

**Análisis de la resistencia del concreto hidráulico con adición de óxido de calcio “cal” en diferentes porcentajes respecto al material cementante, mediante el ensayo de resistencia a la compresión.**

**Wimar Jeffrey Sepúlveda Gómez**

**Universidad de Pamplona**  
**Facultad de Ingenierías y Arquitectura**  
**Programa de Ingeniería Civil**

**Pamplona**

**2020**

**Análisis de la resistencia del concreto hidráulico con adición de óxido de calcio  
“cal” en diferentes porcentajes respecto al material cementante, mediante el  
ensayo de resistencia a la compresión.**

**Wimar Jeffrey Sepúlveda Gómez**

**1096958883**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR**

**Jhair Alexis Delgado Hincapié  
Esp. Ingeniero Civil**

**Universidad de Pamplona  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Civil  
Pamplona**

**2020**

## Dedicatoria

Dedico este trabajo al Dios omnipotente que  
está en los cielos por darme la vida, a mis  
padres y hermanos quienes desde el primer  
momento siempre creyeron en mí y  
estuvieron brindándome su apoyo  
incondicional y sus consejos.

## **Agradecimientos**

Gracias primeramente a Dios todo poderos por hacer posible todo lo que algún día soñamos.

A mis padres Isidro y Gloria Yaneth por su apoyo incondicional, sus consejos y todos sus sacrificios gracias a los cuales es posible este logro tan importante, a mi hermano Geoffrey por ser un gran compañero durante nuestro recorrido estudiantil y. a todos mis familiares los cuales siempre han estado ahí de una u otra manera apoyando mis estudios.

A los señores productores de cal artesanal del municipio de Málaga Santander por recibirnos en sus explotaciones muy amablemente y por darnos a conocer el proceso de producción.

A los profesores de la Universidad de Pamplona, que a lo largo de la carrera universitaria compartieron su conocimiento y sus enseñanzas, a todos mis compañeros con los cuales tuve la dicha de formarme como profesional y a mi tutor y guía Jhair Alexis por brindarme siempre su asesoría.

## Tabla de contenido

Introducción .....	12
1. Planteamiento del problema y Justificación.....	13
2. Objetivos .....	14
2.1 Objetivo principal .....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. Marco referencial.....	15
3.1. Marco Contextual .....	15
3.2. Marco teórico.....	16
3.2.1 Concreto .....	16
3.2.2. Ingredientes del Concreto.....	17
3.2.3. Propiedades del concreto fresco .....	18
a. Trabajabilidad .....	18
b. Consistencia.....	19
c. Homogeneidad y uniformidad .....	19
d. Segregación .....	20
3.2.4. Propiedades del concreto endurecido.....	20
a. Durabilidad .....	20
b. Impermeabilidad .....	21

c. Resistencia a Compresión.....	21
d. Resistencia a la flexión.....	21
3.2.5. Agregados.....	22
a. Clasificación según su origen .....	22
b. Según su densidad.....	22
c. Según su tamaño .....	23
d. Según su Forma .....	24
e. Según su Textura.....	25
3.2.6. Propiedades Físicas de los Agregados .....	25
a. Granulometría .....	25
b. Módulo de Finura.....	28
c. Tamaño Máximo .....	28
d. Tamaño Máximo Nominal .....	29
e. Densidad .....	29
f. Absorción y Humedad .....	30
g. Masa Unitaria .....	31
3.2.7. Agua para el Concreto.....	31
3.2.8. Cemento.....	32
a. Cemento Portland.....	32
b. Tipos de cemento Portland .....	32

3.2.9. Oxido de calcio .....	33
a. Composición química.....	33
b. Tipos de óxido de calcio.....	34
c. Producción artesanal .....	34
3.2.10. Ensayo de resistencia a la compresión .....	38
a. Por qué se determina la resistencia a la compresión? .....	38
b. Como realizar la prueba de resistencia del concreto.....	39
3.3. Antecedentes .....	41
3.3.1. Antecedentes internacionales.....	41
3.3.2. Antecedentes Nacionales.....	42
4. Metodología .....	44
4.1. Tipo de la investigación .....	44
4.2. Diseño de la investigación.....	45
4.3. Operatividad de las variables .....	47
4.3.1. Variable independiente.....	47
a. Oxido de calcio .....	47
4.3.2. Variable dependiente.....	48
a. Resistencia a la compresión.....	48
4.4. Población.....	48
4.5. Muestra.....	48

5. Desarrollo de la investigación .....	49
5.1. Caracterización de los agregados .....	49
5.1.1. Agregado fino .....	49
a. Granulometría. ....	49
b. Módulo de finura .....	51
c. Porcentaje de finos .....	52
d. Masa unitaria suelta.....	52
e. Masa unitaria compacta .....	53
g. Humedad natural.....	54
5.1.2. Agregado grueso .....	54
a. Granulometría. ....	54
b. Tamaño máximo (TM).....	56
c. Tamaño máximo nominal (TMN) .....	56
d. Masa unitaria suelta.....	56
e. Masa unitaria compacta .....	57
g. Humedad natural.....	58
5.1.3. Caracterización Final De Los Agregados.....	59
a. Agregado fino .....	59
b. Agregado grueso .....	59
5.2. Diseño de la mezcla .....	60



5.3. Elaboración de los cilindros .....	68
5.4. Resultados obtenidos .....	74
5.4.1. Resultados del ensayo a compresión para M-1.....	74
5.4.2. Resultados del ensayo a compresión para M-2.....	74
5.4.3. Resultados del ensayo a compresión para M-3.....	75
5.4.4. Resultados del ensayo a compresión para M-4.....	75
5.4.5. Resultados del ensayo a compresión para M-5.....	76
5.4.6. Resultados del ensayo a compresión para M-6.....	76
5.4.2. Tipos De Fallas Obtenidas Tras Someter Los Cilindros Al Ensayo De Compresión.	77
6. Discusión De Resultados.....	78
Conclusiones .....	84
Recomendaciones .....	86
Bibliografía .....	88

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Geográfica del Municipio de Málaga. ....	15
Figura 2: Componentes del Concreto. ....	17
Figura 3: Clasificación De Los Agregados Según Su Forma. ....	24
Figura 4: Tamices Empleados Para El Análisis Granulométrico. ....	26
Figura 5 : Curva Granulométrica.....	27
Figura 6: Cantera De Extracción Artesanal. ....	35
Figura 7: Tamaño final del material. ....	35
Figura 8: Llenado Del Horno Con La Piedra Y Carbón.....	36
Figura 9: Material en su proceso final de calcinación. ....	37
Figura 10: Proceso de empacado.....	37
Figura 11: Ensayo de resistencia a la compresión.....	38
Figura 12: Medición del Diámetro del cilindro.....	40
Figura 13: Tamaño Máximo Del Agregado.....	40
Figura 14: Curva Granulométrica Agregado Fino. ....	50
Figura 15: Porcentaje De Finos.....	52
Figura 16: Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	55
Figura 17: Valores De Asentamiento Según El Tipo De Construcción. ....	60
Figura 18: Valores Recomendados Para El TMN.....	61
Figura 19: Contenido Aproximado De Aire En El Concreto.....	61
Figura 20: Requerimiento Del Agua De Mezclado.....	62
Figura 21: Requerimiento De Agua Y Contenido Según El Asentamiento Y El TMN.....	62
Figura 22: Curva De Resistencia A La Compresión Vs Relación A/C.....	63

Figura 23: Volumen De Grava Por Unidad De Volumen De concreto. ....	64
Figura 24: Materiales Para La Elaboración De M-1.....	69
Figura 25: Mezclado De Los Materiales De M-1. ....	69
Figura 26: Medición Del Asentamiento de M-1. ....	70
Figura 27: Llenado De Los Cilindros. ....	71
Figura 28: Cilindros Enrazados De M-1.....	71
Figura 29: Desencofrado De Los Cilindros M-1.....	72
Figura 30: Curado De Los Cilindros M-1.....	72
Figura 31 : Pesaje De Óxido De Calcio. ....	74
Figura 32: Adición De Oxido De Calcio. ....	73
Figura 33: Grafico De La Resistencia obtenida a los 7 días. ....	78
Figura 34: Grafico De La Resistencia obtenida a los 14 días. ....	79
Figura 35: Grafico De La Resistencia obtenida a los 21 días. ....	80
Figura 36: Grafico De La Resistencia obtenida a los 28 días. ....	81
Figura 37: Curvas De Resistencia Vs Tiempo. ....	82
Figura 38: Tipos De Fallas Presentadas En El Total De las Muestras . ....	83

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Consistencia. ....	19
Tabla 2. Clasificación General Del Agregado Según Su Tamaño. ....	23
Tabla 3. Textura Superficial De Los Agregados. ....	25
Tabla 4. Clasificación Según el Modulo de Finura. ....	28
Tabla 5. Granulometría Del Agregado Fino. ....	49
Tabla 6. Determinación Del Módulo De Finura. ....	51
Tabla 7. Determinación De La Masa Unitaria Suelta De La Arena. ....	53
Tabla 8. Determinación De La Masa Unitaria Compacta De La Arena. ....	53
Tabla 10. Determinación Del Contenido De Humedad De La Arena. ....	54
Tabla 11. Granulometría Del Agregado Grueso. ....	55
Tabla 12. Determinación De La Masa Unitaria Suelta De La Grava. ....	57
Tabla 13. Determinación De La Masa Unitaria Compacta De La Grava. ....	57
Tabla 15. Determinación del porcentaje de humedad de la grava. ....	58
Tabla 16. Tabla Resumen De Las Propiedades De La Arena. ....	59
Tabla 17. Tabla Resumen De Las Propiedades De La Grava. ....	59
Tabla 18. Materiales para 1m <sup>3</sup> de concreto. ....	65
Tabla 19. Valores Ajustados Para 1m <sup>3</sup> De Concreto. ....	68
Tabla 20. Resultados de ensayo para M-1. ....	74
Tabla 21. Resultados de ensayo para M-2. ....	74
Tabla 22. Resultados de ensayo para M-3. ....	75
Tabla 23. Resultados de ensayo para M-4. ....	75
Tabla 24. Resultados de ensayo para M-5. ....	76

Tabla 25. Resultados de ensayo para M-6. ....	76
Tabla 26. tipos de fallas obtenidas. ....	77
Tabla 27. Fallas Presentadas en los cilindros.....	77

## **Introducción**

El trabajo presentado a continuación busca retomar el uso de un material que fue de suma importancia para el desarrollo de las antiguas civilizaciones en cuanto a infraestructura se refiere ya que gracias a este todavía se logran conservar partes de las edificaciones en las que se incursiono su uso, algo que paradójicamente parece muy simple, pero si tenemos en cuenta a todas las condiciones medio ambientales que ha soportado como la intemperie, cambios de temperaturas, fuertes lluvias entre otros resulta ser verdaderamente sorprendente.

Este material se obtiene de una manera muy sencilla y artesanal producto de una descomposición termina de piedra caliza dando como resultado un material con propiedades cementantes más común mente conocido como “cal”.

Surge el interés de utilizar este material debido a que el municipio de Málaga Santander existe la producción de este de manera artesanal, por lo cual se tomó la iniciativa de incursionarlo en diferentes porcentajes a un diseño de una mezcla que estará conformada por agregados extraídos de la zona con el fin de observar la resistencia que esta podrá desarrollar a los 7, 14, 21 y 28 de fabricación al ser sometido al ensayo de resistencia a la compresión.

Se busca realizar el correspondiente análisis de una manera muy precisa debido a que son muchas las variables que influyen en el diseño de una mezcla debido y por lo tanto se realizó una caracterización de los agregados trabajados en la zona.

## **1. Planteamiento del problema y Justificación**

En la actualidad no existen estudios precisos sobre la adición de óxido de calcio (CAL) a concretos tradicionales en el ámbito regional e incluso nacional, por lo cual se toma la decisión de incursionar este material con el fin de analizar las posibles mejoras o deficiencias en la resistencia a la compresión de este nuevo concreto.

El óxido de calcio o cal como es llamado tradicional mente es un material que a sido empleado desde las primeras civilizaciones donde incluso se ha llegado a decir que el mundo fue construido con cal (Galvan, 2011) pero debemos tener presente que su uso se limitaba únicamente a ser aplicado como mortero para el revestimiento de superficies ya que al ser mezclado con agua produce lo que empíricamente se conoce como cal hidratada o hidróxido de calcio generando un material altamente cementante.

Po lo anteriormente descrito se toma la iniciativa de incorporar el óxido de calcio en un 5%,10%, 15%, 20% y 25% respecto al material cementante para la elaboración de un concreto hidráulico reduciendo así la cantidad de cemento de una mezcla tradicional con el fin de observar su comportamiento al ser sometido al ensayo de resistencia a la compresión.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo principal

- Analizar el comportamiento del concreto hidráulico mezclado con Oxido de Calcio (CAL) en diferentes porcentajes respecto al material cementante mediante el ensayo de Resistencia a la compresión.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización granulométrica de los agregados a utilizar.
- Elaborar los diseños de mezclas con los diferentes porcentajes de óxido de calcio en el concreto hidráulico.
- Determinar los tipos de fallas que se presenten en cada uno de los cilindros sometidos al ensayo de resistencia a la compresión.
- Comparar y analizar estadísticamente los resultados obtenidos de las diferentes pruebas de resistencia a la compresión.



### 3. Marco referencial

#### 3.1. Marco Contextual

Málaga, es uno de los 1103 municipios de Colombia, capital de la provincia de García Rovira ubicada al sur oriente del departamento de Santander sobre la troncal Central del Norte y a 153 km de distancia de la capital del departamento Bucaramanga, tiene una extensión total de 61 Km<sup>2</sup>, el % área del municipio sobre área departamental es del 0,9%; la densidad poblacional es de 3 personas por hectárea.



**Figura 1:** *Ubicación Geográfica del Municipio de Málaga.*

Geográficamente el municipio comparte sus linderos mediante accidentes geográficos como ríos, quebradas, filos, divisorias de aguas o límites prediales con cuatro municipios de la provincia de la siguiente manera: por el oriente mediante el río servita limita con el Municipio de

Enciso, por el occidente bordeando la cima de la cordillera se encuentran los Municipios de Molagavita y San Andrés, por el norte separada por la quebrada del termino con el Municipio de Concepción y por el Sur con la quebrada seca de Valero con el Municipio de San José de Miranda.

El municipio se localiza sobre la cordillera Oriental, geológicamente se sitúa en el extremo meridional del macizo de Santander, en la parte sur del páramo del Almorzadero, con una altitud de 2235 msnm, con temperatura promedio de 18° C, precipitación anual promedio de 1400 mm en los últimos 20 años destacándose dos periodos con mayor pluviosidad: de Mayo a abril y de septiembre a Noviembre (Ramirez, 2016).

## **3.2. Marco teórico**

### **3.2.1 Concreto**

Es un material común mente utilizado en el campo de la construcción el cual puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante, materiales de relleno, agua, aire y eventualmente un quinto componente denominado aditivos según sea el caso.

La unión de dichos componentes nos da como resultado una nueva mezcla plástica que puede ser moldeada y compactada con facilidad, pero la cual a medida que transcurre el tiempo luego de su elaboración pierde estas características y empieza a volverse rígida y a tomar el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

El concreto convencional en estado fresco está compuesto por fragmentos llamados agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Por lo que podemos afirmar que en la mezcla hay muy poco o ningún contacto entre las

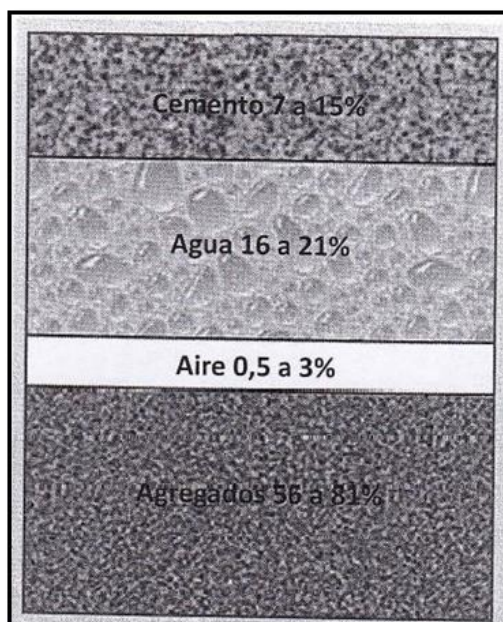
partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso, sin embargo si bien en su calidad final depende en forma importante del conocimiento profundo del material, así como del profesional, las posibilidades de uso del concreto son cada día mayores pudiendo en la actualidad ser utilizados para una amplia variedad de propósitos (Torre, 2004).

