 0.02 \text{ m}^3$

vol. de agua: $\frac{\text{contenido de agua}}{1000 \text{ kg/m}^3}$

✓ vol. de agua: $\frac{216}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.216 \text{ m}^3$

✚ Se suman los volúmenes.

Cemento: 0.1224 m³

Aire: 0.02 m³

Agua: 0.216 m³

$\Sigma = 0.3588 \text{ m}^3$

✚ Cálculo de vol. absoluto del agregado global.

1 – Σ . de volúmenes

✓ $1 - 0.3588 \text{ m}^3 = 0.6412 \text{ m}^3$

✚ Determinación del grado de incidencia del agregado fino por medio de la tabla de Walker.

Para la determinación del grado de incidencia del agregado fino por medio de la tabla de Walker (tabla A7 de los anexos), este se determina por la cantidad de bolsas obtenidas para un 1m³ y el módulo de finura del agregado fino, observando que el dato nuestro en cantidad de bolsas es de 9.10 bolsas y un

MF del agregado fino de 2.94 se procede a la determinación del dato, pero al observar que la cantidad de bolsas de cemento obtenidas no se encuentra dentro de la tabla de Walker, se procede a realizar una sucesión aritmética de 3 en 3 siendo así para 8 bolsas 48, para 9 bolsas 45 y para 10 bolsas de 42; luego obtenidos los datos se realiza una interpolación como se muestra a continuación:

9	45
9.10	x
10	42

$$(9 - 10) \longrightarrow (45 - 42)$$

$$(9.10 - 10) \longrightarrow (x - 42)$$

$$X = 44.79 \%$$

✚ Vol. de agregado fino.

vol. del a. fino = Vol. absoluto * grado de incidencia agregado fino.

$$✓ \text{ vol. del a. fino} = 0.6412 \text{ m}^3 * 44.79/100 = 0.2872 \text{ m}^3$$

✚ Determinación de grado de incidencia de agregado grueso.

% a. grueso = 100 - grado de incidencia del agregado fino

$$✓ \% \text{ a. grueso} = 100 - 44.79\% = 55.21\%$$

✚ Vol. de agregado grueso.

vol. del a. grueso = vol. agregado global * grado de incidencia del agregado grueso

$$✓ \text{ vol. del a. grueso} = 0.6412 \text{ m}^3 * 55.21/100 = 0.3540 \text{ m}^3$$

✚ Cálculos de pesos de agregados en seco.

Agregado grueso= Vol. de a. grueso *Gravedad específica*Densidad de agua

✓ Grava: $0.3540 * 2.69 * 1000 \text{ Kg/m}^3 = 952.2 \text{ kg.}$

Arena: Vol. de Arena *Gravedad específica*Densidad de agua

✓ Arena: $0.2872 * 2.53 * 1000 \text{ kg/m}^3 = 726.6 \text{ kg.}$

Se tiene que mencionar que no se realizó corrección por humedad, dado que los materiales fueron secados hasta no retener humedad; por lo que su corrección fue solo por absorción.

✚ Corrección por absorción.

$$W_{\text{mezclado}}: W_{\text{diseño}} + W_{\text{ARENA}} * \left(\frac{\text{ABS. DE ARENA}}{100} \right) + W_{\text{GRAVA}} * \left(\frac{\text{ABS. DE GRAVA}}{100} \right)$$

✓ wmezclado: $216 \text{ lts.} + 727.62 \text{ kgs} * \left(\frac{5.75}{100} \right) + 953.3 \text{ kgs} * \left(\frac{1.92}{100} \right)$

wmezclado: 276.13 lts

✚ Proporciones en peso.

Cemento: $\frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{cantidad de cemento}}$

Cemento: $\frac{385.7 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = 1$

Arena: $\frac{\text{cantidad de arena}}{\text{cantidad de cemento}}$

Arena: $\frac{727.62 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = 1.88$

Grava: $\frac{\text{cantidad de grava}}{\text{cantidad de cemento}}$

Grava: $\frac{952.2 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = 2.4$

4.3. Método de módulo de finuras de los agregados.

Tabla N°23. Características de los materiales para diseños método módulo de finura.

5. Material	PVSS.	PVSC.	Gravedad específica	Módulo de finura	% absorción	% Humedad
Cemento			3.15			-
Arena	1528	1702	2.53	2.94	5.73	-
Grava	1542	1657	2.69	7.43	1.92	-

Fuente: Elaboración propia.

Características del diseño.

Concreto de 3000 psi.

Agregado $\frac{3}{4}$ "

TMN: $\frac{1}{2}$ "

Al igual que para el diseño de mezcla de concreto por el método de Walker la obtención de la resistencia requerida, cantidad de agua, revenimiento, cantidad de cemento y su relación agua/cemento son obtenidas de la misma manera en que se obtienen por el método del ACI 211.

Por lo cual se obtienen los siguientes datos:

- ✓ **Factor de seguridad:** $210 \text{ kg/cm}^2 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.
- ✓ **Revenimiento:** 3" - 4" para ser usado en vigas o muros armados.
- ✓ **Cantidad de agua:** 216 lts.
- ✓ **Contenido de aire:** 2%.
- ✓ **Relación agua/cemento:** 0.558
- ✓ **Cantidad de cemento:** 387.09
- ✓ **Bolsas de cemento:** 9.10 bolsas.

Una vez obtenidos los datos anteriores se procede a calcular el volumen absoluto de la pasta como se muestra a continuación:

✚ Cálculo de vol. absoluto de la pasta.

vol. del cemento: $\frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{Gravedad esp.} \cdot \text{Densidad Agua}}$

$$\checkmark \text{ vol. del cemento: } \frac{385.7 \text{ kg}}{3.15 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.1224 \text{ m}^3$$

vol. de aire: $\frac{\text{contenido de aire}}{1000}$

$$\checkmark \text{ vol. de aire: } \frac{2.0 \%}{100} * 1 \text{ m}^3 = 0.02 \text{ m}^3$$

vol. de agua: $\frac{\text{cantidad de agua}}{\text{densidad del agua}}$

$$\checkmark \text{ vol. de agua: } \frac{216 \text{ lts.}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.216 \text{ m}^3$$

✚ Suma de los volúmenes

Cemento: 0.1224 m³

Aire: 0.02 m³

Agua: 0.216 m³

$\sigma = 0.3588 \text{ m}^3$

✚ Cálculo de vol. absoluto del agregado global.

1 - suma de volúmenes

$$\checkmark 1 - 0.3588 \text{ m}^3 = 0.6412 \text{ m}^3$$

✚ Determinación de módulos de finuras de la combinación de agregados por medio de la tabla de módulos de finuras.

Para la determinación del módulo de finuras de la combinación de los agregados por medio de la tabla de módulos de finuras, este se determina por la cantidad de bolsas obtenidas para un 1m³ y su tamaño máximo nominal del agregado grueso, pero al observar que la cantidad de bolsas de cemento obtenida en nuestro calculo no se encuentra dentro de la tabla de módulo de finuras, se procede a realizar una sucesión aritmética en este caso sumando 0.8 sus decimales a partir del dato de nueve bolsas, siendo así para 9 bolsas

5.19, y para 10 bolsas 5.27 una vez obtenidos los datos se procede a realizar una interpolación como se muestra a continuación:

bolsas	
9	5.19
9.07	x
10	5.27

$$(9 - 10) \longrightarrow (5.19 - 5.27)$$

$$(9.07 - 10) \longrightarrow (x - 5.27)$$

$$Mc = 5.34$$

Determinación del porcentaje del agregado fino.

Para determinar el % de agregado fino se utiliza los módulos de finuras de ambos agregados (agregado fino y agregado grueso) además que entra también en el cálculo el módulo de finura de los agregados calculado anteriormente lo cual se calcula de la siguiente forma:

$$F = \frac{mg - mc}{Mg - Mf}$$

Donde:

Mg: módulo de finura de la grava.

m.f: módulo de finura de arena.

Mc: módulos de finuras de la combinación de agregados.

En los cual sustituyendo datos en la formula obtenemos el siguiente resultado:

$$F = \frac{7.48 - 5.34}{7.48 - 2.94} = 47.14 \%$$

Dando, así como resultado que el 47.14% pertenece al agregado fino.

✚ Porcentaje de incidencia del agregado grueso respecto al agregado global.

$$F = 100 - 47.14\% = 52.86 \%$$

- **Vol. de agregado fino.**

vol. del a. fino= vol. absoluto del a. global *% de incidencia A. fino

✓ vol. del a. fino= $0.6412 \text{ m}^3 * 0.4714 = 0.3022 \text{ m}^3$

- **Vol. de agregado grueso.**

vol. del a. grueso = vol. Absoluto del a. global * % de incidencia A. grueso

✓ vol. del a. grueso = $0.6412 \text{ m}^3 * 0.5286 = 0.3389 \text{ m}^3$

✚ Cálculos de pesos de agregados en seco.

Grava: Vol. de a. grueso *Gravedad específica *Densidad de agua

✓ Grava: $0.3389 \text{ m}^3 * 2.69 * 1000 \text{ kg/m}^3 = 911.64 \text{ kgs.}$

Arena: vol. de arena * Gravedad específica*Densidad de agua

✓ arena: $0.3022 * 2.53 * 1000 \text{ kg/m}^3 = 765.00 \text{ kg.}$

Como observación se tiene que mencionar que no se realizó corrección por humedad en este método tampoco, dado que los materiales fueron secados hasta no retener humedad, por lo que, se realizó la corrección solo por absorción.

✚ Corrección por absorción.

$$W_{\text{mezclado}}: w_{\text{diseño}} + W_{\text{ARENA}} * \left(\frac{\text{ABS. DE ARENA}}{100} \right) + W_{\text{GRAVA}} \left(\frac{\text{ABS. DE GRAVA}}{100} \right)$$

$$✓ \quad W_{\text{mezclado}}: 216 \text{ lts.} + 765 \text{ kg} * \left(\frac{5.75}{100} \right) + 911.64 \left(\frac{1.92}{100} \right)$$

$$W_{\text{mezclado}}: \boxed{277.3 \text{ lts}}$$

✚ proporciones.

$$\text{Cemento: } \frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Cemento: } \frac{385.7 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = \boxed{1}$$

$$\text{Arena: } \frac{\text{cantidad de arena}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Arena: } \frac{765.0 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = \boxed{1.98}$$

$$\text{Grava: } \frac{\text{cantidad de grava}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Grava: } \frac{911.64 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = \boxed{2.3}$$

4.4. Método de Fuller.

Tabla N°24. Características de los materiales para diseños método de Fuller.

5. Material	PVSS.	PVSC.	Gravedad específica	Módulo de finura	% absorción	% Humedad
Cemento			3.15			-
Arena	1528	1702	2.53	2.94	5.73	-
Grava	1542	1657	2.69	7.43	1.92	-

Fuente: Elaboración propia.

Características del diseño.

Concreto de 3000 psi.

Agregado $\frac{3}{4}$ "

TMN: $\frac{1}{2}$ "

Para el diseño de mezcla de concreto por el método de Fuller la obtención de la resistencia requerida, cantidad de agua, revenimiento y relación agua/cemento son obtenidas de la misma manera que el método del ACI 211 Por lo cual se obtienen los siguientes datos:

- ✓ **Factor de seguridad:** $210 \text{ kg/cm}^2 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.
- ✓ **Revenimiento:** 3"- 4" para ser usado en vigas o muros armados.
- ✓ **Cantidad de agua:** 216 lts.
- ✓ **Contenido de aire:** 2%.

✚ Cálculo de cantidad de cemento.

Para el método de Fuller la obtención de su relación agua/cemento y su cantidad de cemento cambia con respecto a los demás métodos de diseños, los cuales se obtienen mediante la fórmula que el método presenta para las obtenciones de las mismas obteniendo la siguiente ecuación:

$$z = (K_1 * RM) + 0.5$$

Donde:

k_1 : factor que va desde 0.0035 a 0.0045

RM: resistencia de diseño.

