



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS  
DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis Profesional

**“Evaluación Física-Química-Mecánica de 5 arenas de la región de Puruándiro  
Michoacán México para su uso en concreto hidráulico”**

Que para obtener el título de:  
**INGENIERO CIVIL**

Presenta:  
**ALFONSO DÍAZ PICHARDO**

Asesor:  
**DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN**

Coasesores:  
**ING. MARCO ANTONIO MONDRAGÓN ORNELAS**  
**ING. NOEL DÍAZ GONZÁLEZ**

Morelia, Michoacán, Julio de 2013



## RESUMEN

En la región de Puruándiro Michoacán México, existen varios bancos de material de tipo volcánico que ofrecen arena para construcción, algunos de ellos ya tienen mucho tiempo extrayendo material y algunos otros son relativamente recientes pero lo que todos estos bancos tienen en común es que ninguno de ellos tiene un estudio de caracterización del material para conocer exactamente la calidad de la arena que ofrecen.

El objetivo de este trabajo de tesis fue hacer una evaluación física-química-mecánica de 5 arenas provenientes de bancos de la región de Puruándiro, los cuales se denominan: Sta. Clara (N), Sta. Clara (R.), Chamacuero, El Armadillo y Janamuato con la finalidad de conocer cuál de ellas es la mejor opción para fabricar concreto hidráulico

Se recolectaron muestras representativas de cada arena directamente de cada banco y una vez en el laboratorio el material se cuarteó y se aplicaron pruebas físicas como son: Pesos volumétricos seco suelto y seco varillado, porcentaje de absorción en agua a temperatura ambiente, densidad, granulometría, colorimetría y equivalente de arena. Los resultados de las 5 arenas a dichas pruebas se compararon con lo especificado de acuerdo a la normativa vigente. Las arenas se caracterizaron con fluorescencia de rayos x y análisis en partes por millón para conocer su composición química y su clasificación geológica, y saber cómo reaccionan químicamente con el cemento y con agentes del medio ambiente, finalmente se evaluaron las propiedades mecánicas. Se elaboraron especímenes (cilindros de 10cmØ x 20cmh y prismas de 15cm x 15cm x 60cm), para los cuales se realizó el diseño del concreto con el método del ACI, los cilindros se probaron para evaluar los esfuerzos a compresión, tensión indirecta, resistividad, velocidad de pulso y resonancia magnética, las vigas se probaron para conocer la resistencia a flexión del concreto que es el índice de diseño de los pavimentos rígidos, todas las pruebas mecánicas antes mencionadas que se realizaron a los especímenes, se evaluaron a diferentes edades (7, 14, 28, 70 y 110 días) esto con la finalidad de conocer el comportamiento y el incremento de resistencia de los especímenes con el tiempo.

**Palabras Clave:** Evaluación Física-Química-Mecánica, Arena, Concreto.

## ABSTRACT

In the region of Puruándiro Michoacán Mexico, exist several places of volcanic material that provide sand for construction, some of them have more time extracting material and some are relatively new, but what all these banks have in common is that none of them have a material characterization study to know exactly the sand quality offered.

The main goal of this thesis work is to make a chemical-physical and mechanical evaluation of five sands from different banks from Puruándiro, which are called: Santa Clara (N), Santa Clara (R.), Chamacuero, “El Armadillo” and Janamuato in order to know which one is the best choice for manufacturing hydraulic concrete.

Representative samples of sand were collected from each bank and once in the laboratory the material was cracked and applied physical tests such as: loose dry weights and dry volumetric rodding, percentage of absorption in a regular environment, density, size of grains, colorimetry and sand equivalent. The results of the five sands were compared to those tests as specified in accordance with current regulations. The sands were characterized by x-ray fluorescence analysis in parts per million to know its chemical composition and geological classification, and know how they react chemically with the cement and environmental agents, finally mechanical properties were evaluated. Specimens were prepared (cylinders of 10cm Ø x 20cmh and prisms of 15cm x15cm x 60cm). The concrete was designed by the method of ACI, the cylinders were tested to evaluate compression efforts, indirect tension, resistivity, pulse rate and magnetic resonance imaging (MRI), the beams were tested to know the resistance to flexion of the concrete, that's represented the design index of rigid pavements, all the mechanic tests that was made to the specimens were evaluated in different ages (7,14,28,70 and 110 days) with the finality of know the behavior and increase of the resistance of the specimens over time.

Keywords: Mechanical-Physical and Chemical Evaluations, Sand, Concrete.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE.....	III
<b>CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación del tema.....	2
1.3 Objetivo general.....	2
1.3.1Objetivos particulares.....	3
1.4 Localización geográfica del estado de Michoacán.....	3
1.4.1 Ubicación del municipio de Puruándiro.....	4
1.4.2 Localidades del municipio.....	5
1.4.3 Ubicación de los bancos de material en estudio.....	5
<b>CAPITULO 2.- DISEÑO DE MEZCLAS.....</b>	<b>11</b>
2.1 Cemento.....	11
2.1.1 Proceso de fabricación del cemento.....	11
2.1.2 Tipos de cemento.....	13
2.2 Agua.....	16
2.2.1 Agua para concreto.....	17
2.2.2 Agua para el curado de concreto.....	19
2.3 Agregados Pétreos.....	19
2.3.1 Agregado fino (arena).....	20
2.3.2 Agregado grueso (grava).....	21
2.4 Métodos de diseño de concreto.....	21
2.4 1 Método de las curvas de Abrams.....	21
2.4.2 Método del ACI.....	30
2.4.3 Calculo de los proporcionamientos utilizados.....	35
<b>CAPITULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Pruebas.....</b>	<b>45</b>
3.1.1 Muestreo de arenas.....	45