### 3.2.2. Ingredientes del Concreto

El concreto en estado fresco es una mezcla semilíquida, que está compuesta de cemento portland, agregado fino más conocido comúnmente como arena, triturado o grava quien es el denominado agregado grueso y agua principalmente. Mediante un proceso llamado hidratación ya que las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte así en el material durable que conocemos.

El concreto se produce a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los componentes y su dosificación en cantidades relativas para producir una mezcla lo más económica posible, buena manejabilidad, que adquiera resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuada.



**Figura 2:** Componentes del Concreto.

**Fuente:** (Asocreto, 2010).

Las propiedades requeridas del concreto fresco están gobernadas por el tipo de construcción, las condiciones climáticas de la zona, técnicas de colocación y de transporte; las propiedades del concreto endurecido están especificadas por el diseñador de la estructura. En la siguiente imagen se busca dar una idea de proporciones aproximadas por volumen de los componentes del concreto.

### **3.2.3. Propiedades del concreto fresco**

El concreto como se dijo anteriormente presentara dos estados los cuales son el estado fresco tan pronto se realiza la mezcla de sus componentes y el estado endurecido luego de aproximadamente 24 horas de elaborado, este trascurso de tiempo es el denominado tiempo de fraguado. La clasificación de los estados del concreto se hace debido a que presenta variación de sus propiedades y características razón por la cual es importante definir y analizar cada una de ellas.

Las propiedades en estado fresco permiten y facilitan el llenado y colocación adecuado del concreto en la formaleta y espacios reducidos, pero es claro que las propiedades del concreto no se pueden obtener directamente en su estado fresco pues estas se ven afectadas por las prácticas en obra por lo tanto la única herramienta para predecir sus posibles propiedades es llevar un efectivo control de calidad.

#### **a. Trabajabilidad**

Es la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación que se disponga. La trabajabilidad depende de las dimensiones del elemento, de las secciones y de los medios de puesta en obra. En otras palabras, podemos definir la trabajabilidad como “la capacidad que tiene el concreto fresco para ser colocado y compactado

apropiadamente sin que se produzca segregación alguna”.

### **b. Consistencia**

Es la habilidad del concreto fresco para fluir, es decir que es la capacidad que tiene para adquirir la forma de los encofrados que lo contienen y de llenar los espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe. (Asocreto, 2010).

La consistencia depende de la cantidad de agua de amasado, tamaño máximo del agregado, granulometría de sus agregados y forma de los agregados.

**Tabla 1.** *Tipos de Consistencia.*

<b>Tipo de Consistencia</b>	<b>Tipo de Vibrado</b>	<b>Asentamiento (cm)</b>
Seca	Vibrado enérgico	0-2
Plástica	Vibrado normal	3-5
Blanda	Apisonado	6-9
Fluida	Barra	10-15

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### **c. Homogeneidad y uniformidad**

Se define la homogeneidad como la cualidad que tiene un concreto para que sus componentes se distribuyan regularmente en la masa y la uniformidad se presenta cuando se realizan varias amasada o varias mezclas.

Estas propiedades dependen de un buen amasado o mezclado, buen transporte y buena puesta en obra, pero se ve afectada cuando se hace un mezclado irregular, exceso de agua y por la

cantidad o tamaño de los agregados gruesos. Se recomienda realizar mezclas de buena homogeneidad y uniformidad para evitar la separación de los agregados gruesos de los finos (Torre, 2004).

#### **d. Segregación**

Esta se define como la tendencia de separación de sus partículas gruesas del mortero dejando a si de ser homogénea la mezcla del concreto, esto se da por la falta de cohesividad, la no segregación será entonces una condición implícita del concreto para mantener una trabajabilidad adecuada.

La segregación se presenta cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse debido a que se someten a desplazamientos largos muy pendientes o por que se asientan más que las partículas finas. El segundo tipo de segregación se da en mezclas húmedas produciéndose así la separación de una parte de los agregados.

Algunas causas para que se presente la segregación son: la diferencia de densidades entre sus componentes, tamaño y forma de los agregados, mal mezclado, transporte inadecuado, un mal vaciado de la mezcla o un exceso de vibración.

### **3.2.4. Propiedades del concreto endurecido**

#### **a. Durabilidad**

es la capacidad que tiene el concreto para resistir a la exposición a algunos agentes externos como el desgaste por la abrasión, eflorescencias, agentes corrosivos, bajas temperaturas, penetración del agua, entre otros, sin que se deterioren sus condiciones físico-químicas con el

paso del tiempo. El concreto debe ser capaz de resistir a la intemperie, acción de productos químicos y desgaste a los cuales estará sometido cuando sea puesto en servicio (Galicía & Velasquez, 2016).

### **b. Impermeabilidad**

El concreto posee una estructura porosa en mayor o menor cantidad según sea el volumen de agua utilizada en la mezcla. Se define por permeabilidad la capacidad que tiene un material para dejar pasar a través de él, un fluido ya sea agua o aire. La permeabilidad depende directamente de la finura del cemento, la cantidad de agua y la compactación, pero se puede obtener una mayor impermeabilidad adicionando aditivos impermeabilizantes a la mezcla (Torre, 2004).

### **c. Resistencia a Compresión**

La resistencia a la compresión del concreto se logra cuantificar a los 28 días de vaciado, aunque para algunas estructuras especiales como túneles o presas que requieren también cementos especiales pueden especificarse en tiempos menores a mayores a 28 días incursionando aditivos en la mezcla.

La resistencia del concreto a compresión se determina mediante unas muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y de 30 cm de altura, levadas hasta la rotura mediante la aplicación de cargas que incrementan en un lapso corto de tiempo (Torre, 2004).

### **d. Resistencia a la flexión**

Generalmente su valor corresponde 10% de la resistencia en compresión del concreto de un determinado  $f'_c$ , esta propiedad nos sirve para diseñar estructuras que estarán cargadas y en el que es muy importante conocer esta propiedad (Torre, 2004).

### 3.2.5. Agregados

También llamados áridos son materiales de forma granular de origen ya sea natural o artificial que constituyen entre el 65 y el 85% del volumen total del hormigón y al aglomerarse debido al material cementante, conforman el hormigón. El análisis de sus propiedades y características es de suma importancia ya que se relaciona directamente con la resistencia, rigidez y durabilidad del hormigón.

#### a. Clasificación según su origen

**Agregados Naturales:** son los agregados que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos fluviales como las gravas o arenas de río o de glaciales y de canteras de diversas rocas. Se suelen aprovechar en su tamaño natural o triturados mecánicamente según sean las especificaciones o requerimientos del hormigón a fabricar.

**Agregados Artificiales:** estos agregados son obtenidos a partir de productos y procesos industriales tales como las escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro, cenizas, aserrín, viruta o poliuretanos (Giraldo, 2003).

#### b. Según su densidad

Los agregados se clasifican según su densidad en pesados, livianos y normales. Los agregados pesados tienen una densidad entre 2,9 y 6 Mg/m<sup>3</sup> y por lo general están compuestos de minerales de hierro; los livianos son de origen volcánico y tienen densidades entre 0,2 y 1,6 Mg/m<sup>3</sup>; los normales provienen de las rocas superficiales como cuarzos, calizas, granitos y tienen densidades entre 2,4 y 2,8 Mg/m<sup>3</sup>. En la fabricación del concreto es muy frecuente utilizar los agregados pétreos de origen superficial sean estos provenientes de fuentes aluviales o de plantas de trituración. Según la densidad del agregado los concretos se clasifican en livianos,



pesados y normales siento este último el de uso más común (Giraldo, 2003).

### c. Según su tamaño

**Agregado Grueso:** es considerado como agregado grueso aquel que proviene de fuentes naturales o artificiales producidos en plantas de triturado y a partir de procesos industrializados y se consideran agregado grueso el material que es retenido en el tamiz # 4 por lo tanto tendrá un tamaño mínimo de 4,76 mm dentro de esta clasificación encontramos la gravilla, grava, piedra y piedra rajón. Sin embargo, también podemos encontrar agregados gruesos como la grava triturada, roca triturada, escoria de alto horno, concreto triturado (Reyes & Rodriguez, 2010).

**Agregado fino:** más conocido común mente como arena y que proviene de fuentes naturales o artificiales producidos en plantas de triturado y a partir de procesos industrializados y se clasifica según su tamaño porque es el material pasante por el tamiz #4 (4,76 mm) y retenido por el tamiz #200 (0,075mm) (Reyes & Rodriguez, 2010)






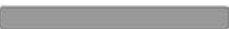
**Tabla 2.** *Clasificación General Del Agregado Según Su Tamaño.*

Tamaño (mm)	Denominación	Clasificación	Utilización
< a 0.002	Arcilla	Fracción muy fina	No Recomendable
0.002 - 0.074	Limo	Fracción muy fina	Recomendable hasta un % definido
0.074 - 4.76	Arenas	Agregado Fino	Apto para concreto y mortero
4.76 - 19.1	Grava <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	Agregado Grueso	Apto para concreto armado y pretensado
19.1 -50.8	Grava 2"	Agregado Grueso	Apto para concreto armado cimentaciones
>a 50.8	Piedra	Agregado Grueso	Apto para concreto sin refuerzo

**Fuente:** (Giraldo, 2003).

#### d. Según su Forma

los agregados procedentes de rocas naturales sometidos a un proceso de trituración y clasificación tienen formas que varían desde cúbicas o poliédricas a las esquirlas alargadas o laminares aplanadas o las de forma de cascós. Mientras que los agregados de río o los provenientes de depósitos aluviales tienen formas redondeadas o aplanadas.

CLASIFICACION	DESCRIPCION	EJEMPLO
Redondeadas. 	Totalmente desgastadas por el agua o completamente formadas por fricción	Gravas de río o de playa, arenas del desierto
Irregular 	Irregulares por naturaleza parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados.	Otras gravas; pizarra de superficie o subterránea.
Escamosa 	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dos dimensiones.	Roca laminada.
Angular 	Con bordes bien definidos, formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas.	Rocas trituradas de todo tipo y escoria triturada.
Alargada 	Material que suele ser angular, cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones.	Se encuentra en algunos depósitos naturales en forma de lajas.
Escamosa y alargada 	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor.	Agregados de rocas meteorizadas

**Figura 3:** Clasificación De Los Agregados Según Su Forma.

**Fuente:** (Giraldo, 2003).

### e. Según su Textura

Es el estado de pulimiento o degradación en que se encuentre la superficie del material. Incide notablemente en las propiedades del concreto especialmente en la adherencia entre las partículas del agregado y la pasta de cemento además de influir en las condiciones de fluidez mientras la mezcla se encuentra en estado plástico.

<b>Grupo</b>	<b>Textura Superficial</b>	<b>Características</b>
<b>1</b>	<b>Vítrea</b>	Fracturación concoidal
<b>2</b>	<b>Lisa</b>	Desgaste por el agua o lisa debido a fractura de roca laminada o de grano fino
<b>3</b>	<b>Granular</b>	Muestra granos más o menos redondeados uniformemente
<b>4</b>	<b>Áspera</b>	Fractura áspera de granos finos o medianos que contengan parte cristalinas difíciles de detectar.
<b>5</b>	<b>Cristalina</b>	Con partes cristalinas fáciles de detectar.
<b>6</b>	<b>En Forma de Panal</b>	Con cavidades y poros visibles.

**Tabla 3.** *Textura Superficial De Los Agregados.*

**Fuente:** (Giraldo, 2003).

### 3.2.6. Propiedades Físicas de los Agregados

#### a. Granulometría

Es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados; esta consiste en determinar el tamaño de las partículas mediante el análisis

granulométrico el cual consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas; la medida de la cuantía de cada fracción es la que se denomina como granulometría.

Este análisis consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y la designación de los tamices se hace de acuerdo a la abertura de la malla, medida en milímetros o en micras. En el juego de tamices se encuentran algunos intermedios que no cumplen la relación 1:2 de la abertura, pero se usan frecuentemente para evitar intervalos muy grandes entre dos mallas consecutivas. Por tal motivo para fines prácticos se ha establecido que la abertura de cualquier tamiz es aproximadamente la mitad del tamiz inmediatamente superior (Rivera, 2013).

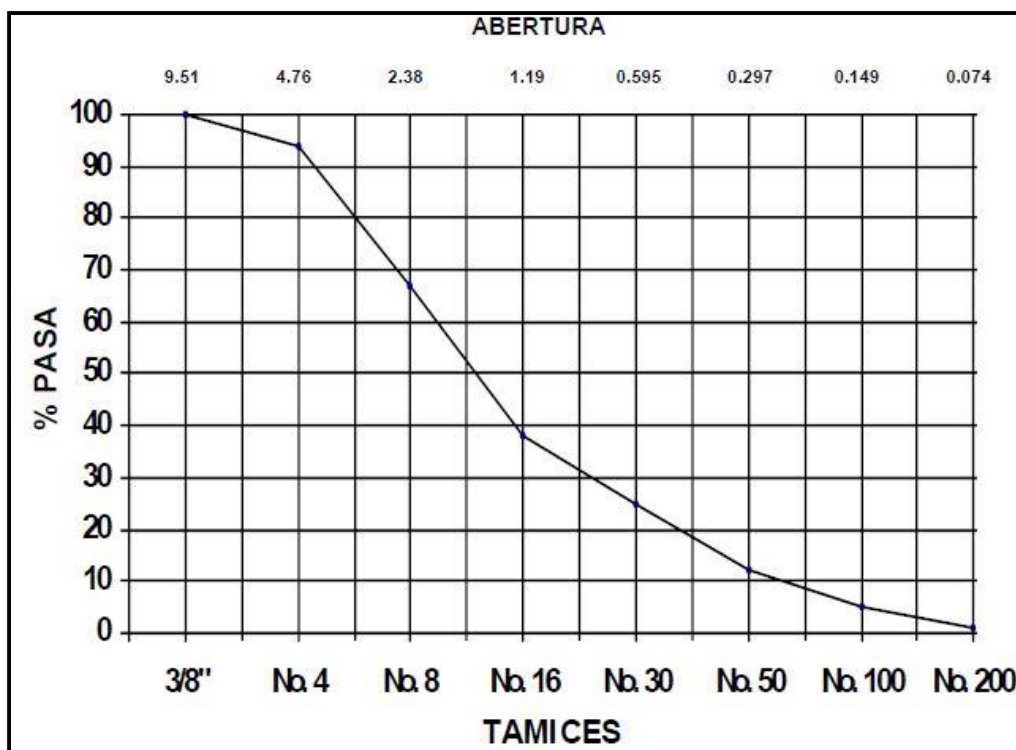
DESIGNACION ICONTEC	DESIGNACION A.S.T.M.
---	6"
---	5"
---	4 ½"
* 101,6 mm	4"
* 90,5 mm	3 ½"
76,1 mm	3"
* 64,0 mm	2 ½"
* 50,8 mm	2"
38,1 mm	1 ½"
* 25,4 mm	1"
19,0 mm	¾"
* 12,7 mm	½"
9,51 mm	3/8"
4,76 mm	No. 4
2,38 mm	No. 8
1,19 mm	No. 16
595 µm	No. 30
297 µm	No. 50
149 µm	No. 100
74 µm	No. 200
* Tamices que no cumplen la relación 1:2.	