Sustituyendo datos en la formula obtenemos los siguientes resultados de la Ra/c por método e Fuller.

El método de Fuller nos permite usar un factor que se encuentra entre el rango de entre los 0.0035 y 0.0045 optando para nuestro diseño un punto medio en el cual $K_1 = 0.0040$, como se muestra en la siguiente ecuación obteniendo los siguientes resultados para obtener la relación agua/cemento:

$$Z: (0.0040 * 294) + 0.5$$

$$Z: 1.676$$

Y para la obtención de la cantidad de cemento se obtiene de con la siguiente formula:

$$Z: C/W$$

$$C: (1.676 * 216) = 362 \text{ kgs}$$

$$\text{Cantidad de bolsas: } 362 \text{ kgs} / 42.5 = 8.51 \text{ bolsas.}$$

✚ **Cálculo para parábola de Fuller de tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ " mediante la fórmula $y = \sqrt{D/d}$**

Se procede a realizar una tabla con los tamices utilizados en las granulometrías tanto de agregado grueso y fino y posteriormente se coloca los % retenidos de cada agregado, así como % que pasa de los mismos como se ve a continuación:

Tabla 25. Determinación de la curva de Fuller.

Tamiz (mm)	Tamiz (Pulg.)	% Retenido		% Que pasa	
		Agregado grueso	Agregado fino	Agregado grueso	Agregado fino
19	¾"	0	0	100	100
12.5	½"	29	0	71	100
9.5	3/8"	56	0	44	100
4.75	4	93	1	7	99
2.35	8	99	7	1	93
1.20	16	100	36	0	64
0.595	30	100	71	0	29
0.295	50	100	89	0	11
0.150	100	100	95	0	5
0.075	200	100	97	0	3

Fuente: Elaboración propia.

Una vez elaborada la tabla N°25 se procede a encontrar el máximo diámetro de Fuller, este dato se obtiene para la elaboración de su parábola como se muestra en la gráfica N°4 del ajuste de la mezcla, el cual se obtiene, observando en los retenidos del agregado grueso, y determinado en cual tamiz retiene entre el 0% y el 15 %, en nuestro caso nuestro tamaño máximo Fuller se encuentra en el tamiz ¾" ya que este retiene el 0% y es el tamiz que tiene un retenido entre el 0% y el 15% como lo especifica el método.

Una vez encontrado el tamaño máximo de Fuller en nuestro caso el tamiz de ¾" se procede a utilizar la ecuación de Fuller para encontrar los valores retenidos que conformaran la parábola de Fuller como se muestra a continuación:

$$y = \sqrt{D/d} * 100$$

Donde:

D: diámetro de cada uno de los tamices en (mm).

d: diámetro de tamiz ¾" en (mm)

Tenemos que tener en cuenta que con esta fórmula encontramos los % que pasan de la parábola de Fuller como se muestra a continuación:

Tabla 26. Cálculo de módulo de finura curva de Fuller

Tamiz (mm)	Tamiz (Pulg.)	% Retenido $y = \sqrt{D/d} * 100$	% Que pasa
19	¾"	0	100
12.5	½"	18	82
9.5	3/8"	29	71
4.75	4	50	50
2.35	8	65	35
1.20	16	75	25
0.595	30	82	18
0.295	50	87	13
0.150	100	91	9
0.075	200	94	6
$\sigma =$		591	

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de los cálculos para obtener los % retenido tamaño máximo Fuller.

$$y = \sqrt{\frac{19 \text{ mm}}{(19 \text{ mm})}} * 100, y = \sqrt{\frac{12.5 \text{ mm}}{(19 \text{ mm})}} * 100, y = \sqrt{\frac{9.5 \text{ mm}}{(19 \text{ mm})}} * 100, \dots \text{ Etc.}$$

Una vez obtenidos los pasantes de la parábola de Fuller se obtienen los % retenidos de cada tamiz de la siguiente manera: **100 - % que pasa de la curva de Fuller**. Así mismo se obtiene el módulo de finura de la parábola de Fuller, la cual se encuentra mediante la suma de los retenidos de cada malla dividida entre 100 como se muestra a continuación:

Módulo de finura de la curva de Fuller:

$$\checkmark \quad m_{t2}: \frac{591}{100} = \boxed{5.91}$$

Cálculo de porcentajes de agregado fino y grueso.

Para la obtención de los porcentajes de agregado fino y grueso primeramente se determina los módulos de finuras de ambos agregados, según el método tomamos los porcentajes retenidos en la tabla N° 25 los sumamos y los dividimos entre 100 de igual manera el módulo de finura de la curva de Fuller, obteniendo los siguientes resultados que se observan a continuación:

Módulos de finuras de los agregado fino, agregado grueso y módulo de finura de curva de Fuller.

M.Farena: 3.96

M.Fgrava: 7.77

MFfuller: 5.91

Para obtener el % de arena aplicamos la fórmula siguiente:

$$\text{Arena: } \frac{MF_{\text{fuller}} - MF_{\text{grava}}}{MF_{\text{arena}} - MF_{\text{grava}}} * 100$$

Donde:

M.Farena: módulo de finura de la arena % retenido

M.Fgrava: módulo de finura de la grava % retenido

MFfuller: módulo de finura de la curva de Fuller % retenido

$$\% \text{Arena: } \frac{5.91 - 7.77}{3.96 - 7.77} * 100 = 49\%$$

% Grava: 100 – % arena

$$\% \text{ Grava: } 100 - 49\% = 51\%$$

El siguiente paso es encontrar el ajuste de la mezcla en la curva de Fuller mediante una tabla, la cual se determina colocando lo % retenidos de la curva de Fuller para un tamaño máximo Fuller de d: ¾", se procede a calcular los % de arena y % de grava de la tabla N°27 de la siguiente manera:

$$\frac{\% \text{ DE ARENA}}{100} * \% \text{ QUE PASA DE ARENA EN CADA TAMIZ.}$$

$$\frac{\% \text{ DE GRAVA}}{100} * \% \text{ QUE PASA DE GRAVA EN CADA TAMIZ.}$$

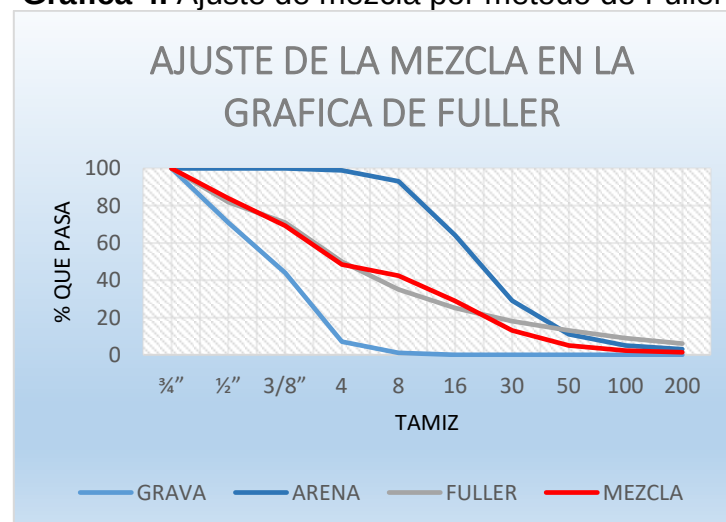
Tabla 27. Ajuste de la mezcla en la curva de Fuller.

tamiz	Fuller con d:3/4"	% arena	% grava	total ajuste de mezcla
¾"	100	49	51	100
½"	82	49	36.21	85.21
3/8"	71	49	22.44	71.44
4	50	48.51	3.57	52.08
8	35	45.57	0.51	46.08
16	25	31.36	0	31.36
30	18	14.21	0	14.21
50	13	5.39	0	5.39
100	9	2.45	0	2.45
200	6	1.47	0	1.47

Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculados los porcentajes de arena y grava se procede al ajuste de la mezcla, la cual se obtiene sumando los porcentajes de arena y grava obtenidos anteriormente en la tabla N°26 la cual será representada gráficamente como se ve en la gráfica N° 4.

Gráfica 4. Ajuste de mezcla por método de Fuller.



Fuente: Elaboración propia.

✚ **Se procede al cálculo del volumen absoluto de la mezcla.**

Vol. Abs: 1- (Cant. de cemento / peso esp. del cemento *densidad del agua + % de aire /100*1 m³ + Cant. de agua /densidad del agua)

Vol. abs: 1- ((362 kg /3.15 *1000 kg/m³*) + (2.0/100) + (216 lts /1000 kg/m³*))

Vol. abs: 0.6441 m³

✚ **Se calcula el volumen de agregado fino y grueso.**

Vol. A. fino: vol. Abs. * % de arena/100

Vol. a. fino: 0.6441 m³ * 0.49 = 0.3156 m³

Vol. A. grueso: vol. Abs. * % de grava/100

Vol. a. grueso: 0.6441 m³ * 0.51 = 0.3284 m³

✚ **Se calcula de cantidad de agregado fino y grueso.**

A. fino: vol. A. fino *(peso esp. de la arena *densidad del agua)

A. fino: 0.3156 * (2.53 * 1000 kg/m³*) = 798.47 kg.

A. grueso: vol. A. grueso *(peso esp. de la grava *densidad del agua)

A. grueso: 0.3284 * (2.68 kg/m³ * 1000 kg/m³) = 883.11 Kg.

No se realizó corrección por humedad dado que los materiales en estudio fueron secados hasta no retener humedad por lo que su corrección fue solo por absorción.

Se determina la corrección por absorción.

$W_{mezclado}: W_{diseño} + W_{ARENA} * \left(\frac{ABS. DE ARENA}{100} \right) + W_{GRAVA} \left(\frac{ABS. DE GRAVA}{100} \right)$

✓ $W_{mezclado}: 216 \text{ lts.} + 733.19 \text{ kg} * \left(\frac{5.75}{100} \right) + 952.79 \left(\frac{1.92}{100} \right)$

$W_{mezclado}: 276.44 \text{ lts}$

Se calculan las proporciones.

$$\text{Cemento: } \frac{\text{cantidad de cemento}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Cemento: } \frac{362 \text{ kgs}}{362 \text{ kgs}} = \boxed{1}$$

$$\text{Arena: } \frac{\text{cantidad de arena}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Arena: } \frac{798.47 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = \boxed{2.0}$$

$$\text{Grava: } \frac{\text{cantidad de grava}}{\text{cantidad de cemento}}$$

$$\text{Grava: } \frac{883.39 \text{ kgs}}{385.7 \text{ kgs}} = \boxed{2.6}$$

4.5. Dosificaciones finales para un 1m³ de concreto haciendo uso de los diferentes métodos de diseños.

En la tabla N°28, se muestran las cantidades de cemento, arena, grava y agua obtenidas para la elaboración de mezclas para cada método de diseño.

Tabla 28. Dosificaciones finales por cada método de diseño.

METODO	Resistencia (kg/cm ²)	Materiales kg			
		cemento	grava	arena	agua
ACI	210 kg/cm ²	387.09	894.78	782.00	278.08
WALKER	210 kg/cm ²	387.09	953.30	727.62	276.13
M.F	210 kg/cm ²	387.09	912.18	765.32	276.00
FULLER	210 kg/cm ²	362.00	883.39	798.49	276.44

Fuente: Elaboración propia.

**V. CAPITULO:
PRESENTACIÓN DE
RESULTADOS A LA
COMPRESIÓN DE
CILINDROS DE CONCRETO.**

5.1. Resultados de ensayo a la compresión método ACI- 211

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al ensayar las probetas de concreto elaboradas para cada método de diseño según lo descrito por la norma ASTM C-39. Cabe mencionar que antes de la realización de estos ensayos, se realizaron pruebas pilotos para observar el comportamiento y viabilidad de cada método y en particular para obtener una proyección en sus resistencias, las cuales se obtuvieron satisfactoriamente, por lo cual se dio inicio a la fabricación y obtención de datos de los especímenes que se muestran a continuación.