**Figura 4:** *Tamices Empleados Para El Análisis Granulométrico.*

**Fuente:** (Rivera, 2013).

**Curva Granulométrica:** usadas para una mejor interpretación de los resultados, se acostumbra a representar gráficamente el análisis granulométrico en la curva denominada granulométrica o línea de cribado. En la curva de granulometría se representa generalmente sobre el eje de las ordenadas el porcentaje que pasa, en escala aritmética; y en las abscisas la abertura de los tamices en escala logarítmica.

Además de las ventajas ya nombradas de la curva granulométrica, es posible obtener del análisis granulométrico algunos factores como el D10, D30 y el D60 que son utilizados para determinar los coeficientes de uniformidad y de curvatura los cuales sirven para realizar una caracterización más completa de la distribución de tamaños del agregado.



**Figura 5 :** Curva Granulométrica.

**Fuente:** (Rivera, 2013).

### b. Módulo de Finura

El módulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material. Está definido como la centésima parte del número que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados en la siguiente serie de tamices: # 100, # 50, # 30, # 16, # 8, # 4, 3/8", 3/4", 1 1/2" y los tamices siguientes cuya abertura está en relación de 1 a 2.

El módulo de finura se puede calcular para cualquier material, sin embargo, se recomienda determinar el módulo de finura al agregado fino y según su valor, este agregado se puede clasificar tal como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** *Clasificación Según el Modulo de Finura.*

<b>MODULO DE FINURA</b>	<b>AGREGADO FINO</b>
<b>Menor que 2.00</b>	Muy fino o extra fino
<b>2.00 – 2.30</b>	Fino
<b>2.30 – 2.60</b>	Ligeramente fino
<b>2.60 – 2.90</b>	Mediano
<b>2.90 – 3.20</b>	Ligeramente grueso
<b>3.20 – 3.50</b>	Grueso
<b>Mayor que 3.50</b>	Muy grueso o extra grueso

**Fuente:** (Rivera, 2013).

### e. Tamaño Máximo

Está definido como la menor abertura del tamiz que permita el paso de la totalidad del

agregado. De manera práctica representa el tamaño de la partícula más grande que tiene el material.

### c. **Tamaño Máximo Nominal**

El tamaño máximo nominal de las partículas es el mayor tamaño del tamiz, listado en la norma aplicable, sobre el cual se permite la retención de cualquier material.

Es más útil que el tamaño máximo por que indica de mejor manera el promedio de la fracción gruesa, mientras que el tamaño máximo solo indica el tamaño de la partícula más grande de la masa de agregados, la cual puede ser única. El tamaño máximo y el tamaño máximo nominal se determinan generalmente al agregado grueso únicamente.

El tamaño máximo, así como también la granulometría afectan las proporciones relativas de los agregados, la cantidad de agua y el cemento necesarios en la mezcla y también afectan la manejabilidad, la economía, la porosidad y la contracción del cemento (Rivera, 2013).

### d. **Densidad**

Las partículas del agregado están conformadas por masa del agregado, vacíos que comunican con la superficie llamados poros permeables o saturables y vacíos que no se comunican con la superficie, es decir los que quedan en el interior del agregado los cuales son denominados poros impermeables o no saturables.

**Densidad real:** es la masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo sus poros permeables o saturables y los no saturables o impermeables.

**Densidad nominal:** masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo únicamente los poros permeables o saturables.

**Densidad aparente:** masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del

agregado, incluyendo tantos poros permeables o saturables como poros impermeables o no saturables.

Si la masa del agregado se determina con material seco tendríamos densidad aparente seca, pero si la masa del agregado se determina con material saturado y superficialmente seco (S.S.S), tendríamos densidad aparente saturada.

De los tipos de densidad la Densidad aparente es la que se emplea en el cálculo de mezclas, porque se parte que el material primero se satura, es decir todos los poros permeables de cada partícula quedan llenos de agua y el agua adicional a este estado es la que reacciona con el cemento; si la densidad del agregado que se toma en el diseño es la aparente saturada las masas que se calculen del agregado serán masas saturadas, pero si se toma para dosificación de mezclas la densidad aparente seca las masas que se determinen del agregado serán masa secas (Rivera, 2013).

#### **e. Absorción y Humedad**

La absorción es el porcentaje de agua necesaria para saturar los agregados o el hormigón expresada con respecto a la masa de los materiales secos, la estructura interna de las partículas de un agregado está conformada por materia sólida y por poros o huecos los cuales pueden contener agua o no. Las condiciones de humedad en que se puede encontrar un agregado serán:

**Seco:** ningún poro con agua.

**Húmedo no saturado:** algunos poros permeables con agua.

**Saturado y Superficialmente Seco (S.S.S):** todos los poros permeables llenos de agua y el material seco en la superficie.



**Húmedo sobresaturado:** Todos los poros permeables contienen agua y además el material tiene agua en la superficie (agua libre).

#### **g. Masa Unitaria**

la masa unitaria de un material es la masa del material necesaria para llenar un recipiente de volumen unitario. En la masa unitaria además del volumen de las partículas del agregado se tiene en cuenta los vacíos que hay entre las partículas.

La masa unitaria puede determinarse suelta o compacta, ya que esta es empleada en algunos métodos de dosificación de mezclas y la masa unitaria suelta sirve para estimar la cantidad de agregados a comprar si estos se venden por volumen suelto ya que es lo más común (Rivera, 2013).

#### **3.2.7. Agua para el Concreto**

Sustancia líquida transparente como ya sabemos está compuesta por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno ( $H_2O$ ) que en estado puro es inodora e insípida, no siempre se encuentra en estado puro por lo que puede contener en disolución gases y sales en suspensión, polvos y a veces microbios o microorganismos, el agua en la fabricación de concreto la encontramos principalmente en dos aplicaciones importantes.

**Agua de mezclado:** es agregada a los demás componentes para la fabricación de concreto con la finalidad de realizar la hidratación de los compuestos activos del cemento para generar una mezcla trabajable y crear espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento (Canovas, 1997).

**Agua de curado:** son las aguas adecuadas para el amasado lo son también para el curado.

Para que un agua sea apta para la fabricación de concreto debe de estar limpia y no debe

contener impurezas por encima de determinados porcentajes a fin de que no se produzcan alteraciones en la hidratación del cemento, retrasos en su fraguado y endurecimiento, reducción de la resistencia ni peligros en su durabilidad (Canovas, 1997).

### **3.2.8. Cemento**

Es un material pulverizado que contiene sílice, alúmina y óxido de hierro y que adicionando agua en cantidades apropiadas forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire.

#### **a. Cemento Portland**

Este tipo de cemento es obtenido de la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker (Rivera, 2013).

#### **b. Tipos de cemento Portland**

A medida que en el cemento varían los contenidos de silicato dicalcico ( $C_2S$ ), silicato tricalcico ( $C_3S$ ), aluminato tricalcico ( $C_3A$ ), aluminoferrito tetracalcico ( $C_4AF$ ) se modifican las propiedades del cemento portland, por lo tanto, se pueden fabricar diferentes tipos con el fin de satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas para situaciones especiales.

**Cemento Portland Tipo 1:** es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales.

**Cemento Portland Tipo 1-M:** es destinado también a obras de hormigón en general, al cual no se le exigen propiedades especiales, pero tiene resistencias superiores a las de tipo 1.

**Cemento Portland Tipo 2:** usado en obras de hormigón expuestas a sulfatos .

**Cemento Portland Tipo 3:** es el que desarrolla altas resistencias iniciales.

**Cemento Portland Tipo 4:** es el que desarrolla bajo calor de hidratación.

**Cemento Portland Tipo 5:** es el que ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.

**Cemento Portland Con Incorporadores De Aire:** son a los que se les adiciona un material incorporado de aire durante la pulverización; para su identificación se les coloca una “A”, como por ejemplo cemento Portland tipo 1-A.

**Cemento Portland Blanco:** es el que se obtiene con materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca; prácticamente cumple las especificaciones del Cemento Portland Tipo 1.

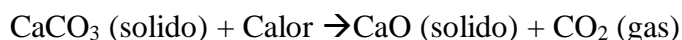
En Colombia según (Rivera, 2013) se produce cemento portland tipo 1; algunas fábricas producen otros tipos de cemento portland que son destinados para la realización de obras especial.

### 3.2.9. Oxido de calcio

Más conocida común mente como cal ya que esta deriva del latín calx calcis de la cual se derivan términos como caliza, calcinar, calcáreo, y es obtenida normalmente de la descomposición térmica de los materiales (Gonzales & Ticona, 2016).

#### a. Composición química

Está compuesta por el carbonato de calcio que al ser calcinado a temperaturas altas en un horno se descompone en oxido de calcio (CaO) y anhídrido carbónico, de acuerdo a la siguiente reacción química:



El proceso llamado calcinación libera una molécula de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dando como resultado el material llamado óxido de calcio de color blanco y muy caustico ya que si se expone demasiado al contacto con la piel quema los tejidos orgánicos normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio, y pequeñas cantidades de óxido de aluminio y hierro. Sin embargo el proceso puede ser reversible ya que al enfriarse la cal comienza a absorber nuevamente el  $\text{CO}_2$  del aire y después de un tiempo vuelve a convertirse en  $\text{CaCO}_3$  o carbonato de calcio (Durand, 2017).

#### **b. Tipos de óxido de calcio**

**Cal viva:** se obtiene de la calcinación de la caliza que, al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada) se usa en la construcción.

**Cal hidratada:** se conoce comercial mente así al hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos.

**Cal hidráulica:** cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua (Gonzales & Ticona, 2016).

#### **c. Producción artesanal**

la producción de óxido de calcio se inicia desde las canteras de piedra caliza la cual es extraída por trabajadores de la zona con herramientas como la maceta o más popularmente conocida como porra de aproximadamente 12 lbs, cinceles, barras y taladros con los cuales pican las rocas de gran tamaño para reducirlas en pequeños trozos los cuales serán más fáciles para ser cargados y transportarlos al horno de calcinación.



**Figura 6:** *Cantera De Extracción Artesanal.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).



**Figura 7:** *Tamaño final del material.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

Este horno tiene aproximadamente 4 metros de diámetro y entre 8 y 12 metros de altura con un espesor que varía entre 0.8 y 1 metro, su llenado se realiza por capas, la inicial se conforma de un 60% de carbón y un 40% de leña, la siguiente capa con un espesor aproximado de 0.8 metros está conformada por la piedra caliza la cual es acomodada buscando dejar la menor cantidad de vacíos entre ella y luego se realiza el llenado con una capa de 0.2 metros de carbón y luego otra de piedra asa sucesivamente hasta completar el llenado.



**Figura 8:** *Llenado Del Horno Con La Piedra Y Carbón.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

El material estará calcinándose dentro del horno durante 20 días a una temperatura interna de 900 °C gracias al carbón incursionados en el horno logrando así la desintegración de la caliza en su totalidad.





**Figura 9:** *Material en su proceso final de calcinación.*

Posterior a esto el material se deja enfriar y podemos decir que como resultado ya tenemos oxido de calcio o tradicionalmente llamada cal viva, pero al adicionar agua se convertirá en cal hidratada o cal apagada y posterior a esto se procede al empaclado en presentaciones de 25, 35 y 45kg.



**Figura 10:** *Proceso de empaclado.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### 3.2.10. Ensayo de resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño utilizada para los diseños de edificios y estructuras, esta se mide realizando unas probetas de concreto cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura las cuales son sometidas a cargas en una máquina de ensayos de compresión, esta resistencia se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste la carga y por lo general su resultado se expresa en mega pascales (Mpa) en unidades del sistema internacional (SI).



**Figura 11:** *Ensayo de resistencia a la compresión.*

**Fuente:** (Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto, 2006).

#### **a. Por qué se determina la resistencia a la compresión?**

La prueba de resistencia a la compresión se usa fundamentalmente para determinar que la



mezcla de concreto suministrada cumpla con los requisitos de la resistencia especificada ( $f'c$ ) del proyecto.

Los resultados de las pruebas de resistencia obtenidos a partir de los cilindros moldeados se pueden utilizar para la realización del control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de formaletas, cimbras o para evaluar el curado y protección suministrada a la estructura.

Un resultado de prueba es el promedio de por lo menos dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a la misma edad. En la mayoría de los casos los requerimientos de resistencia para el concreto se realizan a la edad de 28 días.

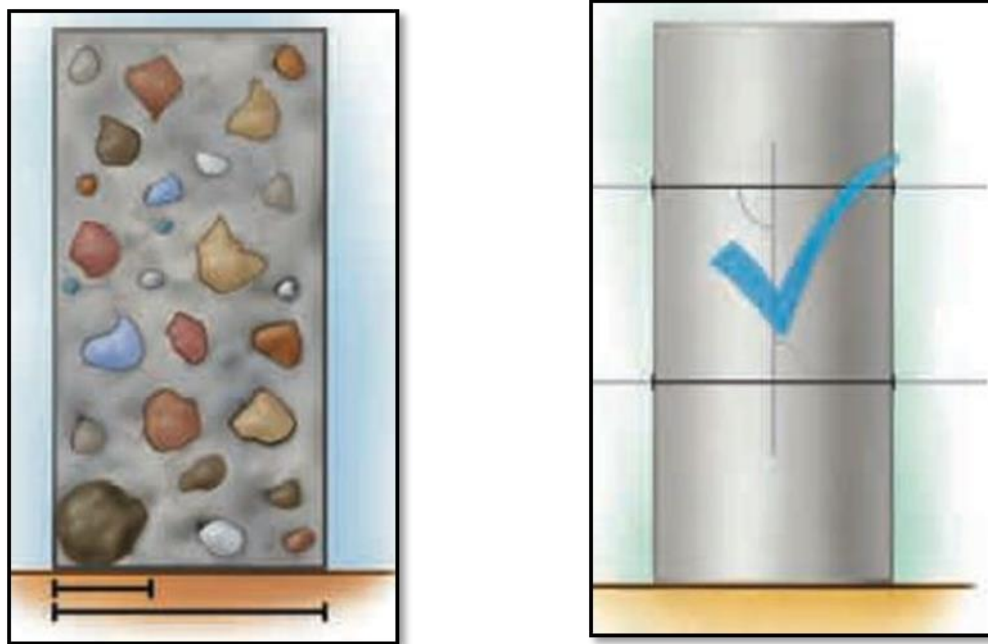
#### **b. Como realizar la prueba de resistencia del concreto**

los cilindros para las pruebas de aceptación deben tener un tamaño de aceptación de 6x12 pulgadas (15cm x 30cm) o de 4x8 pulgadas (10cm x 20cm) los cuales se escogerán según las especificaciones o exigencias del proyecto. Las probetas más pequeñas tienden a ser más fáciles de elaborar y manipular en campo y laboratorio.

Es recomendable que el diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto.

No se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba.

El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí, a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medidos difieren en más de 2%, no se debe someter a prueba el cilindro.



**Figura 13:** *Tamaño Máximo Del Agregado.*    **Figura 12:** *Medición del Diámetro del cilindro.*

**Fuente:** Instituto Mexicano Del Cemento y Del Concreto (2006).

Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más del 0.5% y los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas (0.05mm).

Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. El régimen de carga con maquina hidráulica se debe mantener en un rango de 0.15 a 0.35 Mpa/s durante la última mitad de la fase de carga.se debe anotar el tipo de ruptura.

Una prueba a los tres o siete días de elaborados los especímenes puede ayudar a detectar problemas potenciales relacionados con la calidad del concreto o con los procedimientos de las pruebas en el laboratorio, pero no podemos rechazar un concreto guiándonos por este criterio.