En las tablas N°29, N°30 y N°31 se observan los resultados del ensayo a la compresión de las probetas elaboradas a los 7, 14 y 28 días por el método del ACI 211, teniendo como resultados los siguientes datos:

Tabla 29. Resultado de ensayo a la compresión probetas a los 7 días método de ACI 211. (ASTMC-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	26850	12,179	155.07	2,205
2	24825	11,261	143.37	2,039
3	28875	13,098	166.76	2,371

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Resultado de ensayo a la compresión probetas a los 14 días método ACI 211(ASTM C-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	39105	17,738	225.85	3,212
2	37990	17,232	219.41	3,120
3	38547	17,485	222.62	3,166

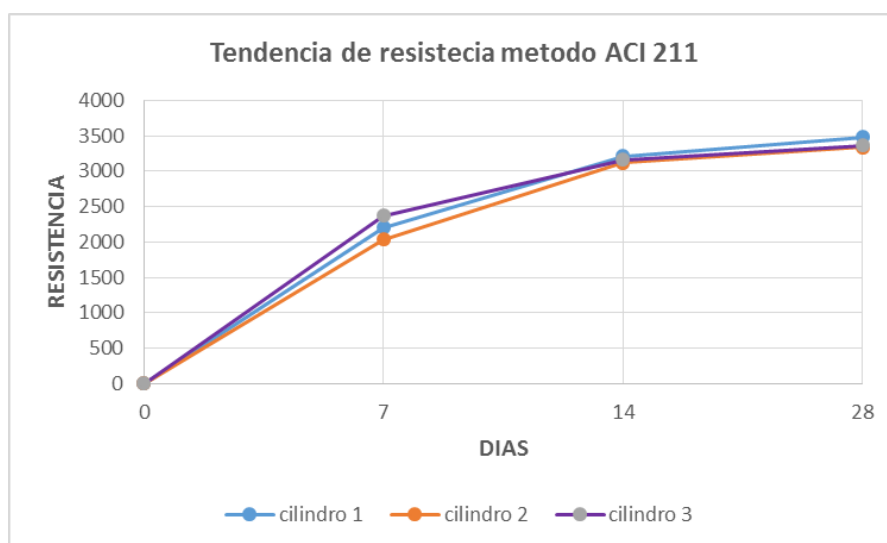
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Resultado de ensayo a la compresión probetas a los 28 días método de ACI 211. (ASTMC-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	44080	19,995	245	3,480
2	42310	19,192	235	3,340
3	42685	19,362	237	3,369

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Comportamiento de la resistencia método ACI 211.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°5, se observa el comportamiento de la resistencia obtenida por el concreto a los 7, 14 y 28 días respectivamente, en el cual se aprecia un aumento de ésta, logrando la resistencia requerida del diseño.

5.2. Resultados del ensayo a la compresión utilizando el método de Walker.

En las tablas N°32, N°33 Y N°34, se presentan los resultados obtenidos al ensayar las probetas de concreto a los 7, 14 y 28 días, por medio del ensayo a la compresión.

Tabla 32. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 7 días utilizando el método de Walker (ASTMC-39)

N° cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	29345	13,311	166	2,362
2	28755	13,043	166	2,362
3	27775	12,599	157	2,236

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 14 días utilizando el método de Walker. (ASTMC-39)

N° cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	38550	17,486	214	3,043
2	39225	17,792	222	3,158
3	37550	17,033	208	2,964

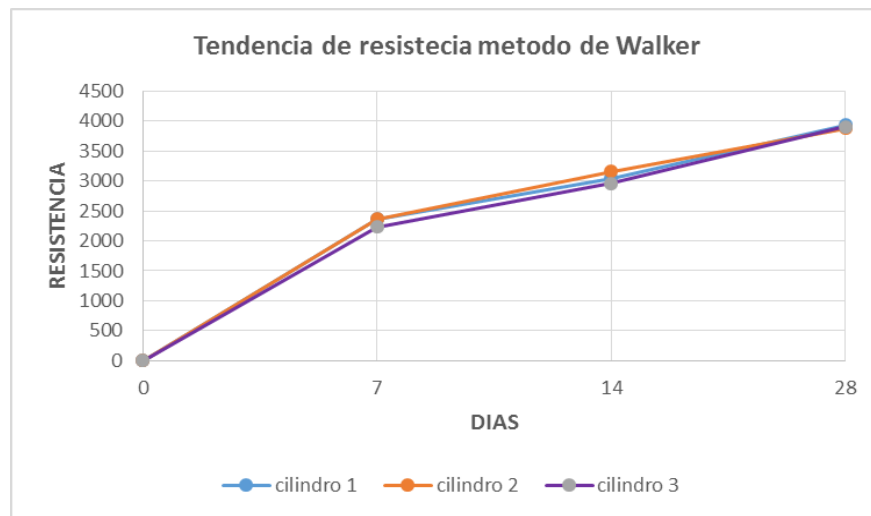
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 28 días utilizando el método de Walker. (ASTMC-39)

N° cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	48925	22,192	277	3,939
2	48230	21,877	273	3,883
3	48575	22,033	275	3,911

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6. Comportamiento de la resistencia utilizando el método de Walker.



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica N°6, se observa el comportamiento que obtuvo el concreto elaborado por el método de Walker a los 7, 14 y 28 días, donde se aprecia un incremento en la resistencia a partir de su elaboración hasta los 28 días, alcanzando la resistencia requerida del diseño.

5.3. Resultados de ensayo a la compresión método módulo de finuras de los agregados.

En las tablas N°35, N°36 Y N°37 se presentan los resultados obtenidos al realizarse los ensayos a la compresión de las probetas de concreto a los 7, 14 y 28 días, elaboradas por el método del módulo de finura de los agregados.

Tabla 35. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 7 días utilizando el método M.F. (ASTMC-39).

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	29380	13,327	170	2,413
2	31910	14,474	181	2,569
3	28435	12,898	164	2,335

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 14 días utilizando el método M.F. (ASTMC-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	35430	16,071	205	2,910
2	37130	16,842	214	3,049
3	39870	18,085	230	3,274

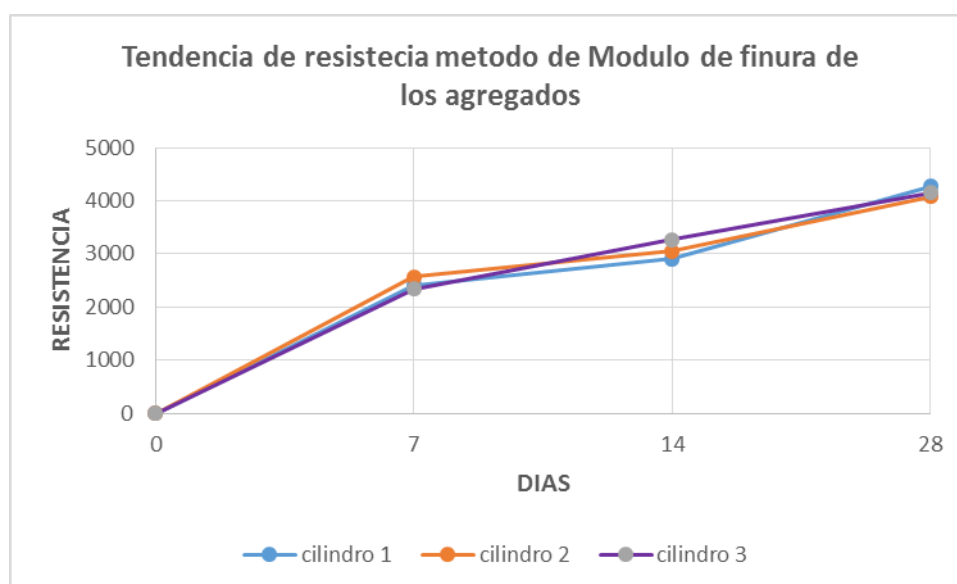
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 28 días utilizando el método M.F. (ASTMC-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	51970	23,573	300	4,268
2	49670	22,530	287	4,079
3	50565	22,936	292	4,153

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7. Comportamiento de la resistencia utilizando el método M.F.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N° 7, se observa el comportamiento obtenido por el concreto a los 7, 14 y 28 días, respectivamente. En el cual se aprecia un incremento en su resistencia, logrando los resultados requeridos por el diseño.

5.4. Resultados de ensayo a la compresión método de Fuller.

En las tablas N°38, N°39 Y N°40 se presentan los resultados obtenidos del ensayo a la compresión de las probetas de concreto elaboradas por el método de Fuller obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 38. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 7 días utilizando el método de Fuller (ASTMC-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	27530	12,488	156	2,216
2	27355	12,408	155	2,202
3	27705	12,567	157	2,230

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 14 días utilizando el método de Fuller (ASTMC-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	36135	16,391	209	2,968
2	35960	16,311	204	2,895
3	36410	16,515	206	2,931

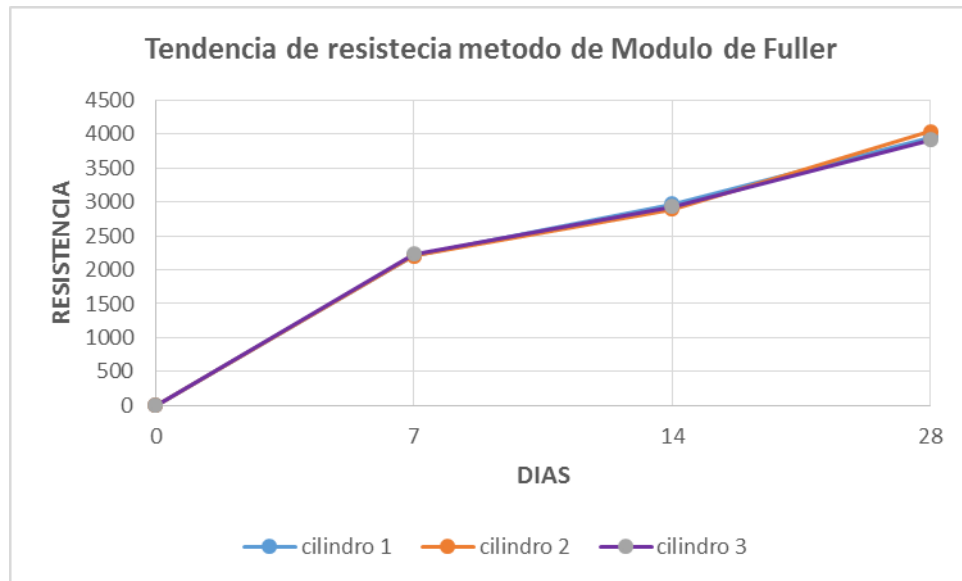
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Resultado de ensayo a la compresión de probetas a los 28 días utilizando el método de Fuller (ASTMC-39)

Nº cilindro	carga (lb)	carga kg	kg/cm ²	psi
1	48180	21,854	278	3,957
2	49235	22,333	284	4,043
3	47700	21,637	275	3,917

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 8. Comportamiento de la resistencia utilizando el método de Fuller.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°8, se observa un comportamiento normal en los resultados adquiridos en la resistencia del concreto a los 7, 14 y 28 días, respectivamente, por el método de Fuller.

Cada uno de los métodos de diseños muestra un comportamiento similar en cuanto a las resistencias adquiridas. También, cabe mencionar, que se realizaron diseños de mezclas de concretos con los métodos anteriormente expuestos en la **CONCRETERA TOTAL**; obteniendo resultados satisfactorios y cumpliendo con la resistencia de diseños, además estos diseños se realizaron con un tipo de agregado diferente (cero) y utilizando la grava de Proinco con aditivos y cemento de alta resistencia (HE).

VI. CAPITULO: COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

6.1. % Porcentajes de materiales para cada método de diseño.

A continuación, se presenta la distribución en porcentajes, de los componentes que conforman las mezclas de concreto, haciendo uso de los diferentes métodos de diseños aplicados, para tener una mejor comprensión en la distribución de los componentes en el hormigón para los diferentes métodos de diseños.