Los informes o reportes sobre las pruebas de resistencia a la compresión son una fuente valiosa de información para el proyecto en desarrollo o para futuros trabajos, además estos se deben hacer llegar lo más pronto posible al proveedor de concreto, al contratista y al propietario

del proyecto (Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto, 2006).

### **3.3. Antecedentes**

#### **3.3.1. Antecedentes internacionales**

Según Galicia y Velásquez (2016) han realizado un trabajo denominado “análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un concreto adicionado con cenizas de rastrojo de maíz elaborado con agregado de las canteras Cunyac y Vicho con respecto a un concreto patrón de 210 kg/cm<sup>2</sup>”, para este trabajo las cenizas de maíz fueron extraídas de los distritos de Saylla, Tipón y Oropesa, de la ciudad de Cusco cuyas edades de los especímenes fueron de 7, 14 y 28 días logrando determinar que para proporciones de 2.5%, 5%, y 7.5% de ceniza de rastrojo se obtuvieron incrementos de la resistencia entre un 50% y 110% a los 7 días, de 34%, 40%, y 81% a los 14 días y de un 30%, 35% y 47% a los 28 días con respecto a la muestra de concreto patrón demostrando así que el mejor porcentaje de ceniza fue el de 7.5% ya que fue el que registro un mayor incremento de la resistencia a la compresión.

Por otro lado tenemos el trabajo realizado por Durand (2017) en la ciudad de Trujillo-Perú denominado “Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales” para eso utilizo agregado grueso de tamaño máximo nominal ½”, agregado fino con módulo de finura del 2.5, cemento pocas mayo, diseño de 280 kg/cm<sup>2</sup>, relación agua cemento de 0.52, súper plastificante sika al 0,2% con respecto al peso del cemento y adiciones de óxido calcio de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% respecto a la mezcla de concreto. Con lo cual logro determinar que el porcentaje óptimo de adición de óxido de calcio es al 4% para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco-endurecido, obteniendo una mezcla plástica, trabajable, con una resistencia máxima de 353

kg/cm<sup>2</sup> a 28 días. Así mismo presento la mayor densidad, con una mínima porosidad de 4.69 % y una absorción de 1.54%.

Así mismo tenemos el trabajo de Padua (2019) denominado “Uso del óxido de calcio en el proceso del concreto para elementos estructurales, en la provincia de Huaura” el cual tenía una población de 20 pruebas de las cuales selecciono 10 pruebas para el estudio de investigación y comparación para las cuales utilizo agregado grueso de tamaño máximo nominal de ½” , agregado fino con módulo de finura de 2.5 y un diseño de mezcla con relación de agua/cemento de 0.51 y se adiciono oxido de calcio obtenido de residuos de ganado bobino en porcentajes de 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con respecto a la mezcla, con lo cual logro concluir que esta inclusión disminuyo significativamente el asentamiento del concreto mejorando la resistencia a la compresión para los diferentes elementos estructurales en la provincia de Huaura.

### **3.3.2. Antecedentes Nacionales**

Tenemos el trabajo de González (2015) llamado “Incidencia del material cementante (cemento-cal) en el reemplado de un mortero hidráulico” desarrollado en la ciudad de Medellín, el cual tenía como objetivo identificar como incide la dosificación del material cementante (cal/cemento) sobre el reemplado de un mortero hidráulico. Para seguirlo fue necesario en distintos tiempos de reemplado, encontrar la cantidad de agua que recuperaba la consistencia de la mezcla, así como su relación con el agua evaporada al cambiar la proporción de cal en el material cementante.

En consecuencia, se prepararon morteros con tres proporciones diferentes de cal 5%, 10% y 25% con tiempos de reemplado de 1.5 horas, 2.5 horas, 3.5 horas. Y fueron morteros con 110% de fluidez. El logro concluir que la proporción de material cementante incide sobre el reemplado ya que al incrementar el contenido de cal de 5% a 10% se necesitó adicionar mayor

cantidad de agua para recuperar la fluidez inicial del 110% pero al aumentar la cal a 25% la tendencia se invirtió, reflejando el efecto de la retención de agua producida por la cal sobre la evaporación; este comportamiento se observó en todos los tiempos de retemplado.

Por otro lado Suarez y Vargas (2008) realizaron en la ciudad de Bucaramanga un análisis, observación y comportamiento estadístico en función del tiempo de una mezcla de concreto de 3000 psi con adiciones de viruta de acero en porcentajes de 9%, 10% y 11% respecto al agregado fino y corroboraron resultados de investigaciones realizadas anteriormente logrando confirmar que el porcentaje óptimo de viruta de hierro correspondió al 10% ya que los cilindros que contenían ese porcentaje fueron los que registraron mayor resistencia al ensayo de compresión a medida que transcurría el tiempo de elaborados para este caso ensayados a los 3,7,28 y 56 días.

## 4. Metodología

La investigación se desarrolla desde un enfoque cuantitativo, donde los datos se examinan de forma científica, bajo métodos estadísticos cuantificables, con el propósito de describir la realidad observable; es decir, a través de la recolección de datos cuantitativos y que a su vez puedan ser medidos sistemáticamente; para lo cual, se empleó el análisis estadístico como característica resaltante. En este tipo de investigación, se parte de cuerpos teóricos aceptados por la comunidad científica y según Bernal (2006) el enfoque cuantitativo:

...se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos, lo cual supone derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado, una serie de postulados que expresen relaciones entre las variables estudiadas de forma deductiva. Este método tiende a generalizar y normalizar resultados. (p.57)

En tal sentido, se expresa el valor numérico de una determinada acción o ejecución de trabajo; lo cual implica un orden, control y seguimiento, con el propósito de dar solución a ciertos problemas presentes en el lugar, espacio o fenómeno objeto de estudio; el cual, en este caso en particular, se hace referencia al análisis del comportamiento de la resistencia del concreto hidráulico adicionado con Oxido de Calcio (Cal) mediante las pruebas de resistencia a la compresión a las mezclas diseñadas en diferentes proporciones para analizar el comportamiento y viabilidad que tiene realizar dicha adición al concreto.

### 4.1. Tipo de la investigación

Este proyecto de investigación es de tipo descriptivo, puesto que se limita a observar y describir los fenómenos observados; en este caso particular, se pretende describir, estudiar y evaluar las características e implicaciones del problema planteado, siendo para este caso, analizar

la resistencia del concreto hidráulico adicionado Oxido de Calcio (Ca) mediante el ensayo de la resistencia a la compresión. Desde esta perspectiva, Hernández, Fernández & Baptista (2006), refieren que los estudios descriptivos buscan "...especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población" (p.103); es decir, miden, evalúan, recolectan datos, aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a ser estudiado.

Partiendo de esto, se pretende indagar sobre el comportamiento de la resistencia del concreto adicionando en diferentes proporciones oxido de calcio.

#### **4.2. Diseño de la investigación**

Para Hernández, Fernández & Baptista (2006) el diseño de la investigación, es el "Plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación" (p.158); en efecto, el propósito es responder preguntas de investigación, que según el enfoque cuantitativo, busca cumplir con los objetivos del estudio, a fin de "...analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto particular" (p.158); las cuales pueden ser sometidas a prueba "...o para aportar evidencia respecto de los lineamientos de la investigación -si es que no se tienen hipótesis-" (p158).

Bajo este enfoque cuantitativo, el investigador puede utilizar uno o varios diseños para analizar las hipótesis o para aportar evidencias respecto de los lineamientos de investigación; entre los cuales se tienen básicamente dos tipos, los experimentales y no experimentales. Ambos se emplean para el avance del conocimiento y en ocasiones, resulta más apropiado un tipo u otro dependiendo del problema de investigación al que se enfrente. En este caso, se recurrió a la investigación de tipo experimental; la cual según los autores antes citados, se corresponde con "...observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para después analizarlos"

(p.205); por lo tanto, no se hizo posible manipular las variables objeto de estudio, a fin de conocer sus efectos tal y como se presentan en la realidad natural y lo cual, según los mencionados autores, con este tipo de investigación se está: "...más cerca de las variables formuladas hipotéticamente como reales" (p.222); por lo que según ellos, se tiene en consecuencia, una mayor validez externa o posibilidad de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes.

Para Hernández, Fernández & Baptista (2006), este tipo de investigación se clasifica a su vez: "...por su dimensión temporal o el número de momentos o puntos en el tiempo, en los cuales se recolectan datos" (p.208); ya sea en investigación transicional o longitudinal. En tal sentido, el diseño que se consideró más apropiado, es el transversal o transicional descriptivo; siendo su objetivo, el describir las variables objeto de estudio y analizar su incidencia e interrelación entre sí; las cuales se correlacionaron en este caso, con los experimentos a desarrollar para analizar el comportamiento del concreto hidráulico adicionado con Oxido de Calcio (Cal) siendo este segundo componente materia prima proveniente de la zona.

En ese mismo orden de ideas, Sabino (2002) plantea, que el diseño de investigación se ocupa precisamente de esta tarea, debido a que su objeto es, proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías y su forma es la de una estrategia o plan general, que determine las operaciones necesarias para hacerlo. Ahora bien, se hace pertinente también señalar, que además el estudio se constituye en un diseño de campo, a lo cual según Cazares (1990) citado por Valenti (2018):

La investigación de campo es aquella en que el mismo objeto de estudio sirve como fuente de información para el investigador. Consiste en la observación, directa y en vivo, de cosas, comportamiento de personas, circunstancias en que ocurren ciertos hechos; por ese motivo



la naturaleza de las fuentes determina la manera de obtener los datos. (s/p)

De modo tal, que un estudio de campo recoge la información donde se encuentra el objeto de estudio, lo que permite el conocimiento más a fondo del problema por parte del investigador y puede manejar los datos con más certeza y seguridad. Por lo tanto, dadas las características del estudio; a través del cual, se quiso centrar en hacerlo de manera natural, recogiendo los datos directamente del lugar de los hechos, con el fin de hallar la situación lo más real posible; ello permitió vislumbrar, que la investigación se enmarcara dentro de lo que es estudio de campo, el cual según Arias (2012):

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los fenómenos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna; es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación experimental. (p.31)

Por tanto, en la investigación propuesta, muchos datos fueron recolectados de primera fuente por el investigador; en este caso, el análisis a los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión realizadas al concreto hidráulico adicionado con Oxido de Calcio (Cal), I, se obtuvo parte de la información analizada y descrita en los capítulos subsiguientes a este, aportada directamente de los informantes en el propio sitio donde se dieron los hechos objeto de estudio.

### **4.3. Operatividad de las variables**

#### **4.3.1. Variable independiente**

##### **a. Oxido de calcio**

Que para el caso este será producto de la calcinación de rocas de manera artesanal en el municipio de Málaga Santander y se realizarán adiciones del 5%, 10%, 15%, 20% y 25% respecto al material cementante por lo tanto tendremos especímenes fabricados con 100% de cemento, especímenes con 95% de cemento y 5% de óxido de calcio completando así el 100% de material cementante y de igual manera para las demás muestras.

#### **4.3.2. Variable dependiente**

##### **a. Resistencia a la compresión**

Ya que esta propiedad del concreto endurecido dependerá directamente del porcentaje de óxido de calcio incursionado en cada espécimen fabricado, la cual puede tender a aumentar o a disminuir.

#### **4.4. Población**

La población de estudio en el presente trabajo de investigación lo conformaron 48 probetas de concreto de las cuales 40 probetas llevarán óxido de calcio y las restantes serán la muestra patrón o de referencia sin óxido de calcio.

#### **4.5. Muestra**

El tipo de muestreo para este caso es no probabilístico, siendo la muestra seleccionada por convivencia aleatoriamente y bajo criterio del investigador.

Esta muestra se basa en los parámetros que establece la norma técnica colombiana (NTC 550) y bajo criterios del Instituto Americano de Concreto (ACI) las cuales indican que es necesario tomar por lo menos 2 muestras por cada tipo de mezcla para moldes de 15 cm x 30 cm y el resultado de la resistencia será el valor promedio ensayados a 28 días o a la edad especificada la cual para el caso se ensayaron a los 7, 14, 21 y 28 días.

## 5. Desarrollo de la investigación

### 5.1. Caracterización de los agregados

#### 5.1.1. Agregado fino

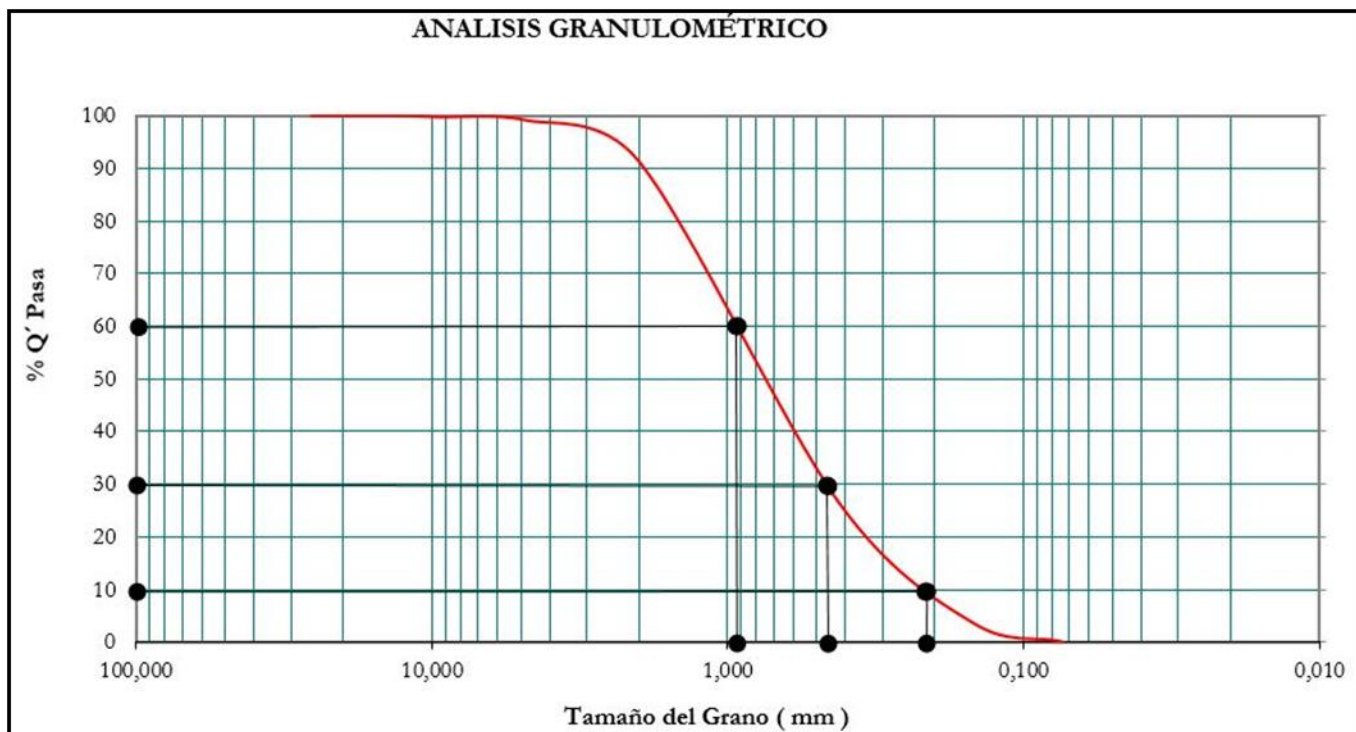
El agregado fino más común mente conocido como arena utilizado es de origen natural extraído del río servita de manera artesanal por habitantes de la rivera del afluente en jurisdicción de municipios como Enciso, San José de Miranda y Capitanejo pertenecientes al departamento de Santander.

#### a. Granulometría.

La granulometría se llevó a cabo luego de realizar el respectivo cuarteo del material del cual se tomó una muestra de 2135 gr de material completamente libre de humedad.

**Tabla 5:** *Granulometría Del Agregado Fino.*

Abertura del tamiz		Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa
# Tamiz	mm				
1"	25.400				
¾"	19.100				
½"	12.700				100
3/8"	9.520	4.76	0.22	0.22	99.78
#4	4.760	14.11	0.66	0.88	99.12
#10	2.000	163.75	7.67	8.55	91.45
#40	0.420	1386.	64.92	73.47	26.53
#100	0.149	485.06	22.72	96.19	3.81
#200	0.074	78.12	3.66	99.85	0.15
<b>Fondo</b>		3.02	0.15	100	



**Figura 14:** *Curva Granulométrica Agregado Fino.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

Según la figura 15 podemos estimar un valor correspondiente de 0.225 para el diámetro efectivo ( $D_{10}$ ), un 0.47 para el  $D_{30}$  y un valor de 0.925 para el  $D_{60}$  y valores para el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) de 1.06 y coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) de 4.11.

Con los datos anteriores procedimos a clasificar el suelo obteniendo los siguientes resultados.

Sistemas de Clasificación S.U.C.S que corresponde a una “ARENA POBREMENTE GRADADA, por lo tanto, le corresponde la asignación de las letras “S P”.

Sistema de clasificación A.A.S.H.T.O corresponde al grupo A-1b que hace referencia a que es una arena de granulometría media de permeabilidad alta, elasticidad deficiente con

grandes rendimientos en el uso de bases para pavimentos para sub bases y terraplenes.

### b. Módulo de finura

Teóricamente ya sabemos que el módulo de finura está definido como la centésima parte del número que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados en la siguiente serie de tamices: # 100, # 50, # 30, # 16, # 8, # 4, 3/8", 3/4", 1 1/2" y los tamices siguientes cuya abertura esta en relación de 1 a 2 por lo tanto realizamos la sumatoria del porcentaje retenido acumulado (sin incluir el fondo) y procedemos a dividirlo en 100 para obtener así el valor.

Para determinarlo tomaremos una muestra de 2132 gr totalmente seco.

Abertura del tamiz		Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa
# Tamiz	mm				
3/8"	9.520	4.7	0.0	0.0	100
#4	4.75	14.1	0.7	0.7	99.34
#8	2.360	67.7	3.2	3.8	96.16
#16	1.180	565.00	26.5	30.3	69.66
#30	0.600	654.00	30.67	61.01	38.99
#50	0.355	536.00	25.14	86.15	13.85
#100	0.149	220.06	10.32	96.47	3.53
<b>Fondo</b>		74.17	3.48	99.95	
<b>Total</b>		2131.06	99.95	378.43	
<b>Módulo de finura</b>		MF = (0.7+3.8+30.3+61.01+86.15+96.47)/100			<b>2.78</b>

**Tabla 6:** Determinación Del Módulo De Finura.

**Fuente:** Propia (2020).

### c. Porcentaje de finos

Según los valores de la tabla 5 obtenidos luego de caracterizar el agregado fino mediante la granulometría se observa que el porcentaje de la muestra que pasa el tamiz #4 corresponde al 99.12 % del cual pasa el tamiz #200 un 0.15% de la muestra total porcentaje correspondiente a los finos.



**Figura 15:** *Porcentaje De Finos*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### d. Masa unitaria suelta

Para la determinación de la (MUS) tómanos 10 kg de material secado a temperatura ambiente y procedimos a realizar el ensayo según los parámetros de la norma NTC 92 para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 7:** *Determinación De La Masa Unitaria Suelta De La Arena.*

N° de ensayo	1	2	3
<b>Peso molde (kg)</b>	6.530	6.530	6.530
<b>Peso del material + molde (kg)</b>	9.699	9.691	9.688
<b>Peso del material (kg)</b>	3.169	3.161	3.1588
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.00212	0.00212	0.00212
<b>Masa unitaria suelta (kg/m3)</b>	1495 kg/m3	1491 kg/m3	1490 kg/m3
<b>Promedio Masa unitaria suelta</b>	<b>1492 kg/m3</b>		

**Fuente:** Sepulveda (2020).

#### e. Masa unitaria compacta

Para la determinación de la (MUS) tómanos 10 kg de material secado a temperatura ambiente y procedimos a realizar el ensayo según los parámetros de la norma NTC 92 para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 8:** *Determinación De La Masa Unitaria Compacta De La Arena.*

N° de ensayo	1	2	3
<b>Peso molde (kg)</b>	6.530	6.530	6.530
<b>Peso del material + molde (kg)</b>	9.9898	10.057	10.0047
<b>Peso del material (kg)</b>	3.4598	3.5277	3.4747
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.00212	0.00212	0.00212
<b>Masa unitaria compactada (kg/m3)</b>	1632	1664	1639
<b>Promedio Masa unitaria compactada</b>	<b>1645 kg/m3</b>		

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### f. Humedad natural

Para la toma de humedad natural empleamos una muestra de 190 gr del material.

**Tabla 9:** *Determinación Del Contenido De Humedad De La Arena.*

<b>Humedad Natural (W)</b>	
<b>Peso del Molde (Pm)</b>	10 gr
<b>Peso del Molde+ muestra humedad (Pm+mh)</b>	200 gr
<b>Peso del Molde+ muestra seca (Pm+ms)</b>	190 gr
<b>Peso del agua= (Pm+mh)- (Pm+ms)</b>	10 gr
$\%W = \frac{(Pm + mh) - (Pm + ms)}{(Pm + ms) - Pm} * 100$	$\%W = \frac{(200) - (190)}{(190) - 10} * 100$
<b>W%</b>	<b>5.56</b>

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### 5.1.2. Agregado grueso

El agregado grueso también llamado grava o triturado utilizado es de origen artificial porque una vez extraído del río servita es triturado y reducido a un tamaño menor de sus partículas en una planta ubicada en el sector de la palmera aproximadamente a 1 km del casco urbano del municipio de Capitanejo Santander.

#### a. Granulometría.

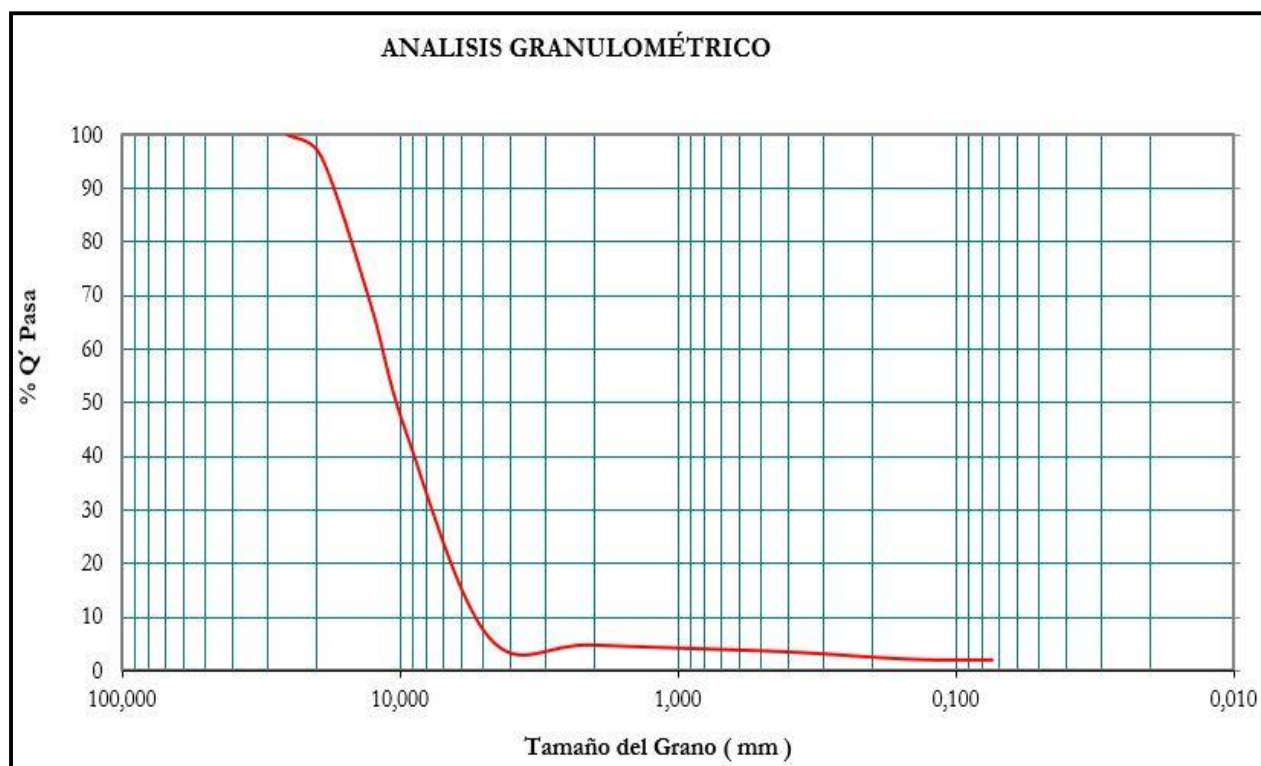
La granulometría se llevó a cabo luego de realizar el respectivo cuarteo del material del cual se tomó una muestra de 2803 gr de material completamente libre de humedad.



**Tabla 10:** Granulometría Del Agregado Grueso.

Abertura del tamiz		Peso	% Retenido	% Retenido	% que pasa
# Tamiz	mm	retenido (gr)	parcial	Acumulado	
1"	25.400				100
¾"	19.100	116.00	4.14	4.14	95.86
½"	12.700	770.00	27.47	31.61	68.39
3/8"	9.520	659.00	23.51	55.12	44.88
#4	4.760	1083.00	38.64	93.76	6.24
#10	2.000	38.00	1.36	95.11	4.84
#40	0.420	35.00	1.25	96.36	3.64
#100	0.149	39.00	1.39	97.75	2.25
#200	0.074	5.00	0.18	97.93	2.07
<b>Fondo</b>		58	2.070	100	0

Fuente: Sepulveda (2020).

**Figura 16:** Curva Granulométrica del Agregado Grueso.

Fuente: Sepulveda (2020).

Según la figura 17 valor para el diámetro efectivo (D10) es de 5.4, de 7.85 para el D30 y un valor de 10.3 para el D60 y valores para el coeficiente de curvatura (Cc) de 1.9 y coeficiente de uniformidad (Cu) de 1.11.

Con los datos anteriores procedimos a clasificar el agregado obteniendo los siguientes resultados.

Sistemas de Clasificación S.U.C.S que corresponde a una “GRAVA POBREMENTE GRADADA, por lo tanto, le corresponde la asignación de las letras “G P”.

Sistema de clasificación A.A.S.H.T.O corresponde al grupo A-1a que hace referencia a que es un suelo granulado de grava permeabilidad alta, con grandes rendimientos en el uso de bases para pavimentos para sub bases y terraplenes.

**b. Tamaño máximo (TM)**

Como definimos anterior mente el tamaño máximo del agregado será la menor abertura por la que pasa el 100% de la muestra por lo tanto para nuestro caso este tendrá un valor de 1 pulgada o 25.4 mm

**c. Tamaño máximo nominal (TMN)**

Teóricamente el tamaño máximo nominal es el mayor tamiz que retiene parte de la muestra en este caso el TMN será de  $\frac{3}{4}$  de pulgada o 19.1 mm.

**d. Masa unitaria suelta**

Para la determinación de la (MUS) tomamos 10 kg de material secado a temperatura ambiente y procedimos a realizar el ensayo según los parámetros de la norma NTC 92 para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 11:** *Determinación De La Masa Unitaria Suelta De La Grava.*

<b>N° de ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso molde (kg)</b>	6.530	6.530	6.530
<b>Peso del material + molde (kg)</b>	9.8287	9.8351	9.841
<b>Peso del material (kg)</b>	3.2987	3.3051	3.3114
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.00212	0.00212	0.00212
<b>Masa unitaria suelta ( kg/m3)</b>	1556	1559	1562
<b>Promedio Masa unitaria suelta</b>	<b>1559 kg/m3</b>		

**Fuente:** Sepulveda (2020).

#### **e. Masa unitaria compacta**

Para la determinación de la (MUS) tomamos 10 kg de material secado a temperatura ambiente y procedimos a realizar el ensayo según los parámetros de la norma NTC ### para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 12:** *Determinación De La Masa Unitaria Compacta De La Grava.*

<b>N° de ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso molde (kg)</b>	6.530	6.530	6.530
<b>Peso del material + molde (kg)</b>	9.9114	9.926	9.96
<b>Peso del material (kg)</b>	3.3814	3.396	3.430
<b>Volumen del molde (m3)</b>	0.00212	0.00212	0.00212

<b>Masa unitaria compactada (kg/m3)</b>	1595	1602	1618
<b>Promedio Masa unitaria compactada</b>	<b>1605 kg/m3</b>		

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### g. Humedad natural

Para la toma de humedad natural empleamos una muestra de 290 gr del material.

**Tabla 13:** *Determinación del porcentaje de humedad de la grava.*

<b>Humedad Natural (W)</b>	
<b>Peso del Molde (Pm)</b>	10 gr
<b>Peso del Molde+ muestra humedad (Pm+mh)</b>	300 gr
<b>Peso del Molde+ muestra seca (Pm+ms)</b>	295 gr
<b>Peso del agua= (Pm+mh)- (Pm+ms)</b>	5 gr
$\%W = \frac{(Pm + mh) - (Pm + ms)}{(Pm + ms) - Pm} * 100$	$\%W = \frac{(300) - (295)}{(295) - 10} * 100$
<b>W%</b>	<b>1.75</b>

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### 5.1.3. Caracterización Final De Los Agregados

#### a. Agregado fino

**Tabla 14:** *Tabla Resumen De Las Propiedades De La Arena.*

<b>Arena Pobrementemente Gradada SP</b>	
<b>Módulo De Finura</b>	2.785
<b>Porcentaje De Finos</b>	0.15%
<b>Masa Unitaria Suelta</b>	1492 kg/m <sup>3</sup>
<b>Masa Unitaria Compacta</b>	1645 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad Aparente</b>	2514 kg/m <sup>3</sup>
<b>% De Humedad</b>	5.56 %
<b>Forma</b>	Redondeada
<b>Textura</b>	Lisa

**Fuente:** Sepulveda (2020).

#### b. Agregado grueso

**Tabla 15:** *Tabla Resumen De Las Propiedades De La Grava.*

<b>Grava Pobrementemente Gradada GP</b>	
<b>Tamaño Máximo</b>	25.4 mm
<b>Tamaño máximo nominal</b>	19.1 mm
<b>Masa Unitaria Suelta</b>	1559 kg/m <sup>3</sup>
<b>Masa Unitaria Compacta</b>	1605 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad Aparente</b>	2478 kg/m <sup>3</sup>
<b>% De Humedad</b>	1.75
<b>Forma</b>	Angulosa
<b>Textura</b>	Rugosa

**Fuente:** Sepulveda (2020).

## 5.2. Diseño de la mezcla

Iniciamos nuestro diseño de mezcla con la proporción a trabajar que como dijimos inicialmente será 1:2:3, trabajaremos cemento portland tipo 1 de uso común y los agregados anteriormente caracterizados.

- Elección del asentamiento según el tipo de construcción.

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo de concreto)	Grado de Trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleta
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,5 - 5,0	Semi - seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración Fundaciones en concreto simple Pavimentos con vibradores normales
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración
10,0 - 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración.

**Figura 17:** Valores De Asentamiento Según El Tipo De Construcción.

**Fuente:** (Asocreto, 2010).

- Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

Dimensión mínima del elemento (cm)	Tamaño máximo nominal en mm (pulgadas)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzos	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	12 (½") - 19 (¾")	19 (¾")	19 (¾") - 25 (1")	19 (¾") - 38 (1½")
19 - 29	19 (¾") - 38 (1½")	38 (1½")	38 (1½") - 76 (3")	
30 - 74	38 (1½") - 76 (3")	76 (3")	38 (1½") - 76 (3")	76 (3")
75 ó más	38 (1½") - 76 (3")	152 (6")	38 (1½") - 76 (3")	76 (3") - 152 (6")

**Figura 18:** Valores Recomendados Para El TMN.

**Fuente:** (Asocreto, 2010).

- Estimación del contenido de aire.