En la tabla N°41, se presentan las cantidades de los materiales que conforman la mezcla elaborada en kilogramos como en porcentajes, haciendo uso del método ACI 211 obteniendo los siguientes resultados.

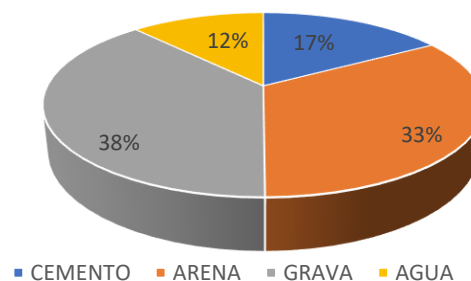
Tabla 41. Porcentajes de material método ACI 211.

Materiales	Cantidad (Kg.)	Cantidad en %
cemento	387.09	17
arena	782.0	33
grava	894.78	38
agua	278.08	12

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 9. Representación de porcentajes ACI 211.

% DE MATERIALES EN LA MEZCLA ACI 211



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°9, se muestra la distribución de los materiales que conforman la mezcla del concreto, donde la grava ocupa el mayor volumen de ésta, con un 38%, arena 33%, agua 12% y por último la cantidad de cemento con un 17%, observando que los agregados ocupan el 71% del hormigón y un 29% la pasta que la conforma el cemento y agua.

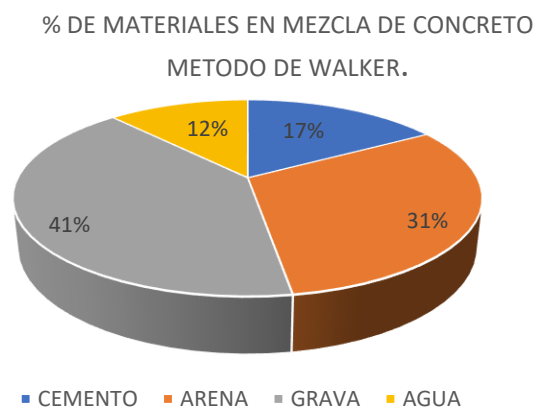
En la tabla N°42, se reflejan las cantidades de materiales tanto en kilogramos como en porcentajes de la mezcla elaborada, haciendo uso del método de Walker teniendo los siguientes resultados que se presentan a continuación.

Tabla 42. Porcentajes de material utilizando el método de Walker.

Materiales	Cantidad (Kg.)	Cantidad en %
cemento	387.09	17
arena	727.62	31
grava	953.3	41
agua	276.13	12

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10. Representación de porcentajes utilizando el método de Walker.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°10, se observa la distribución en porcentajes de los materiales que conforman el hormigón, siendo la grava la que ocupa el mayor volumen del total de la mezcla de concreto con un 41 %, arena de 31 %, agua 12 % y cemento 17%, en el cual se puede observar un incremento significativo de la cantidad de agregado grueso y una disminución significativa del agregado fino con respecto al método del ACI 211.

En la tabla N°43, se aprecian las cantidades en kilogramos como en porcentajes de la mezcla de concreto elaborada, haciendo uso del método de módulo de finuras, obteniendo los siguientes resultados.

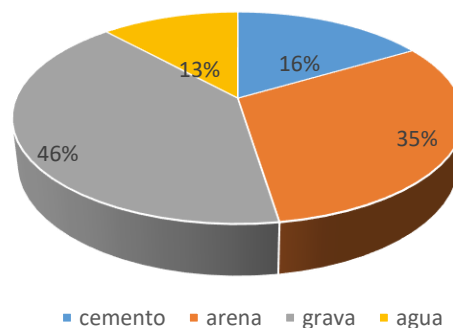
Tabla 43. Porcentajes de materiales método Módulo de finura.

Materiales	Cantidad (Kg.)	Cantidad en %
cemento	387.09	16
arena	727.62	35
grava	953.3	46
agua	276.13	13

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 11. Representación de porcentajes método módulo de finura de los agregados M.F.

Porcentajes de materiales método módulo de finura.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°11 se presenta la distribución de los materiales que conforman el hormigón, siendo la grava el componente mayoritario en la mezcla con un 46%, arena 35%, agua 16% y cemento 13%. Se observa en este método un incremento significativo en la cantidad de agregado grueso y agregado fino, a diferencia de los métodos anteriores (ACI 211 Y Walker), pero con una disminución leve en la cantidad de cemento y agua.

En la tabla N°44, se muestran los resultados obtenidos en kilogramos como también en porcentajes de la mezcla elaborada por el método de Fuller teniendo los siguientes resultados que se detallan a continuación.

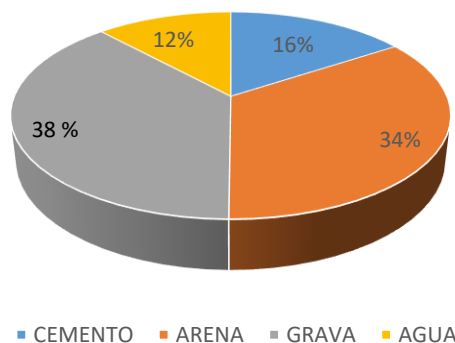
Tabla 44. Porcentajes de materiales utilizando el método de Fuller.

Materiales	Cantidad (Kg.)	Cantidad en %
cemento	367	16
arena	798	34
grava	883	38
agua	276	12

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 12. Representación de porcentajes método de Fuller.

% DE MATERIALES EN LA MEZCLA DE
CONCRETO METODO DE FULLER



Fuente: Elaboración propia.

En la Grafica N°12 se aprecia la distribución de los materiales que conforman el hormigón, en la cual la grava es la que ocupa el mayor volumen con un 38%, arena 34%, agua 12% y cemento 16%. Asimismo, se observa una disminución significativa en las cantidades de agregados en comparación con los métodos de ACI 211, Walker y Modulo de finuras de los agregados.

6.2. Comparación del porcentaje de materiales en las mezclas de concreto con sus respectivos métodos de diseño.

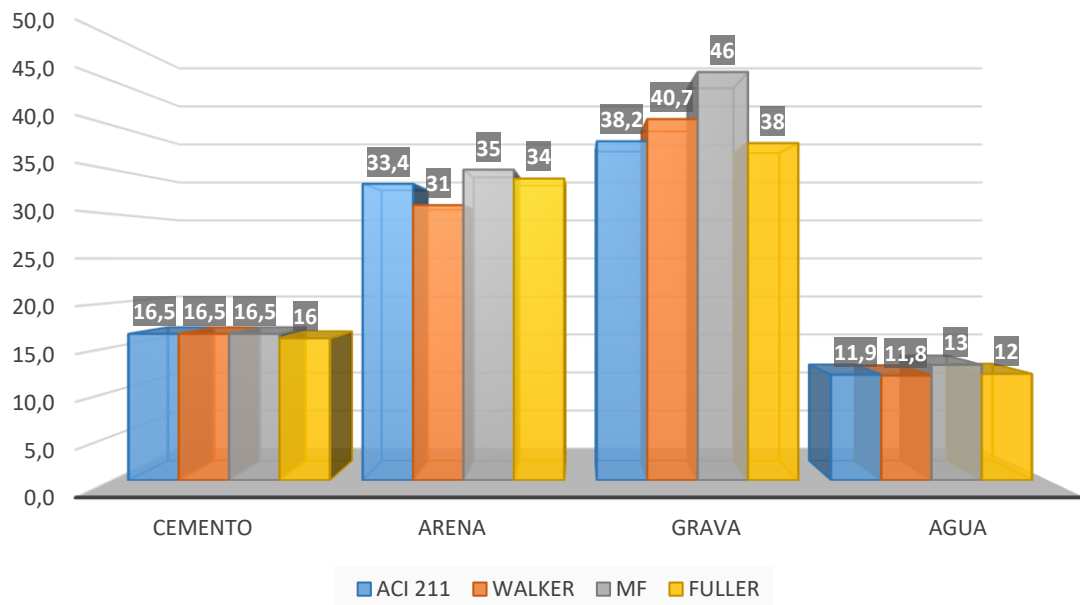
En la tabla N° 45, se observan los porcentajes de materiales obtenidos de cada método de diseño en forma conjunta, con el objetivo de apreciar las diferentes cantidades de materiales obtenidas por cada método de diseño.

Tabla 45. % Porcentajes de materiales en las mezclas de concreto con sus respectivos métodos de diseños.

MÉTODO	% Cemento	% Arena	% Grava	% Agua
ACI	16.5	33.4	38.2	11.9
WALKER	16.5	31.0	40.7	11.8
MF	16.5	35.0	46.0	13.0
FULLER	16.0	34.0	38.0	12.0

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 13. Comparación de materiales en los diferentes métodos de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°13, se observan los porcentajes de materiales obtenidos de cada método de diseño, teniendo en cuenta que los porcentajes de agua y cemento conservan una similitud en sus porcentajes, no así una variación en los porcentajes de la arena y grava.

6.3. Determinación y comparación de la densidad de las mezclas de agregados en seco de los diferentes métodos de diseños.

En la tabla N°46, se presenta las densidades de los agregados en seco combinados para cada método de diseño, determinando los porcentajes de arena y grava de cada método, seguidamente se procede a combinar la mezcla homogéneamente para obtener su densidad como lo establece la norma ASTM C-29 y determinar su PVSS Y PVSC de ésta.

Ver tablas A-9 – A15 de los anexos.

Tabla 46. Densidad de agregados combinados en seco.

MÉTODOS	DENSIDAD SUELTA (kg/m ³)	DENSIDAD COMPACTADA (kg/m ³)
ACI211	1679	1804
WALKER	1654	1809
M.F	1699	1839
FULLER	1686	1811

Fuente: Elaboración propia.

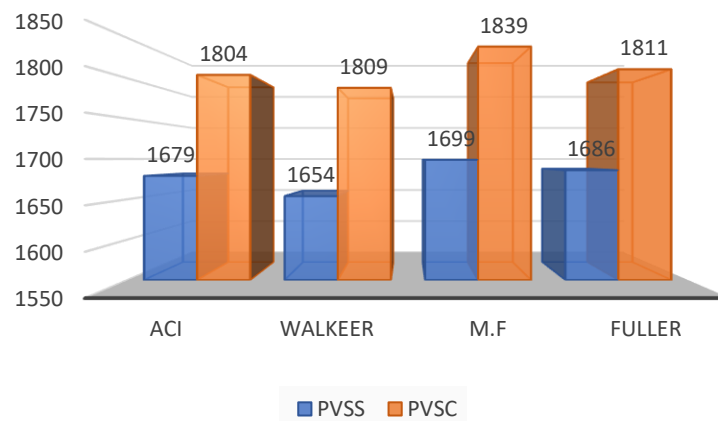
Los pesos volumétricos suelto como compactado de los agregados secos combinados se calculan de la siguiente manera:

$$PVSS = \frac{(Peso\ cilindro\ (Kg) + Arena\ gruesa\ (Kg)) - (Peso\ cilindro\ (Kg))}{Volumen\ cilindro\ (m^3)}$$

$$PVSC = \frac{(Peso\ cilindro\ (Kg) + A.\ grueso\ (Kg)) - (Peso\ (Kg))}{Volumen\ cilindro\ (m^3)}$$

Gráfica 14. Densidad de los agregados en seco de los diferentes métodos de diseño.

DENSIDAD DE LA MEZCLA DE AGREGADOS EN SECO
(GRAVA Y ARENA)CON DIFERENTES METODOS DE
DISEÑOS



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica N°14, se muestra las densidades de la combinación de agregados en seco, en la cual, se observa que la mayor densidad obtenida de los diferentes métodos de diseños fue el método de módulo de finuras de los agregados con un PVSC de 1839 kg/m³.