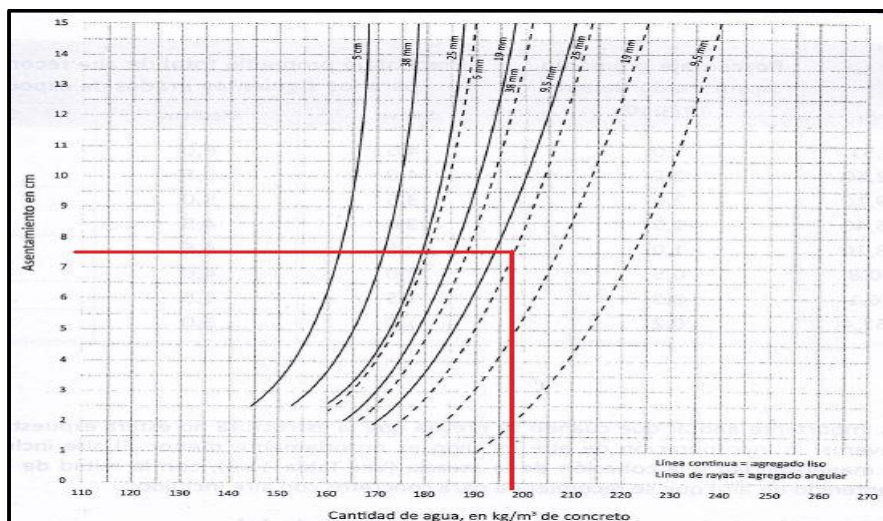
Agregado Grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulgadas	mm		Suave	Mediano	Severo
¾	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
½	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
¾	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 ½	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

**Figura 19:** Contenido Aproximado De Aire En El Concreto.

**Fuente:** (Asocreto, 2010).



- Estimación de la cantidad de agua de mezclado que según la gráfica corresponde al valor de 197 Kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 20:** *Requerimiento Del Agua De Mezclado.*

**Fuente:** (Asocreto, 2010).

- Buscamos el valor del requerimiento aproximado de agua para mezclado y contenido de aire según el asentamiento y el TMN del agregado

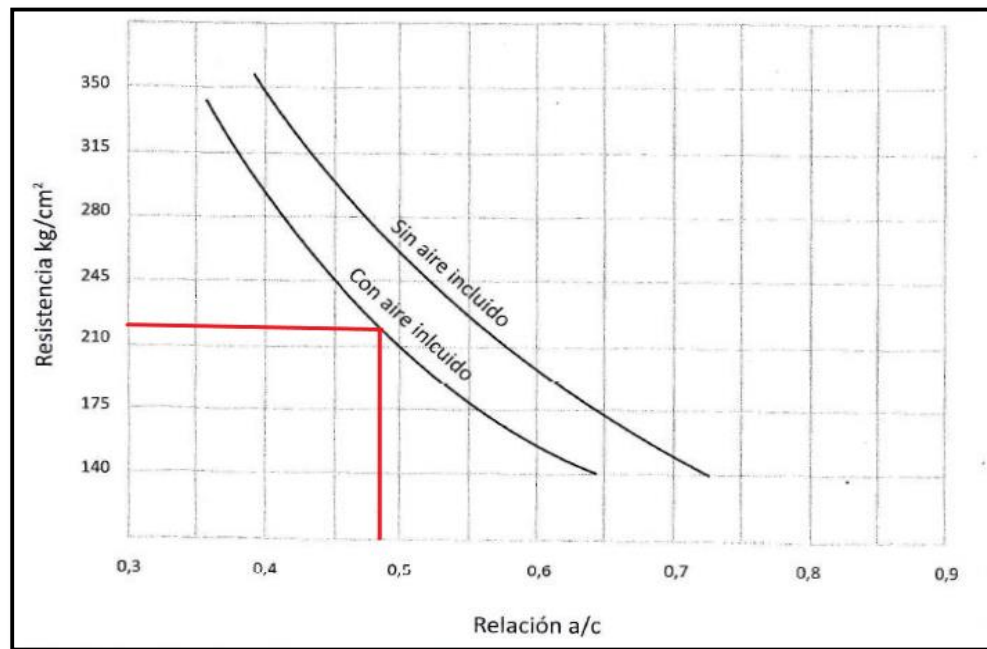
Condición del contenido de aire	Asentamiento cm	Agua en kg/m <sup>3</sup> de concreto para los TMN del agregado indicados								
		10	12,5	20	25	40	50	70	150	
		--	--	--	--	--	--**	--**	--**	
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125	
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140	
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

**Figura 21:** *Requerimiento De Agua Y Contenido Según El Asentamiento Y El TMN.*

**Fuente:** (Asocreto, 2010).



- Elección de la relación agua/ cemento teniendo en cuenta que para la proporción 1:2:3 la resistencia teórica tiene un valor de 21 Mpa o de 3045 Psi o 214.15 kg/cm<sup>2</sup> por lo cual según la gráfica el valor de a/c es de 0,485.



**Figura 22:** Curva De Resistencia A La Compresión Vs Relación A/C.

**Fuente:** (Asocreto, 2010)

- Ahora gracias a los datos obtenidos en los dos pasos anteriores podemos establecer la cantidad de cemento necesaria según la relación a/(<sup>a</sup>/c) donde nuestro valor de “a” hace referencia a la cantidad de agua en Kg/m<sup>3</sup> según los agregados cuyo valor corresponde a 180 Kg/m<sup>3</sup> y la relación a/c tiene un valor de 0.485.

$$\text{Cantidad de Cemento} = \frac{180 \text{ Kg/m}^3}{0.485}$$

$$C = 372 \text{ Kg/m}^3$$

El volumen del cemento será entonces:

$$V_c = \frac{372 \text{ Kg/m}^3}{3150 \text{ Kg/m}^3} = 0.118 \text{ m}^3.$$

- Ahora realizamos la estimación del contenido de grava utilizamos el valor del módulo de finura de la arena 2.785 y el TMN de la grava 19.1 mm e interpolando obtenemos el valor de  $b/b_o$  de 0.6217.

Máximo tamaño nominal de agregados		Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
		MÓDULO DE FINURA			
pulgadas	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
¾	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
½	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
¾	19,1	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 ½	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

**Figura 23:** *Volumen De Grava Por Unidad De Volumen De concreto.*

**Fuente:** (Asocreto, 2010).

Procedemos a calcular el valor de  $b_o''$  que se define como la relación entre la masa unitaria compacta de la grava y la densidad de la grava.

$$b_o'' = \frac{1605 \text{ Kg/m}^3}{2478 \text{ Kg/m}^3} = 0.64 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

El volumen por metro cubico de la grava será entonces:

$$V_g = (0.6217) (0.64) = 0.397 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

- El cálculo del volumen de la arena será tomado 1 m<sup>3</sup> de concreto al cual le descontaremos el volumen del aire incluido, el del agua, el cemento y el de la grava

$$V_a = 1 - (0.02 - 0.197 - 0.118 - 0.397)$$

$$V_a = 0.268 \text{ m}^3/\text{m}^3.$$

**Tabla 16:** *Materiales para 1m<sup>3</sup> de concreto.*

Material	Peso (kg/ m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/ m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Ajuste por humedad
<b>Cemento</b>	372	3150	0.118	372
<b>Aire</b>	0	0	0.02	0
<b>Agua</b>	197	1000	0.197	164.9
<b>Grava</b>	983.76	2478	0.397	1001
<b>Arena</b>	674	2514	0.268	711.4
<b>Total</b>	2226.76		1 m <sup>3</sup>	

**Fuente:** Sepulveda (2020).

- Ahora procedemos a determinar el peso húmedo de los agregados teniendo en cuenta el % de humedad de los materiales y su % de absorción.
- Para la grava tenemos % de humedad del 1.75 y de absorción 1.2 %.

$$\text{Ajuste de la grava} = (983.76) (1+0.0175)$$

$$\text{Ajuste de la grava} = 1001 \text{ kg/ m}^3$$

Como la humedad del material es mayor que la absorción tenemos agua en exceso.

$$\text{Agua en exceso} = (983.76) (0.0175 - 0.012)$$

$$\text{Agua en exceso} = 5.41 \text{ kg}$$

- Para la arena tenemos % de humedad del 5.56 y de absorción 1.6 %.

$$\text{Ajuste de la arena} = (674) (1+0.0556)$$

$$\text{Ajuste de la arena} = 711.4 \text{ kg/ m}^3$$

Como la humedad del material es mayor que la absorción tenemos agua en exceso.

$$\text{Agua en exceso} = (674) (0.0556 - 0.016)$$

$$\text{Agua en exceso} = 26.7 \text{ kg}$$

- El agua en exceso total será la sumatoria del agua en exceso de la grava y la arena.

$$\text{Agua en exceso} = 32.11 \text{ Kg.}$$

- Ajustamos la cantidad de agua necesaria para producir 1 m<sup>3</sup> de concreto.

$$A_{\text{Total}} = 197 - 32.11 \text{ kg}$$

$$A_{\text{Total}} = 164.9 \text{ kg/ m}^3$$

- Realizaremos el ajuste de la mezcla fabricando inicialmente 0.00530 m<sup>3</sup> de concreto para lo cual se usó 8.4 litros de agua, 19 kg de cemento, 50.93 kg de grava y 36.19 kg de arena, para un peso total de 114.52 kg.
- Procedemos a realizar el respectivo mezclado y llenado de un balde negro de construcción para posteriormente pesarlo determinado así que el peso unitario del concreto fresco era de 2542 kg/m<sup>3</sup>.

- El rendimiento de la mezcla será la relación del peso total de la muestra inicial y el peso unitario, datos hallados anteriormente.

$$Y = \frac{114.52 \text{ kg.}}{2542 \text{ kg/m}^3} = 0.045 \text{ m}^3 .$$

- Precedemos luego a determinar el contenido neto de agua de mezclado de la mezcla de prueba.

$$C_{\text{Neto agua}} = 8.4 + (5.41 * 0.045) + (26.7 * 0.045)$$

$$C_{\text{Neto agua}} = 9.845 \text{ Kg}$$

- Ajustamos ahora la cantidad de agua para fabricar  $1 \text{ m}^3$  de concreto dividiendo el contenido neto de agua entre el rendimiento de la mezcla.

$$\text{Agua} = \frac{9.845}{0.045} + 5 = 223,76 \text{ kg.}$$

- Ajustamos la cantidad de cemento ya que aumento el agua por lo tanto se altera la relación agua cemento.

$$\frac{223,76 \text{ kg}}{0.485} = 461.4 \text{ kg/m}^3.$$

- Ajustamos ahora la cantidad de grava

$$\text{Grava} = \frac{50.49}{0.045} = 1122 \text{ kg/m}^3.$$

- Ajustamos ahora la cantidad de arena de la siguiente manera:

$$\text{Arena} = \text{peso unitario} - \text{agua} - \text{cemento} - \text{grava.}$$

$$\text{Arena} = 2542 \text{ kg/m}^3 - 223.76 \text{ kg} - 461.4 \text{ kg/m}^3 - 1122 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Arena} = 739.86 \text{ kg/m}^3.$$

**Tabla 17:** *Valores Ajustados Para 1m<sup>3</sup> De Concreto.*

<b>Agua</b>	223.76 kg
<b>Cemento</b>	461.4 kg/m <sup>3</sup>
<b>Grava</b>	1122 kg/m <sup>3</sup>
<b>Arena</b>	740 kg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** Sepulveda (2020).

Ya teniendo definido la cantidad de materiales para 1 m<sup>3</sup> podemos determinar la cantidad necesaria para elaborar 8 cilindros para M-1 por lo tanto se necesitarán 9.4 litros de agua, 47.12 kg de grava, 31 kg de arena y 19 kg de cemento, para los demás solo cambiará la cantidad de cemento respecto a la cal, donde se disminuirá en un 5% acumulable para las 5 mezclas restantes.

### **5.3. Elaboración de los cilindros**

Se inició el procedimiento de elaboración a partir de la selección y alistamiento de los materiales como el cemento, arena, triturado, óxido de calcio y agua; herramientas como carreta, pala, palustre, moldes cilíndricos de 15cm x 30cm, cono de Abrams, varilla lisa, balanza, aceite para hidratar las camisas y regla metálica.

- Proseguimos a el respectivo pesado de los componentes para elaborar los primeros 8 cilindros de lo que a partir de este momento denominaremos como M-1 la cual será nuestro concreto sin inclusión de óxido de calcio.



**Figura 24:** *Materiales Para La Elaboración De M-1.*

**Fuente:** Sepúlveda (2020).

- Realizamos el respectivo mezclado de los componentes en seco para posteriormente adicionar el agua hasta obtener una pasta con un mezclado uniforme y trabajable.



**Figura 25:** *Mezclado De Los Materiales De M-1.*

**Fuente:** Sepúlveda (2020).



- Antes de realizar el llenado de los cilindros medimos el asentamiento con el cono de Abrams para corroborar el cumplimiento de del asentamiento.



**Figura 26:** *Medición Del Asentamiento de M-1.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

- Procedemos a realizar el llenado como lo indica la norma NTC 673 de los cilindros en tres capas aproximadamente de 10 cm de espesor cada una de ellas y compactamos con 25 golpes por capa haciendo uso de la varilla lisa de 50 cm de longitud y a medida que lo llenamos golpeamos suavemente las paredes del molde para sacar el aire atrapado en la mezcla.





**Figura 27:** *Llenado De Los Cilindros.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).



**Figura 28:** *Cilindros Enrazados De M-1.*

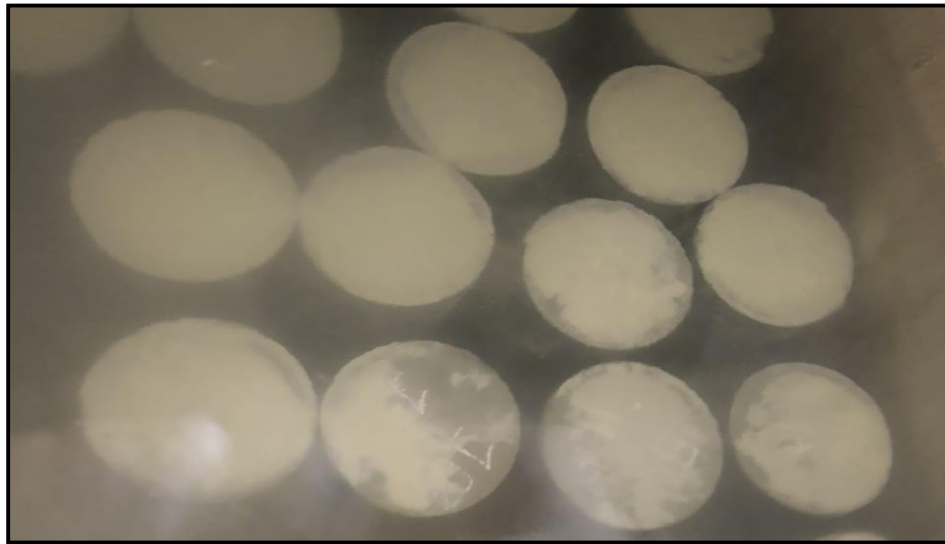
**Fuente:** Sepulveda (2020).

- Transcurridas 24 horas de elaborados los cilindros procedemos a retirar los moldes y sumergirlos completamente dentro del agua.



**Figura 29:** *Desencofrado De Los Cilindros M-1.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).



**Figura 30:** *Curado De Los Cilindros M-1.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

- Luego proseguimos a elaborar 8 cilindros con 5% de óxido de calcio los cuales denominaremos como M-2, los 8 cilindros con 10% de óxido de calcio serán M-3;

los 8 cilindros con inclusión de 15% de óxido de calcio van a ser M-4 y de los 16 restantes 8 serán M-5 con 20% de óxido de calcio y M-6 tendrá el 25% de óxido de calcio todos estos porcentajes serán determinados respecto al material cementante y medidos respecto al peso del mismo.



**Figura 31 :** Pesaje De Óxido De Calcio.



**Figura 32:** Adición De Oxido De Calcio.

**Fuente:** Sepulveda (2020).

- Luego realizamos el mismo procedimiento descrito anteriormente para completar así los 48 cilindros en total para ser sometidos al ensayo de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de elaborados.



## 5.4. Resultados obtenidos

### 5.4.1. Resultados del ensayo a compresión para M-1.

**Tabla 18:** Resultados de ensayo para M-1.

M-1 (Diseño Normal de resistencia esperada 21 MPa)								
Días	muestra	altura	Diámetro	Área	Carga	Resistencia	Prom	% Resistencia
7	1	0.3 m	0.149 m	0.0174 m <sup>2</sup>	163.9 KN	9.42 MPa	9.45 MPa	45%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	167.8 KN	9.48 MPa		
14	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	244.61 KN	13.82 MPa	13.86 MPa	66%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	246 KN	13.9 MPa		
21	1	0.3 m	0.149 m	0.0174 m <sup>2</sup>	344.6 KN	19.47 MPa	19.53 MPa	93%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	346.7 KN	19.59 MPa		
28	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	399.1 KN	22.55 MPa	22.68 MPa	108 %
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	403.7 KN	22.81 MPa		

**Fuente:** Sepulveda (2020).

### 5.4.2. Resultados del ensayo a compresión para M-2.

**Tabla 19:** Resultados de ensayo para M-2.

M-2 (Diseño con 5% de cal, resistencia de referencia 21 Mpa)								
Días	muestra	altura	Diámetro	Área	Carga	Resistencia	Prom	% Resistencia
7	1	0.3 m	0.149 m	0.0174 m <sup>2</sup>	156.77 KN	9.01 MPa	9.03 MPa	43%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	160.19 KN	9.05 MPa		
14	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	223.7 KN	12.65 MPa	12.6 MPa	60%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	222.13 KN	12.55 MPa		
21	1	0.3 m	0.149 m	0.0174 m <sup>2</sup>	322.6 KN	18.22 MPa	18.27 MPa	87%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	324.3 KN	18.32 MPa		
28	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	359.7 KN	20.32 MPa	20.37 MPa	97%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	361.4 KN	20.42 MPa		

### 5.4.3. Resultados del ensayo a compresión para M-3.

**Tabla 20:** Resultados de ensayo para M-3.

M-3 (Diseño con 10% de cal, resistencia de referencia 21 Mpa)								
Días	muestra	altura	Diámetro	Área	Carga	Resistencia	Prom	% Resistencia
7	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	129.21 KN	7.3 MPa	7.35 MPa	35%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	130.98 KN	7.4 MPa		
14	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	204.9 KN	11.58 MPa	11.55 MPa	55%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	203.9 KN	11.52 MPa		
21	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	255.4 KN	14.43 MPa	14.49 MPa	69%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	257.5 KN	14.55 MPa		
28	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	311.2 KN	17.58 MPa	17.64 MPa	84%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	313.3 KN	17.7 MPa		

Fuente: Sepulveda (2020).

### 5.4.4. Resultados del ensayo a compresión para M-4.

**Tabla 21:** Resultados de ensayo para M-4.

M-4 (Diseño con 15% de cal, resistencia de referencia 21 Mpa)								
Días	muestra	altura	Diámetro	Área	Carga	Resistencia	Prom	% Resistencia
7	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	146.91 KN	8.3 MPa	8.19 MPa	39%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	143.02 KN	8.08 MPa		
14	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	166.9 KN	9.43MPa	9.45 MPa	45%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	167.61 KN	9.47MPa		
21	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	212.4 KN	12 MPa	11.97 MPa	57%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	211.3 KN	11.94 MPa		
28	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	267.3 KN	15.1 MPa	15.3 MPa	73%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	274.4 KN	15.5 MPa		

Fuente: Sepulveda (2020).

#### 5.4.5. Resultados del ensayo a compresión para M-5.

**Tabla 22:** Resultados de ensayo para M-5.

M-5 (Diseño con 20% de cal, resistencia de referencia 21 Mpa)								
Días	muestra	altura	Diámetro	Área	Carga	Resistencia	Prom	% Resistencia
7	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	109.21 KN	6.17 MPa	6.15 MPa	31%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	108.5 KN	6.13 MPa		
14	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	143.37 KN	8.1 MPa	7.98 MPa	38%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	139.12 KN	7.86 MPa		
21	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	189.4 KN	10.77 MPa	10.7 MPa	51%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	188.2 KN	10.63 MPa		
28	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	243.2 KN	13.74 MPa	13.86 MPa	66%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	247.4 KN	13.98 MPa		

Fuente: Sepulveda (2020).

#### 5.4.6. Resultados del ensayo a compresión para M-6.

**Tabla 23:** Resultados de ensayo para M-6.

M-6 (Diseño con 25% de cal, resistencia de referencia 21 Mpa)								
Días	muestra	altura	Diámetro	Área	Carga	Resistencia	Prom	% Resistencia
7	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	100.8 KN	5.7 MPa	5.67 MPa	27%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	99.82 KN	5.64 MPa		
14	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	129.9 KN	7.34 MPa	7.35 MPa	35%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	130.27 KN	7.36 MPa		
21	1	0.3 m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	177.7 KN	10.04 MPa	10.08 MPa	48%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	179.1 KN	10.12 MPa		
28	1	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	210.5 KN	11.89 MPa	11.97 MPa	57%
	2	0.3m	0.15 m	0.0177 m <sup>2</sup>	213.3 KN	12.05 MPa		

Fuente: Sepulveda (2020).

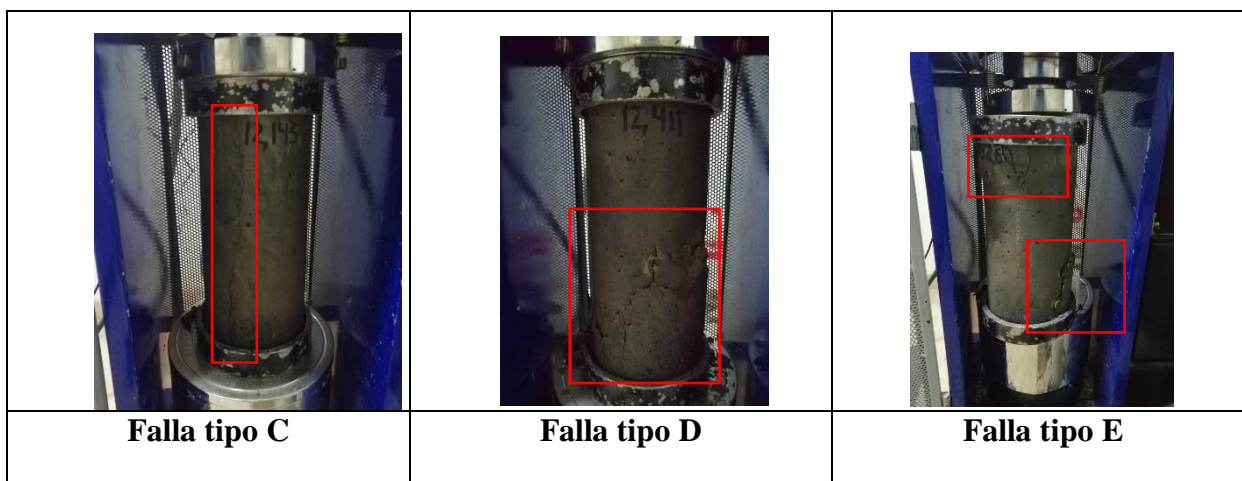
### 5.4.2. Tipos De Fallas Obtenidas Tras Someter Los Cilindros Al Ensayo De Compresión.

**Tabla 24:** tipos de fallas obtenidas.

Diseño	Tipos de fallas en los cilindros de concreto							
	7 Días		14 Días		21 Días		28 Días	
M-1	E	C	D	D	C	D	D	D
M-2	D	D	D	C	D	C	D	D
M-3	D	D	D	C	D	D	C	D
M-4	D	D	D	D	D	D	D	D
M-5	D	D	D	D	D	D	D	C
M-6	E	D	E	D	D	D	D	C

**Fuente:** Sepulveda (2020).

**Tabla 25:** Fallas Presentadas en los cilindros.



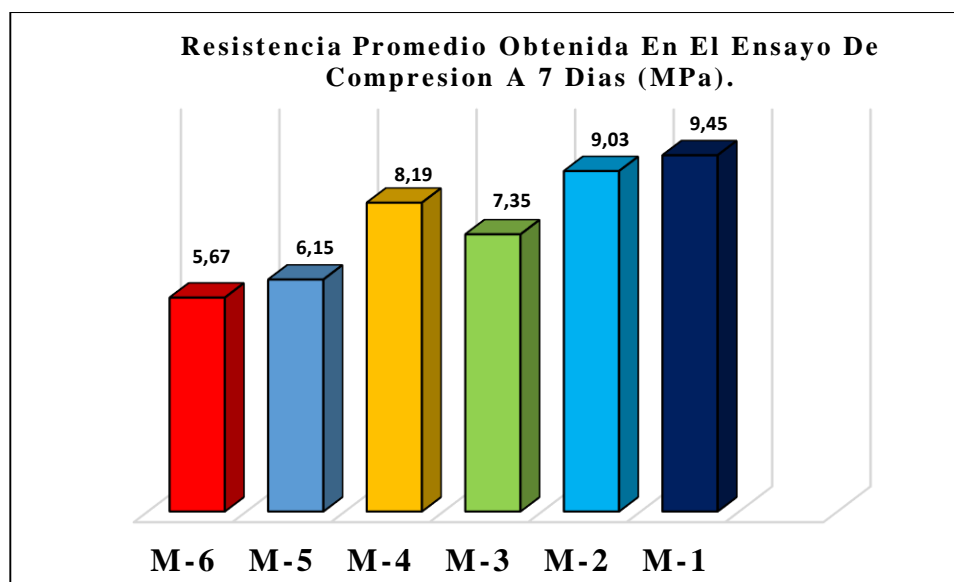
**Fuente:** Sepulveda (2020).

**NOTA:** las letras consignadas en la tabla anterior hacen referencia a los tipos de fallas que presentaron cada uno de los cilindros.

- A. **Falla tipo cono:** conos razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales de menos de 25 mm.
- B. **Falla tipo cono y rotura vertical:** conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, cono no bien definido.
- C. **Falla tipo columnar:** fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos.
- D. **Falla tipo corte:** fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos golpee suavemente con un martillo para distinguirla del Tipo A.
- E. **Falla tipo fractura de cara superior o inferior:** presenta fracturas en los lados en las partes superior o inferior se presenta en cabezales no adheridos.

## 6. Discusión De Resultados

A continuación, se muestran los diagramas de barras con los resultados obtenidos tras someter al ensayo de compresión los diferentes diseños de mezcla tras varios días de su elaboración.

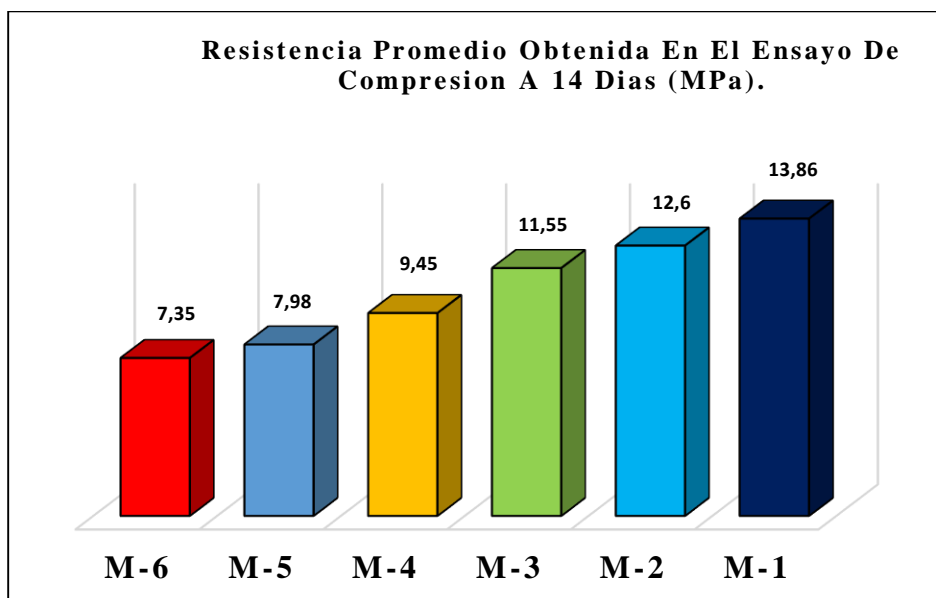


**Figura 33:** Grafico De La Resistencia obtenida a los 7 días.

**Fuente:** Sepulveda (2020).

En la figura 33 podemos observar los primeros resultados de la resistencia obtenida de los cilindros luego de 7 días de elaborados y sometidos al ensayo, encontramos la mayor resistencia en el diseño M-1, que corresponde a la mezcla normal la cual ha desarrollado una resistencia de 9,45 MPa que corresponde al 45% de la resistencia esperada a los 28 días que para el caso es de 21 MPa. Los demás diseños presentan resistencias de 43%, 35%, 39%, 31% y 27%. A esta edad no podemos aun pronosticar ni predecir el futuro desempeño de los especímenes.