6.4. Comparación del revenimiento por cada método de diseño.

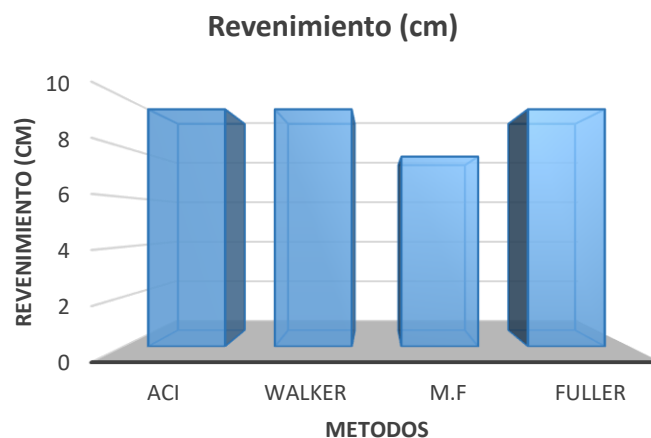
En la tabla N°47 se muestran los revenimientos obtenidos de cada mezcla de concreto según los diferentes métodos de diseños, en los cuales se estableció un revenimiento de 3"- 4" Pulg, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 47. Revenimiento de los métodos de diseño (Pulg)

Método	Revenimiento (pulg)	Revenimiento (cm)
A.C.I 211	3¾	9.52
WALKER	3¾	9.52
MF	3	7.62
FULLER	3¾	9.52

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 15. Revenimientos de cada método de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°15, se observan los resultados de los revenimientos obtenidos para cada uno de los métodos de diseños, observando una similitud entre los revenimientos de los métodos ACI, Walker y Fuller, a excepción del método de Walker el cual menor con respecto a los demás métodos.

6.5. Determinación y comparación de la densidad de las mezclas de concretos endurecido con los diferentes métodos de diseños.

De la tabla N°48, observamos la comparación de las densidades del concreto endurecido para cada método de diseño:

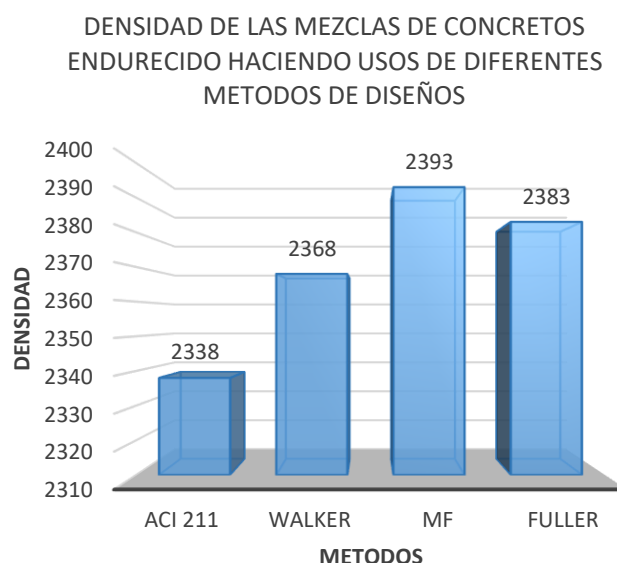
Tabla 48. Densidades del concreto endurecido.

MÉTODO ACI 211	
Densidad (kg/m ³)	2338
METODO DE WALKER	
Densidad (kg/m ³)	2368
MÉTODO MÓDULO DE FINURA	
Densidad (kg/m ³)	2393
MÉTODO DE FULLER	
Densidad (kg/m ³)	2383

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Densidad} = \frac{(\text{Peso cilindro (Kg)})}{\text{Volumen cilindro (M}^3\text{)}} * 100$$

Gráfica 16. Comparación de las densidades de las mezclas de concreto haciendo uso de los métodos de diseños.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N °16, se observan los resultados de las densidades obtenidas, siendo el Módulo de Finura el método de diseño con mayor valor con 2,393 kg/m³.

6.6. Comparación de resultados de los diferentes métodos de diseños según la edad del concreto.

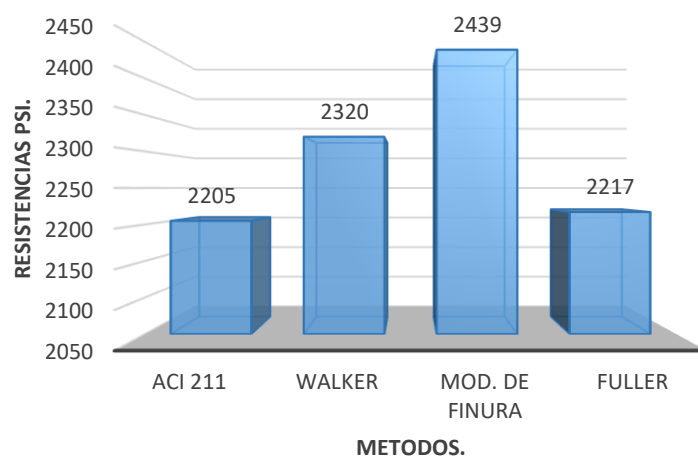
En la tabla N°49, se presentan los resultados al ensayo de la compresión de cada uno de los métodos de diseños en su respectiva edad de 7 días teniendo como resultado los siguientes datos:

Tabla 49. Promedio del concreto a los 7 días.

ACI 211	WALKER	MOD. DE FINURA	FULLER
2205 PSI	2320 PSI	2439 PSI	2217 PSI

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 17. Concreto a los 7 días con diferentes métodos.
RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO A
LOS 7 DIAS



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la gráfica N°17, que el método con mayor resistencia obtenida a los 7 días es el método de módulo de finura de los agregados, seguido por el método de Walker, método de Fuller y método ACI 211 respectivamente.

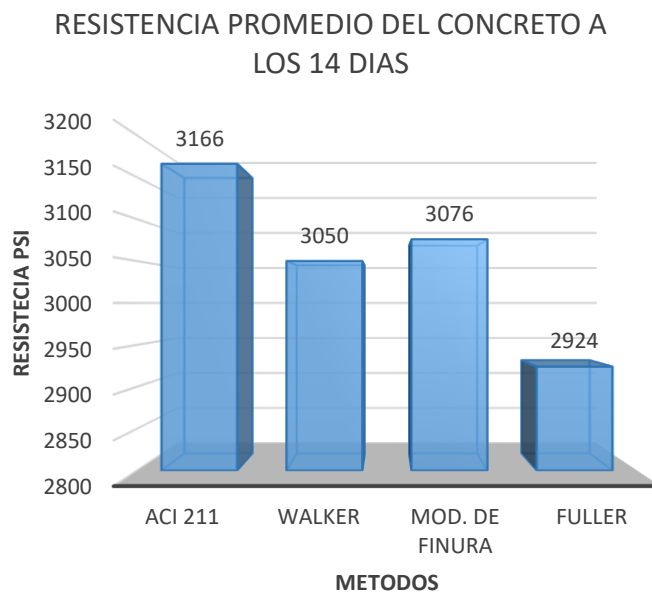
En la tabla N°50, se presentan los resultados al ensaye de la compresión de cada uno de los métodos de diseños en su respectiva edad de 14 días.

Tabla 50. Promedio del concreto a los 14 días.

ACI 211	WALKER	MOD. DE FINURA	FULLER
3166 PSI	3050 PSI	3076 PSI	2924 PSI

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 18. Concreto a los 14 días con diferentes métodos.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la Grafica N°18 que el método que alcanzó mayor resistencia a los 14 días es método ACI 211, seguido por el método módulo de finura de los agregados, método de Walker y finalmente el método de Fuller respectivamente.

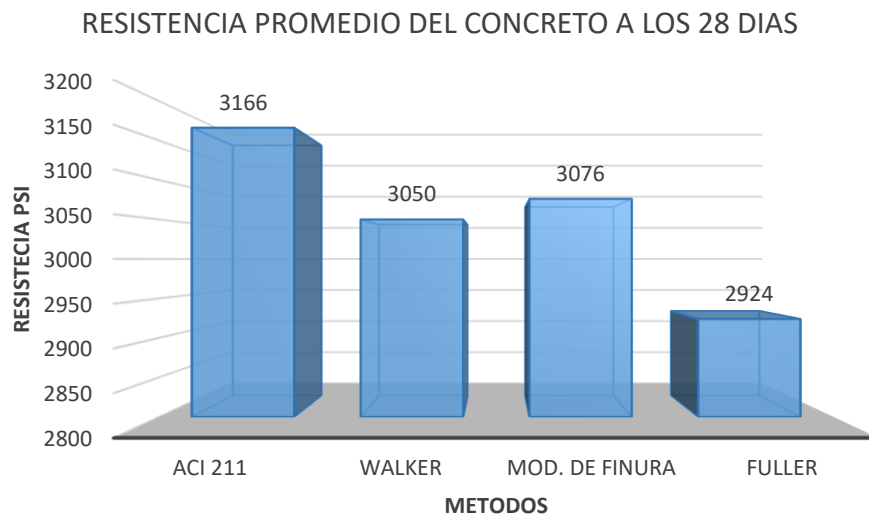
En la tabla N°51, se presentan los resultados al ensaye de la compresión de cada uno de los métodos de diseños en su respectiva edad de 28 días teniendo como resultado los siguientes datos:

Tabla 51. Promedio del concreto a los 28 días.

ACI 211	WALKER	MOD. DE FINURA	FULLER
3398 PSI	3915 PSI	4167 PSI	3979 PSI

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 19. Concreto a los 28 días con diferentes métodos.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°19, se observa que el método con mayor resistencia producida a los 28 días es el método de módulo de finura de los agregados, seguido por método de Fuller, el método de Walker, y respectivamente el método ACI 211

6.7. Comparación de la evolución del concreto según sus diferentes edades por los diferentes métodos de diseños.

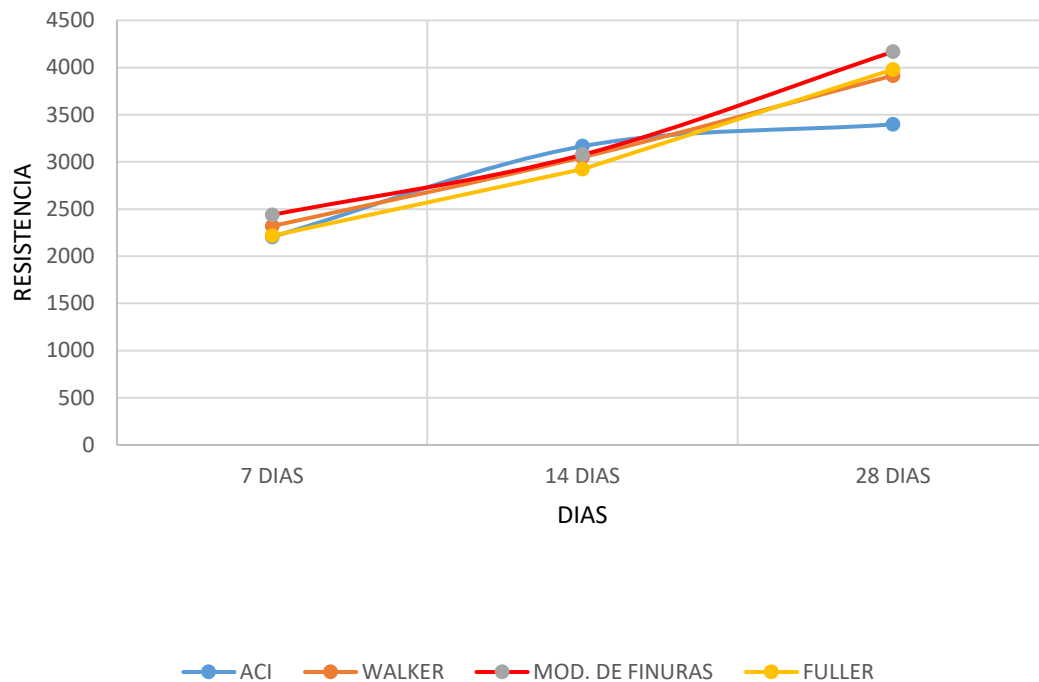
En la tabla N°52, se presentan las resistencias promedio para cada edad de los diferentes métodos de diseños de mezclas de concretos, para realizar una comparación de estas y observar su comportamiento.