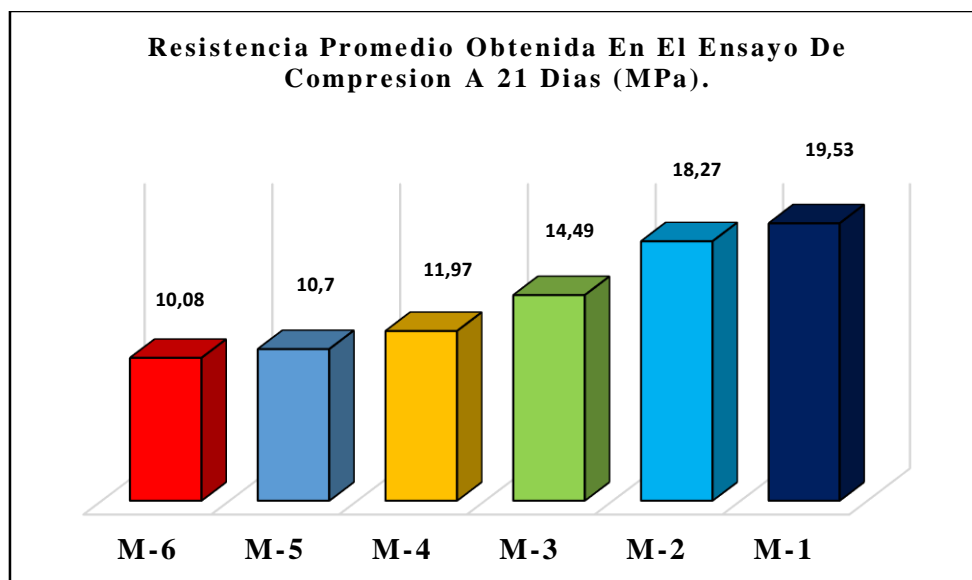




**Figura 34:** Grafico De La Resistencia obtenida a los 14 días.

**Fuente:** Sepulveda (2020).

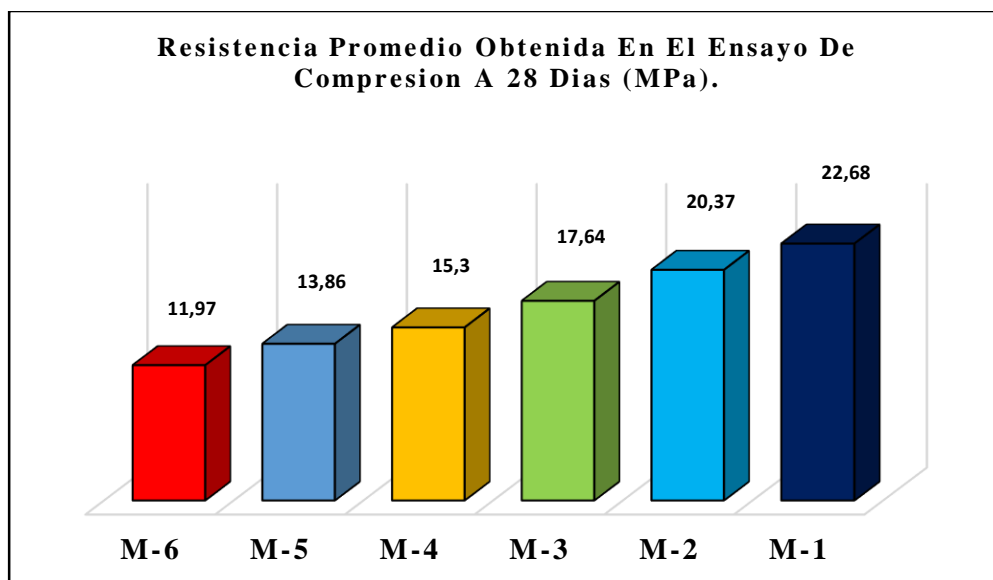
La grafica de la figura 34 nos muestra la resistencia obtenida luego de someter los cilindros a compresión 14 días después de elaborados, ya a este tiempo observamos que la ganancia de resistencia es significativa para el diseño M-1 que ha resistido una carga de 13,86 MPa correspondiente al 66% de lo esperado, M-2 ha resistido una carga de 12,6 MPa correspondiente al 60% de lo esperado, M-3 ha resistido una carga de 11,55 MPa correspondiente al 55% de lo esperado, M-4 ha resistido una carga de 9,45 MPa correspondiente al 45% de lo esperado, pero notamos además que los diseños M-5 y M-6 no han tenido un aumento de resistencia significativo por lo que es muy poco probable que su implementación sea viable ya que su resistencia solo indica un 38% y un 35% de lo esperado.



**Figura 35:** Grafico De La Resistencia obtenida a los 21 días.

**Fuente:** Sepulveda (2020).

Con la visualización del grafico de la figura 35 y junto con la experiencia del laboratorista y mirando resultados de ensayos a compresión ya realizados se descarta la viabilidad de los diseños M-3, M-4, M-5 Y M-6 ya que a este tiempo los diseños de mezcla por lo general tienden a tener una resistencia como mínimo del 80% de la resistencia esperada, centramos entonces nuestro análisis en el diseño M-2 el cual tiene un 5% de óxido de calcio y ya ha adquirido un 87% de lo esperado mientras que M-1 ha logrado un 93% de la resistencia indicando una alta probabilidad a que se obtenga la resistencia igual o superior a los 21 MPa lo cual indicaría que nuestro diseño de mezcla aplicado fue el adecuado..



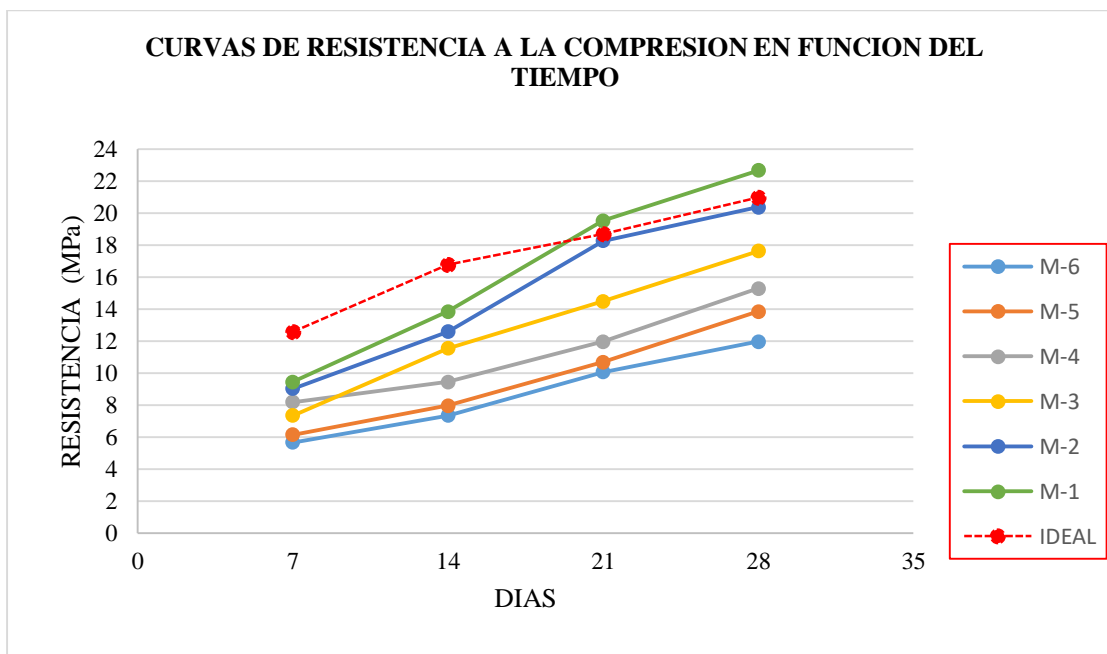
**Figura 36:** *Grafico De La Resistencia obtenida a los 28 días.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

Final mente en la gráfica de la figura 36 podemos observar los datos más importantes o representativos del ensayo de resistencia a compresión, son los valores de resistencia desarrollada a los 28 días por cada uno de los diseños de mezcla elaborados.

Como era de esperar nuestro diseño M-1 logro desarrollar una resistencia de 22,68 MPa sobrepasando en un 8% el valor admisible esperado de 21 MPa.

El diseño M-2 alcanzó un valor de 20,37 MPa que corresponde a un 97% de la resistencia esperada, de ahí en adelante la resistencia desciende significativamente, M-3 ha resistido una carga de 17,64 MPa correspondiente al 84% de lo esperado, M-4 ha resistido una carga de 15,3 MPa correspondiente al 73% de lo esperado, M-5 ha resistido una carga de 13,86 MPa correspondiente al 66% de lo esperado, M-6 ha resistido una carga de 11,97 MPa correspondiente al 57% de lo esperado.

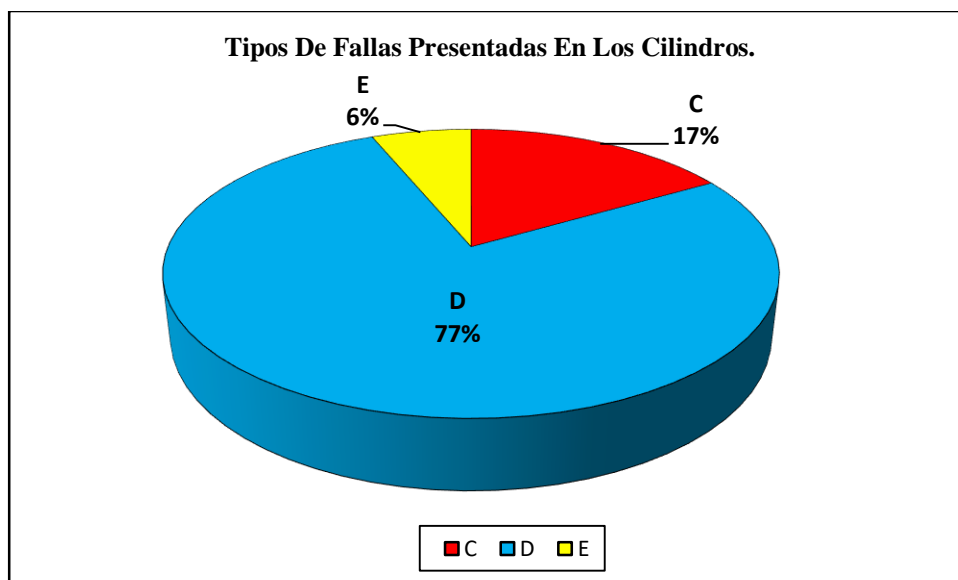


**Figura 37:** *Curvas De Resistencia Vs Tiempo.*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

La grafica nos muestra el aumento progresivo de la resistencia de los diseños elaborados, apreciamos que nuestro diseño normal M-1 desarrolló la mayor resistencia por lo que podemos decir que el diseño de la mezcla fue el óptimo, podemos deducir que el mejor comportamiento lo desarrolla la mezcla M-2 la cual posee una inclusión de óxido de calcio del 5% pero no logra alcanzar la resistencia deseada a los 28 días ya que presenta un déficit del 3%.

observamos además que inicial mente el diseño M-4 presento mayor ganancia de resistencia que el diseño M-3 pero no logro ser significativo debido a que siguió la tendencia de disminuir su resistencia debido a que presentaba mayor porcentaje de óxido de calcio.



**Figura 38:** *Tipos De Fallas Presentadas En El Total De las Muestras .*

**Fuente:** Sepulveda (2020).

La gráfica de la figura 37 nos muestra que un 6% de los cilindros sometidos a compresión se les asigna la falla tipo E, los cuales presentaron fracturación de sus caras debido a cabezales no adheridos, este 6% corresponde específicamente a 3 de los 48 cilindros elaborados, el mayor porcentaje se le asigna a la falla tipo D, indicándonos que el 77% de las muestras presentaron una falla tipo corte, este porcentaje hace referencia a 37 de los 48 cilindros elaborados y sometidos a la carga, los 8 cilindros restantes presentaron una falla tipo C por lo tanto se observó una falla columnar y les corresponde un 17% del total de muestras elaboradas.

## Conclusiones

El agregado fino utilizado es origen natural extraído del río servita de manera artesanal por pobladores que habitan de la rivera del afluente en jurisdicción de los municipios de Enciso, San José de Miranda y Capitanejo todos estos pertenecientes al departamento de Santander y nos arrojó según la clasificación S.U.C.S que corresponde a una arena pobremente gradada, por lo tanto le corresponde la asignación de las letras “ S P ” mientras que en la clasificación A.A.S.H.T.O corresponde al grupo A-1b que hace referencia a que es una arena de granulometría media de permeabilidad alta, elasticidad deficiente con grandes rendimientos en el uso de bases para pavimentos para sub bases y terraplenes.

El agregado grueso es extraído del río servita y sometido a trituración para reducir el tamaño de sus partículas en el municipio de capitanejo en el sector de la palmera, al clasificar este material por medio de la clasificación S.U.C.S se le asigna la nomenclatura “GP” que hace referencia a una grava pobremente gradada y por el método A.A.S.H.T.O la nomenclatura correspondiente es la A-1<sup>a</sup> que corresponde a un agregado compuesto por fragmentos de piedra, arena y pedregullo según la tabla de aplicación de Roadtec.

Según la clasificación obtenida de los agregados se observa que estos no presentan una buena gradación o una distribución uniforme de sus partículas, cabe hacer la aclaración que son materiales predominantes en la zona y utilizados en su gran mayoría en las obras que se desarrollan en la provincia, debido a esto surge preocupación en cuanto a su desempeño en cada

uno de los usos que les son dados, debido a que si no se realiza un buen diseño de mezcla es muy poco probable que estén cumpliendo las especificaciones técnicas que exige la norma en cuanto a resistencia.

Se deduce que la mayor cantidad de fallas tipo D o tipo corte se presentaron en los diseños en los que se incluyó el óxido de calcio ya que del 100% de este tipo de cilindros el 80% presentaron esta falla, mientras que la falla por fracturación en sus caras solo se presentó en 3 cilindros correspondiente al 6% del total de todos los especímenes elaborados.

Se logró observar que en los diseños de mezcla que tienen inclusiones mayores al 5% de óxido de calcio presentan un menor desarrollo de resistencia a compresión a 7, 14, 21 y 28 días, comportándose de una manera inversamente proporcional las variables de porcentaje de óxido de calcio vs resistencia y por lo tanto no cumplen las expectativas y es muy poco recomendable realizar este tipo de diseños.

El diseño de mezcla M-2 se incluyó un 5% de óxido de calcio y se pudo comprobar que desarrollo una resistencia del 97% de la esperada, por ende, la implementación de porcentajes inferiores a este junto con agregados mejor gradados puede dar como resultado diseños con resistencias ideales a los 28 días.

## Recomendaciones

En la presente investigación debido a la emergencia sanitaria presentada a nivel mundial por el COVID-19, se presentaron limitaciones para el caso de las mediciones de deformaciones longitudinales y transversales en cada uno de los cilindros ensayados, ya que el laboratorio de la zona no contaba con estos equipos, por ende, para futuras investigaciones se recomienda tener presente dichos factores.

Se recomienda centrar las futuras investigaciones con inclusión de óxido de calcio a que analicen directamente el comportamiento de la mezcla incluyendo porcentajes inferiores al 5% respecto al cemento ya que los resultados obtenidos nos muestran que la inclusión del óxido de calcio producido en la zona puede llegar a ser viable, pero en pequeños porcentajes realizando un previo análisis a los agregados a utilizar y dependiendo también del tipo de estructura en la que se va a incursionar.

Se recomienda hacer una investigación en cuanto a la viabilidad de incursionar óxido de calcio en la fabricación de mortero para recubrimientos y acabados ya que se podría obtener buenos resultados en cuanto a su desempeño analizando sus propiedades resultantes y sus costos de producción.

Teniendo en cuenta que la producción artesana de óxido de calcio en el municipio de Málaga genera más de 50 empleos directos y alrededor de 50 indirectos se recomienda a las



autoridades municipales brindar un mejor acompañamiento y asesoría para lograr formalizar esta actividad ya que los productores manifiestan que tienen que cumplir una serie de requisitos de los cuales no tienen claridad de como cumplirlos o a dónde acudir para gestionarlos.

## Bibliografía

- Asocreto. (2010). *Tecnología del Concreto*. Bogota: Nomos Impresores.
- Canovas, M. (1997). *Patología Y Terapeutica Del Hormigon Armado*. Madrid: Editorial Dossat.
- Durand, A. (2017). *Influencia Del Oxido De Calcio En La Trabajabilidad, Fraguado, Curado Y Absorcion Del Concreto Para Elementos Estructurales*. Trujillo.
- Galicia, M., & Velasquez, M. (2016). *Analisis comparativo de la resistencia a la compresion de un concreto con cenizas de maiz con respecto a un concreto patron de 210 kg/cm2*. Cusco: universidad Andina de Cusco.
- Galvan, V. (2011). Cal, un antiguo material como una renovada opción para la construcción. *SciELO*, 1-6.
- Giraldo, O. (2003). *Manual de Agregados para Hormigon*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Gonzales, S., & Ticona, K. (2016). *Evaluacion De La Influencia De La Granulometria De Piedra Caliza, Tiempo De Residencia Y Temperatura De Calcinacion Para Mejorar El Rendimiento De Oxido De Calcio*. Arequipa.
- Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto. (2006). *El Concreto En La Obra Problemas,Causas Y Soluciones*. Ciudad de Mexico.
- Ramirez, F. A. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal*. Malaga.

Reyes, J., & Rodriguez, y. (2010). *Analisis de la Resistencia a la Compresion del Concreto al Adicionar Limalla Fina en un 3, 4 y 5% Respecto al Peso de la Mezcla*. Bucaramanga : Universidad Pontificia Bolivariana .

Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*. Popayan: Universidad del Cauca.

Torre, A. (2004). *Curso Basico De Tecnologia Del Concreto Para Ingenieros Civiles*. lima, Peru.