Tabla 52 .Promedio del concreto según sus edades.

	ACI	WALKER	MOD. DE FINURAS	FULLER
7 DIAS	2205 PSI	2320 PSI	2439 PSI	2217 PSI
14 DIAS	3166 PSI	3050 PSI	3076 PSI	2924 PSI
28 DIAS	3398 PSI	3915 PSI	4167 PSI	3979 PSI

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 20. Evolución del concreto según sus diferentes edades.
Resistencia del concreto de acuerdo a la edad.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en la gráfica N° 20 el desarrollo del concreto en sus diferentes edades desde los 7y 14 días, en la cual podemos observar un comportamiento parecido entre los métodos de Walker, Fuller y M.F, no siendo igual con el método del ACI 211, donde se puede observar un comportamiento distinto a los otros métodos de diseños, esto se puede derivar a diferentes factores que pudieron influir en este comportamiento.

6.8. Comparación de concreto dada su resistencia promedio a los 28 días, densidad de agregados en seco y densidad de la mezcla.

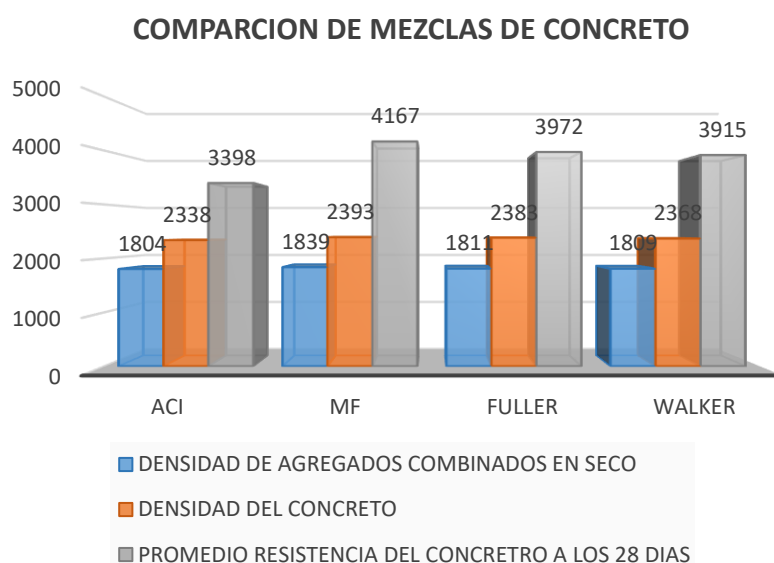
Se realizó una comparación de los datos obtenidos de la densidad de agregados combinados en seco como también de la densidad del concreto endurecido y su resistencia promedio a los 28 días de cada método mostrados a continuación.

Tabla 53. Promedio de densidades de agregado combinados en seco, resistencia promedio a los 28 días y densidades de las mezclas.

Métodos	Densidad de agregados combinados en seco	Densidad del concreto endurecido	Promedio resistencia del concreto a los 28 días
ACI	1804	2338	3398
MF	1839	2393	4167
FULLER	1811	2383	3972
WALKER	1809	2368	3915

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 21. Comparación de mezclas según sus densidades y resistencia a Los 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°21, se puede apreciar el comportamiento de cada método dadas las densidades de los agregados combinados en seco y la densidad de su concreto endurecido, en donde se puede apreciar una correlación entre las densidades y su resistencia, además se aprecia que entre más altas son las densidades de los agregados combinados y más alta su densidad del concreto endurecido, será más alta su resistencia a los 28 días.

6.9. Comparación de rendimientos del concreto con los diferentes métodos de diseños.

En la tabla N°54, se realiza una comparación de los rendimientos obtenidos para cada mezcla de concreto según cada método de diseño obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 54. Rendimiento de cada método de diseño.

	MATERIALES EN LTS.						cm ³
MÉTODO	Cemento	Arena	Grava	Agua	Total (LTS)	Densidad del concreto (KG/M ³)	Rendimiento
ACI	5.8	11.73	13.42	4.17	35.12	2310	15200
WALKER	5.8	10.90	14.29	4.14	35.13	2282	15390
M.F	5.8	11.47	13.68	4.14	35.09	2286	15350
FULLER	5.43	11.97	13.25	4.14	34.79	2294	15170

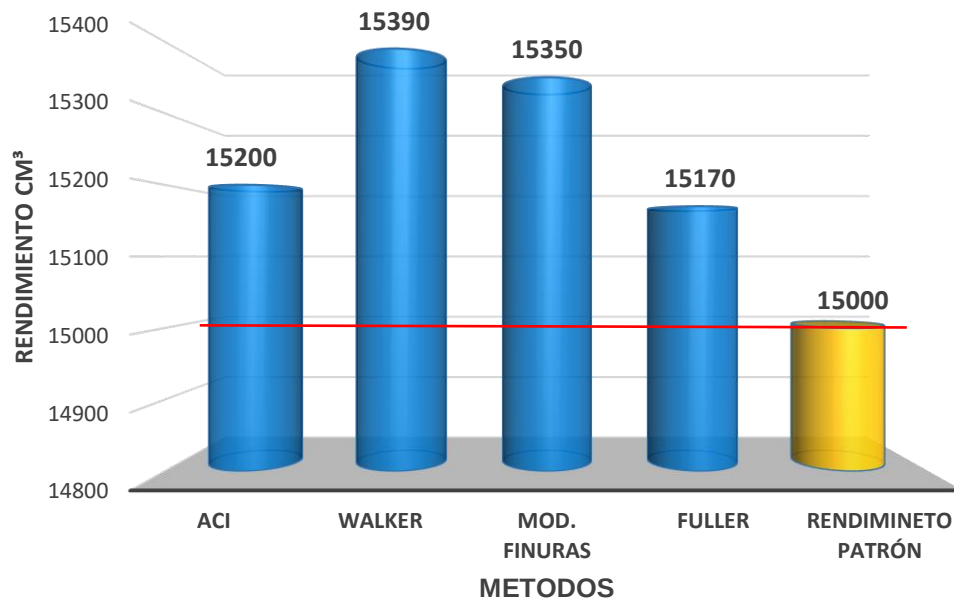
Fuente: Elaboración propia

Fórmula para determinar el rendimiento de la mezcla de concreto.

$$\text{Rendimiento: } \frac{\text{TOTAL DE MATERIALES DEL CONCRETO (LTS.)}}{\text{DENSIDAD DE LA MEZCLA}}$$

Gráfica 22. Rendimientos de cada método de diseño.

Rendimientos de los diferentes metodos de diseños.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°22, se observa los rendimientos obtenidos para cada una de las mezclas de concretos elaboradas, según los diferentes métodos de diseños, donde se aprecia que los rendimientos obtenidos de cada método están en conformidad con el rendimiento patrón, lo cual nos indica que se utilizó la cantidad establecida de concreto para la elaboración de probetas.

6.10. Comparación de costos unitarios para 1 m³ de concreto.

También se realizó una comparación de costos unitarios para la elaboración de un metro cubico (1m³) de concreto, dado los diferentes métodos de diseños, con los materiales empleados en la realización de este estudio, obteniendo los siguientes costos:

Tabla 55. Costo de concreto para 1m³ (método ACI 211.)

Material	Cantidad kg.	Costo total (\$)
Cemento kg.	387.09	84.5
Arena kg.	782.0	2.8
Grava kg.	894.79	9.8
Total \$	97.1	
Total: C\$	3136.33	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Costo de concreto para 1m³ (método de Walker.)

Material	Cantidad kg.	Costo total (\$)
Cemento kg.	387.09	84.5
Arena kg.	894.79	2.8
Grava kg.	782.00	10.5
Total, \$	97.8	
Total, C\$	3158.94	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Costo de concreto para 1m³ (método de M.F.).

Material	Cantidad kg.	Costo total (\$)
Cemento kg.	387.09	84.5
Arena kg.	894.79	3.0
Grava kg.	782.00	10
Total \$	97.5	
Total, c\$	3149.25	

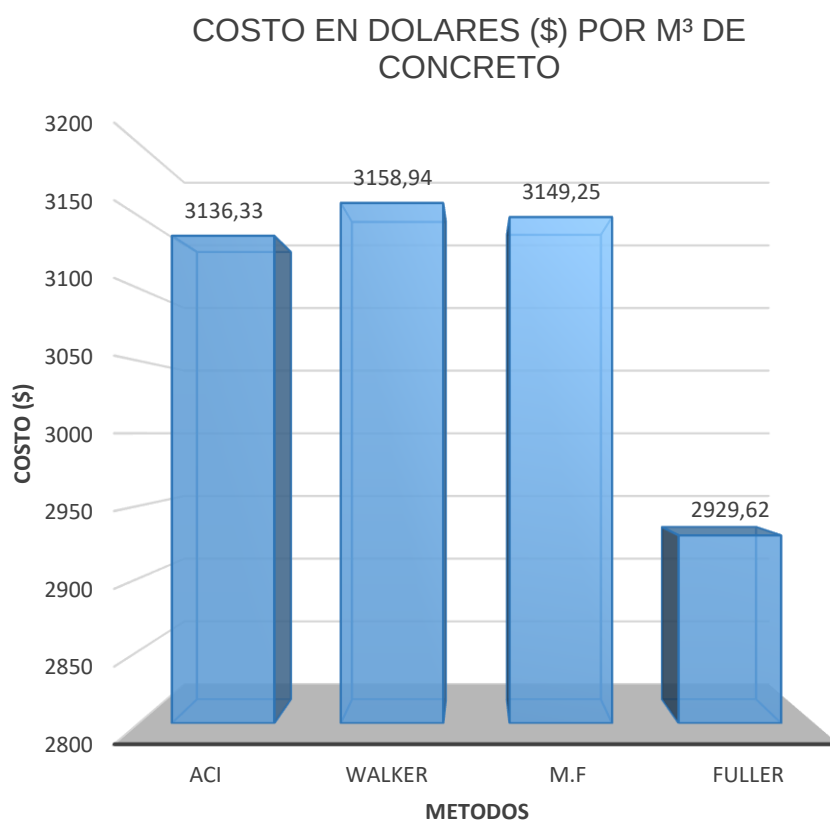
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Costo de concreto para 1 m³ (método de Fuller)

Material	Cantidad kg.	Costo total (\$)
Cemento kg.	362.00	77.51
Arena kg.	894.79	3.1
Grava kg.	782.00	9.7
Total, \$	90.7	
Total, c\$	2929.62	

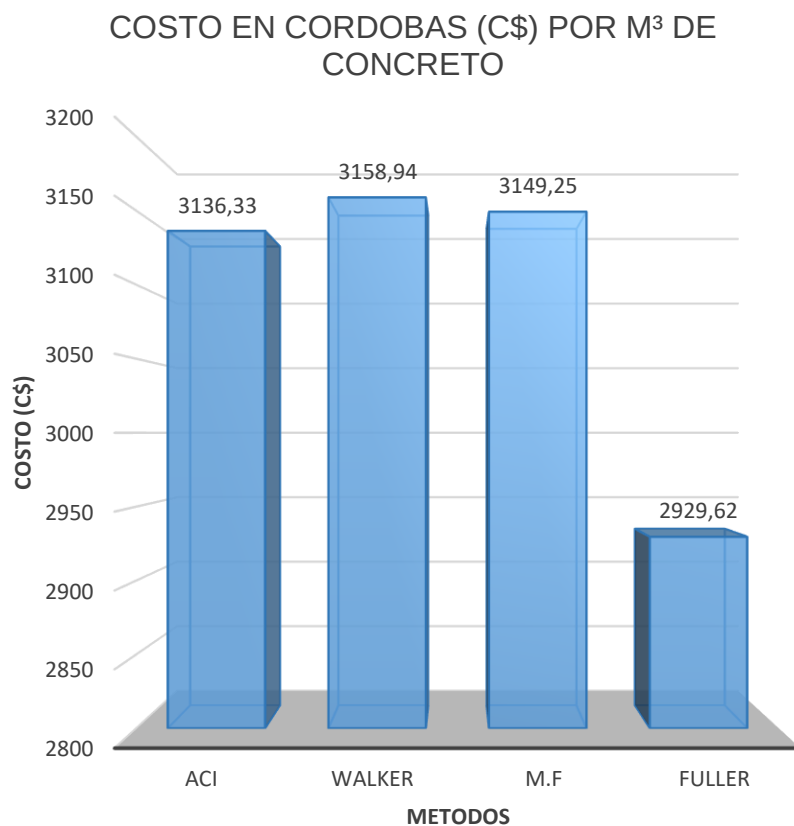
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 23. Comparativa de costos de cada diseño en dólar.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 24. Comparativa de costos unitarios de cada diseño en córdobas.



Fuente: Elaboración propia.

En la graficas N°23 y N°24, se observa los costos de cada mezcla de diseño tanto en dólares como en córdobas, siendo el método de Walker el diseño con mayor costo en la elaboración de 1m³ de concreto con un aligera diferencia en los costos del método ACI 211 y M.F; Observando que el método más económico es el método de Fuller con un costo relativamente bajo según los costos de diseños de hoy en día.

VII. CAPITULO: Conclusiones y Recomendaciones.

7.1. Conclusiones.

- ✓ Se realizaron los ensayos para el agregado fino y grueso, los cuales presentaron las siguientes características físicas-mecánicas, gravedad específica 2.53 y 2.62 para el agregado fino y agregado grueso respectivamente. el PVSC promedio fue de 1702 kg/m³ para el agregado fino y para el agregado grueso 1657 kg/m³, el porcentaje de absorción de 5.75 para el agregado fino y 1.92 para el agregado grueso, módulo de finura de la arena 2.94 y 7.48 para el agregado grueso.
- ✓ La resistencia máxima obtenida por medio del ensayo a la compresión fue el de módulo de finura en donde su resistencia obtuvo a los 28 días 293 kg/cm³, siendo el más alto en resistencia de los cuatro métodos estudiados.
- ✓ El diseño con los cuatro (4) métodos ACI, Walker, Módulo de finuras y Fuller, haciendo usos de los materiales de bancos de agregados finos de Motastepe y grava 3/4" de PROINCO, permitió la realización de concretos densos y con una resistencia superior a la diseñada, de esto se concluye que el método del módulo de finura permitió un concreto con mayor compacidad.
- ✓ Para la presente investigación se cumple la siguiente condición a mayor peso volumétrico de los agregados secos combinados y mayor densidad del concreto endurecido mayor esfuerzo último a la compresión.
- ✓ Se estimó mediante el estudio de esta investigación que los costos unitarios de cada mezcla de concreto para los diferentes métodos de diseños indican que el método más económico para elaboración de 1m³ de concreto es de Fuller con un costo de 89.4\$, seguido por el método ACI 211, con un costo unitario de 94.5\$, Método módulo de finura con un costo de 94.9\$ y método de Walker con un precio de 95.2 \$

obteniendo Fuller una diferencia de 6 dólares con respecto a los demás métodos de diseños por 1m^3 .

- ✓ En el método de Fuller se utilizaron 8.5 bolsas de cemento siendo la menor cantidad en comparación con los otros métodos de diseño de mezcla. Este comportamiento se da posiblemente, por una óptima distribución granulométrica de los agregados grueso y fino en la mezcla.
- ✓ Se concluye que los cuatro métodos de diseños estudiados describen un comportamiento similar en cuanto a la obtención de su resistencia a las diferentes edades 7, 14 y días.

7.2. Recomendaciones.

- Trabajar el concreto a temperaturas cercanas entre los 25 ° y 30 ° centígrados.
- Visualizar la calidad del agregado grueso y fino para no tener agregados porosos y arena muy gruesa, que aumente la absorción de los mismos.
- Mantener el agua de curado de los especímenes a una temperatura controlada menor a los 30° centígrados.
- Realizar ensayos pilotos antes de implementar estos métodos de diseños de concretos.
- Realizar nuevos diseños de concretos haciendo uso de diferentes tipos de agregados para obtener una mayor diversificación en el uso global de agregados en los métodos de diseños de esta investigación.
- Realizar nuevas mezclas de concretos haciendo las correcciones necesarias para obtener mezclas de concretos más cercanas a la resistencia propuesta de esta investigación, para no obtener resistencias más elevadas a la propuesta en este estudio.
- Realizar un estudio más minucioso para determinar con mayor precisión la correlación encontrada entre las densidades de los agregados secos combinados y su resistencia ultima a la compresión de este estudio.
- Se recomienda el uso de los métodos y materiales estudiados en esta investigación, ya que sus resultados fueron satisfactorios en cuanto a calidad y resistencia, aplicando los agregados de los bancos estipulados en esta investigación como lo son Motastepe y Proinco.

VIII. Bibliografía.

- Hansen, t. c. The second rilem state of the art report on recycled aggregates and recycled aggregate concrete (vol. i). (1986).
- Huanca, s. diseño de mezclas de concreto. puno: universidad nacional altiplano. (2006).
- Initiative, c. s. reciclando concreto. Bogotá atelier point virgule. (2009)
- Institute, a. c. Removal and reuse of hardened concrete. Reported by ACI committee 555. (2001).
- Institute, a. c. (s.f.). guía para la durabilidad del hormigón. informado por el comité ACI 2011.international, g. (s.f.)
- Kosmatka. diseño y control de mezclas. primera edición. Estados Unidos (2004).
- Laredo, & Zavala “resistencia a la compresión y el asentamiento de un concreto (2016).
- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. Diseño y Control de Mezclas de Concreto boletín de ingeniería EB201.Primera edición Portland Cement (2004).
- Sean Bailey, Nicole Baldini, Eleanor Barkley, Sheba King, Kathleen Peters and Jesica Rosiak. Título Del Libro: Annual Book of ASTM Standards 2003, Concrete and Aggregates. Año: 2003.
- Steven H. Kosmatka and Michelle L. Wilson. Título del Libro: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Editora: Portland Cement Association. Año: 2011.
- Torres, A. Curso Basico de Tecnologia del Concreto. Lima: universidad nacional de ingeniería. (2004).

IX. ANEXOS

Tabla A-0. Resistencia a la compresión media requerida.

Resistencia a compresión especificada, f'_c , kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$1.10 f'_c + 50$

Fuente: ACI 211.1-91; Diseños de mezclas de concretos.

Tabla A1. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Tipo de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Muros de subestructura sencillos, zapatas, muros y cajones de cimentación.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Fuente: ACI 211.1-91; Tabla 6.3.1; Diseños de mezclas de concretos.

Tabla A2. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregados.

Revenimiento (cm)	Tamaño máximo de la grava (mm)							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2.5 → 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 → 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 → 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Aire atrapado aprox. (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 → 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 → 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 → 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)								
Exposición Ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición Moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: ACI 211.1-91; Tabla 6.3.3; Diseños de mezclas de concretos.

Tabla A3. Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento (a partir del peso)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	---
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: ACI 211.1-91; Tabla 6.3.4; Diseños de mezclas de concretos.

Tabla A5. Volumen de agregado grueso (M³) por volumen unitario de concreto.

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
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	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1-91; Tabla 6.3.6; Diseños de mezclas de concretos.

Tabla A6. Cálculos tentativos del peso volumétrico del concreto fresco

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Peso volumétrico tentativo del concreto (kg/m ³)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5	0.50	0.48
12.5	0.59	0.57
19	0.66	0.64
25	0.71	0.69
37.5	0.75	0.73
50	0.78	0.76
75	0.82	0.80
150	0.87	0.85

Fuente: ACI 211.1-91; Tabla 6.3.7.1; Diseños de mezclas de concretos.

Tabla A-7. Tabla de Walker.

PORCENTAJE DE AGREGADO FINO

Tamaño máximo Nominal del Agregado Grueso	Agregado Redondeado				Agregado Angular			
	Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico				Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico			
	5	6	7	8	5	6	7	8
Agregado Fino – Módulo de Fineza de 2.3 A 2.4								
3 / 8"	60	57	54	51	69	65	61	58
1 / 8"	49	46	43	40	57	54	51	48
3 / 4"	41	38	35	33	48	45	43	41
1"	40	37	34	32	47	44	42	40
1 1 / 2"	37	34	32	30	44	41	39	37
2"	36	33	31	29	43	40	38	36
Agregado Fino – Módulo de Fineza de 2.6 A 2.7								
3 / 8"	66	62	59	56	75	71	67	64
1 / 2"	53	50	47	44	61	58	55	53
3 / 4"	44	41	38	36	51	48	46	44
1"	42	39	37	35	49	46	44	42
1 1 / 2"	40	37	35	33	47	44	42	40
2"	37	35	33	32	45	42	40	38
Agregado Fino – Módulo de Fineza de 3.0 A 3.1								
3 / 8"	74	70	66	62	84	80	76	73
1 / 2"	59	56	53	50	70	66	62	59
3 / 4"	49	46	43	40	57	54	51	48
1"	47	44	41	38	55	52	49	46
1 1 / 2"	44	41	38	36	52	49	46	44
2"	42	38	36	34	49	46	44	42

. Los valores de la tabla corresponden a porcentajes del agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

.. los valores corresponden agregado grueso angular en concretos de peso normal sin aire incorporado.

Fuente: Ing. José peláis Álvarez/diseños de mezclas-CIP - 5877

Tabla A-8 Módulo de finuras de los agregados

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS

Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso.	6	7	8	9
3 / 8 "	3.96	4.04	4.11	4.19
1 / 2 "	4.46	4.54	4.61	4.69
3 / 4 "	4.96	5.04	5.11	5.19
1 "	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1 / 2 "	5.56	5.64	5.71	5.79
2 "	5.86	5.94	6.01	6.09
3 "	6.16	6.24	6.31	6.39

Tabla A-9 PVSS de la mezcla de agregados método ACI 211.

peso volumétrico seco suelto (PVSS)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	11700	peso bruto	11910	peso bruto	11945
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
volumen	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1657	peso v.s.	1687	peso v.s.	1692

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 1679

Tabla A-11 PVSC de la mezcla de agregados método ACI 211.

peso volumétrico seco compacto (PVSS)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	12530	peso bruto	12790	peso bruto	12895
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
volumen	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1775	peso v.s.	1812	peso v.s.	1827

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 1804

Tabla A-12 PVSS de la mezcla de agregados método Walker.

peso volumétrico seco suelto (pvss)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	11184	peso bruto	11980	peso bruto	11860
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
volumen	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1584	peso v.s.	1697	peso v.s.	1680

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 1654

Tabla A-13 PVSC mezcla de la mezcla de agregados método Walker.

peso volumétrico seco compacto (pvsc)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	12670	peso bruto	12784	peso bruto	12763
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
volumen	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1809	peso v.s.	1811	peso v.s.	1808

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 1809

Tabla A-13 PVSS de la mezcla de agregados método módulo de finuras de los agregados.

peso volumétrico seco suelto (pvss)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	11975	peso bruto	11950	peso bruto	12055
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
volumen	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1696	peso v.s.	1693	peso v.s.	1708

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 1699

Tabla A-13 PVSS de la mezcla método módulo de finuras de los agregados.

peso volumétrico seco compacto (pvsc)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	12915	peso bruto	12990	peso bruto	1303
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
7058.93	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1830	peso v.s.	1840	peso v.s.	1847

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 183

Tabla A-14 PVSS de la mezcla de agregados método de Fuller.

peso volumétrico seco suelto (pvss)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	11915	peso bruto	11965	peso bruto	11815
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
volumen	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1689	peso v.s.	1695	peso v.s.	1674

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 1686

Tabla A-15 PVSS de la mezcla de agregados método de Fuller

peso volumétrico seco compacto (pvsc)					
primer ensaye		segundo ensaye		tercer ensaye	
peso bruto	12735	peso bruto	12850	peso bruto	12780
tara	g-2	tara	g-2	tara	g-2
volumen	7058.93	volumen	7058.93	volumen	7058.93
peso v.s.	1804	peso v.s.	1820	peso v.s.	1810

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 1811

**Tabla A-16 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 7 DIAS METODO ACI 211.
ASTM C-39**

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
26850	1	3,818	20.00	10.00	78.54	12,179	155.07	2,205	2430,609	3%	07/08/2019	14/08/2019	7
24825	2	3,820	20.00	10.00	78.54	11,261	143.37	2,039	2431,882	3%	07/08/2019	14/08/2019	7
28875	3	3,805	20.00	10.00	78.54	13,098	166.76	2,371	2422,333	3%	07/08/2019	14/08/2019	7

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla A-17 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 14 DIAS METODO ACI 211.
ASTM C- 39**

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
39105	1	3,850	20.20	10.00	78.54	17,738	225.85	3,212	2426,713	3%	07/08/2019	21/08/2019	14
37990	2	3,840	20.20	10.00	78.54	17,232	219.41	3,120	2420,410	3%	07/08/2019	21/08/2019	14
38547	3	3,805	20.30	10.00	78.54	17,485	222.62	3,166	2386,535	3%	07/08/2019	21/08/2019	14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-17 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 28 DIAS METODO ACI 211.
ASTM C- 39

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
44080	1	3,870	20.20	10.20	81.71	19,995	245	3,480	2344,598	3¼	07/08/2019	04/09/2019	28
42310	2	38,258	20.10	10.20	81.71	19,192	235	3,340	23293,51 2	3¼	07/08/2019	04/09/2019	28
42685	3	3,845	20.10	10.20	81.71	19,362	237	3,369	2341,041	3¼	07/08/2019	04/09/2019	28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-18 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 7 DIAS METODO WALKER.
ASTM C- 39

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
29345	1	3,805	20.20	10.10	80.12	13,311	166	2,362	2351,092	3¼	08/08/2019	15/08/2019	7
28755	2	3,740	20.30	10.00	78.54	13,043	166	2,362	2345,766	3¼	08/08/2019	15/08/2019	7
27775	3	3,785	20.30	10.10	80.12	12,599	157	2,236	2327,213	3¼	08/08/2019	15/08/2019	7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-19 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 14 DIAS METODO WALKER.

ASTM C- 39

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
38550	1	3,795	20.20	10.20	81.71	17,486	214	3,043	2299,160	3¼	08/08/2019	22/08/2019	14
39225	2	3,850	20.10	10.10	80.12	17,792	222	3,158	2390,733	3¼	08/08/2019	22/08/2019	14
37550	3	3,855	20.20	10.20	81.71	17,033	208	2,964	2335,510	3¼	08/08/2019	22/08/2019	14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-20 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 28 DIAS METODO WALKER.

ASTM C- 39

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
48925	1	3,845	20.10	10.10	80.12	22,192	277	3,939	2387,628	3¼	08/08/2019	05/09/2019	28
48230	2	3,860	20.10	10.10	80.12	21,877	273	3,883	2396,942	3¼	08/08/2019	05/09/2019	28
48575	3	3,830	20.20	10.10	80.12	22,033	275	3,911	2366,540	3¼	08/08/2019	05/09/2019	28

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla A-21 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 7 DIAS METODO MODULO DE FINURAS DE LOS AGREGADOS.
(ASTM C-39)**

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
29380	1	4,450	20.00	10.00	78.54	13,327	170	2,413	2832,951	3	12/08/2019	19/08/2019	7
31910	2	3,800	20.30	10.10	80.12	14,474	181	2,569	2336,436	3	12/08/2019	19/08/2019	7
28435	3	3,770	20.40	10.00	78.54	12,898	164	2,335	2352,991	3	12/08/2019	19/08/2019	7

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla A-22 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 14 DIAS METODO MODULO DE FINURAS DE LOS AGREGADOS.
(ASTM C-39)**

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
35430	1	3,740	20.30	10.00	78.54	16,071	205	2,910	2345,766	3	12/08/2019	26/08/2019	14
37130	2	3,770	20.30	10.00	78.54	16,842	214	3,049	2364,582	3	12/08/2019	26/08/2019	14
39870	3	3,795	20.30	10.00	78.54	18,085	230	3,274	2380,262	3	12/08/2019	26/08/2019	14

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla A-23 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 28 DIAS METODO MODULO DE FINURAS DE LOS AGREGADOS.
(ASTM C-39)**

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
51970	1	3,830	20.30	10.00	78.54	23,573	300	4,268	2402,215	3¾	12/08/2019	09/09/2019	28
49670	2	3,795	20.30	10.00	78.54	22,530	287	4,079	2380,262	3¾	12/08/2019	09/09/2019	28
50565	3	3,820	20.30	10.00	78.54	22,936	292	4,153	2395,943	3¾	12/08/2019	09/09/2019	28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-24 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 7 DIAS METODO DE FULLER (ASTM C-39)

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitu d en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Reveni miento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
27530	1	3,765	20.20	10.10	80.12	12,488	156	2,216	2326,376	3	13/08/2019	20/08/2019	7
27355	2	3,785	20.30	10.10	80.12	12,408	155	2,202	2327,213	3	13/08/2019	20/08/2019	7
27705	3	3,770	20.30	10.10	80.12	12,567	157	2,230	2317,991	3	13/08/2019	20/08/2019	7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-25 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 14 DIAS METODO DE FULLER (ASTM C-39)

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Revenimiento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
36135	1	3,740	20.3	10	78.54	16,391	209	2,968	2345,766	3	13/08/2019	27/08/2019	14
35960	2	3,775	20	10.1	80.12	16,311	204	2,895	2355,881	3	13/08/2019	27/08/2019	14
36410	3	3,765	20.1	10.1	80.12	16,515	206	2,931	2337,950	3	13/08/2019	27/08/2019	14

Fuente: Elaboración propia.

TABLA A-26 RESULTADO DE ENSAYO A LA COMPRESION PROBETAS A LOS 28 DIAS METODO DE FULLER (ASTM C-39)

CARGA EN LBS.	Cilindro No.	Peso en Kgs.	Longitud en cms.	Diámetro en cms	Área en cms ²	Carga en Kgs	Carga de Ruptura		Peso Vol. Kgs/m ³	Revenimiento en Pulg.	Fecha de Colado	Fecha de Ruptura	Edad Días
							Kgs/cm ²	P.S.I					
48180	1	3,785	20.4	10	78.54	21,854	278	3,957	2362,353	3¼	13/08/2019	10/09/2019	28
49235	2	3,825	20.1	10	78.54	22,333	284	4,043	2422,950	3¼	13/08/2019	10/09/2019	28
47700	3	3,785	20.1	10	78.54	21,637	275	3,917	2397,612	3¼	13/08/2019	10/09/2019	28

Fuente: Elaboración propia.

Peso Específico (Densidad) y Densidad Relativa (Densidad Absoluta, Gravedad Específica)

El peso específico del cemento (densidad, peso volumétrico, peso unitario, masa unitaria) se define como el peso de cemento por unidad de volumen de los sólidos o partículas, excluyéndose el aire entre las partículas. La masa específica se presenta en megagramos por metro cúbico o gramos por centímetro cúbico (el valor numérico es el mismo en las dos unidades). El peso específico del cemento varía de 3.10 hasta 3.25, con promedio de 3.15 Mg/m³. El cemento portland de alto horno y el portland puzolánico tienen pesos específicos que varían de 2.90 hasta 3.15, con promedio de 3.05 Mg/m³. El peso específico del cemento (Tabla 2-20) no es una indicación de la calidad

del cemento, su principal uso es en los cálculos de las proporciones de la mezcla.

Para el proporcionamiento de la mezcla, puede ser más útil expresar la densidad como densidad relativa, también llamada de gravedad específica o densidad absoluta. La densidad relativa es un número adimensional determinado por la división de la densidad del cemento por la densidad del agua a 4°C, la cual es 1.0 Mg/m³ (1.0 g/cm³, 1000 kg/m³ o 62.4 lb/pies³).

Se supone la densidad relativa del cemento portland como siendo 3.15 para su uso en los cálculos volumétricos del proporcionamiento de la mezcla de concreto. Como las proporciones de la mezcla traen las cantidades de los ingredientes del concreto en kilogramos o libras, se debe multiplicar la densidad relativa por la densidad del agua a 4°C, establecida como 1000 kg/m³ (62.4 lb/pies³), para la determinación de la densidad o el peso específico de las partículas de cemento en kg/m³ o lb/pies³.



Fig. 2-47. La densidad del cemento (peso específico) se puede determinar por (izquierda) el uso del frasco volumétrico de Le Chatelier y queroseno (kerosene) o por (derecha) el uso de un picnómetro de helio. (68825, 68826)

Densidad Aparente

La densidad aparente del cemento se define como el peso de las partículas de cemento más el aire entre las partículas por unidad de volumen. La densidad aparente del cemento puede variar considerablemente, dependiendo de como se manosea y almacena el cemento. Si el cemento portland está muy suelto, puede pesar sólo 830 kg/m³ (52.4 lb/pies³), mientras que cuando se consolida el cemento a través de vibración, el mismo cemento puede pesar tanto como 1650 kg/m³ (103.4 lb/pies³) (Toler 1963). Por esta razón, las buenas prácticas indican que se debe medir el cemento en masa y no en volumen (Fig. 2-48).

Tabla 2-20. Normas para la Determinación del Peso Específico y de la Densidad

País	Norma	Nombre
Argentina	IRAM 1624	Cemento portland. Método de determinación de la densidad absoluta
Chile	NCh154	Cemento - Determinación del peso específico relativo
Colombia	NTC 221	Ingeniería civil y arquitectura. Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico
Ecuador	NTE 0156	Cementos. Determinación de la densidad
EE.UU.	ASTM C 188	Método de ensayo para la determinación de la densidad Del cemento hidráulico
	AASHTO T 133	Densidad del cemento hidráulico
México	NMX-C-152	Cementantes hidráulicos - método de prueba para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos
Perú	NTP 334.005	Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento portland
Uruguay	UNIT-NM 23	Cemento portland. Método de determinación de la densidad absoluta
Venezuela	COVENIN 0492	Cemento Portland. Determinación de la densidad real

Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto (PCA) BOLETÍN DE INGENIERÍA EB201 primera edición 2004.

Imagen N°1



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°2



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°3



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°4



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°5



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°6



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°7



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°8



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°9



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°10



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°11



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°12



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°13



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°14



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°15



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°16



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°17



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°18



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°19



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°20



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°21



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°22



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°23



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°24



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°25



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°26



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°27



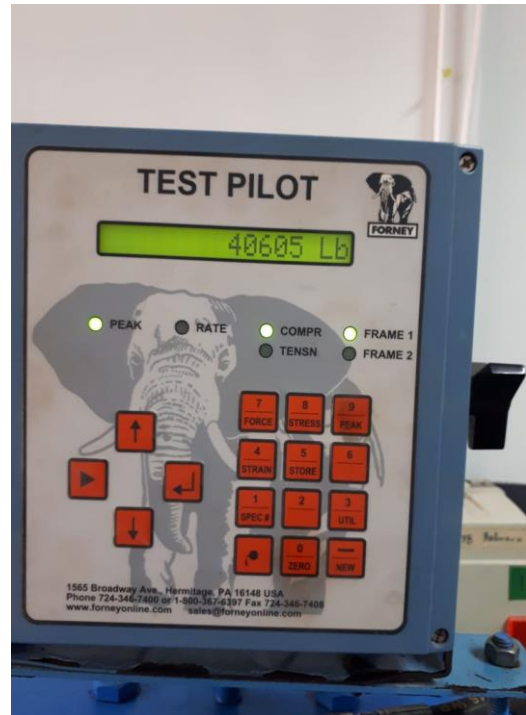
Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°28



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°29



Fuente: Elaboración propia.