3.1.2 Cuarteo en arena.....	46
3.1.3 Humedad actual en arenas.....	47
3.1.4 Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.....	49
3.1.5 Densidad de la arena.....	50
3.1.6 Determinación del peso volumétrico seco suelto de una arena (P.V.S.S).....	52
3.1.7 Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (P.V.S.V.).....	53
3.1.8 Granulometría o análisis granulométrico en arena.....	54
3.1.9 Prueba de colorimetría en arena.....	56
3.1.10 Prueba de equivalente de arena.....	57
3.1.11 Muestreo de grava.....	58
3.1.12 Cuarteo en gravas.....	59
3.1.13 Humedad actual en gravas.....	60
3.1.14 Humedad de absorción en gravas.....	61
3.1.15 Densidad en gravas.....	62
3.1.16 Determinación del peso volumétrico seco suelto en gravas (P.V.S.S.).....	64
3.1.17 Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (P.V.S.V.).....	65
3.1.18 Granulometría en gravas.....	66
<b>3.2 Especímenes.....</b>	<b>67</b>
3.2.1 Revenimiento del concreto.....	67
3.2.2 Elaboración de cilindros de concreto.....	69
3.2.3 Elaboración de vigas de concreto.....	70
3.2.4 Curado de los especímenes.....	71
3.2.5 Velocidad de pulso ultrasónico.....	72
3.2.6 Resistividad eléctrica.....	74
3.2.7 Frecuencia de resonancia magnética.....	76
3.2.8 Determinación de la resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto.....	77
3.2.9 Determinación de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto.....	78
3.2.10 Determinación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto.....	80
<b>CAPITULO 4.- RESULTADOS.....</b>	<b>83</b>
4.1 Caracterización física de los materiales.....	83
4.2 Caracterización química de los materiales.....	89
4.3 Pruebas no destructivas.....	90
4.4 Evaluación mecánica de los especímenes.....	106
4.4.1 Resistencia a la compresión simple.....	106
4.4.2 Resistencia a la tensión indirecta en cilindros de concreto.....	115
4.4.3 Resistencia a la flexión en vigas de concreto.....	122
<b>5.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>130</b>
<b>6.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>134</b>
<b>7.- BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>135</b>

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción

El concreto que gracias a sus características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía se ha convertido en el material de construcción más utilizado en el mundo, se puede definir como una piedra artificial formada por cemento portland, agregados, agua y aire.[1]

En los inicios de las civilizaciones humanas el concreto surge por la necesidad del ser humano de edificar o construir espacios habitables que le sirvieran para desarrollar sus actividades producto de su desarrollo. Se tienen hallazgos de que el primer concreto se ubica en la época de los romanos quienes utilizaron cal y puzolanas para cementar piedras de diferentes tamaños así como para incrementar la dureza de algunos suelos.

El concreto tal cual como lo conocemos se remonta a 1824 año en que el constructor Joseph Aspdin patentó el cemento portland el cual es el componente principal del concreto en nuestra era. [1]

En la construcción es muy común encontrar concretos de mala calidad, de consistencia acuosa, los cuales están conformados por una mezcla simple de cemento, agregados y agua, exactamente los mismos materiales con los cuales se fabricaría un concreto de buena calidad, lo cual muestra la importancia que se debe prestar a la dosificación y fabricación de un concreto en obra, sin embargo si se consigue concreto premezclado de buena calidad, elaborado en una planta especializada, estamos garantizando que la materia prima de nuestra construcción cumple con ciertas características, pero va a depender del cimbrado, colocación, vibrado y curado del concreto para garantizar una buena calidad del elemento y de la construcción en general.[2]

En la presente investigación se realizó una evaluación físico-química-mecánica de 5 muestras de arena de origen volcánico de la región de Puruándiro Michoacán, para conocer si estas son apropiadas para fabricar concreto hidráulico y comprobar que el concreto fabricado con las mismas cumple satisfactoriamente con los requerimientos mecánicos para los cuales fueron diseñados. Esto con la finalidad de dar a conocer a los constructores del municipio la mejor opción en cuanto a las arenas que se extraen y la elaboración de concreto hidráulico.

Primeramente se realizó una evaluación física de las arenas para conocer sus propiedades y así poder establecer si estas cumplen con lo especificado en normas. Se realizó la caracterización por medio de fluorescencia de rayos x y partes por millón, esto con la finalidad de conocer la composición química de las arenas y su clasificación geológica.

Para garantizar la objetividad de esta evaluación, se colaron especímenes de concreto para las 5 muestras de arena en donde la única variable en las diferentes mezclas fue la misma arena. Cabe mencionar que el método de diseño utilizado para el proporcionamiento de concreto de las diferentes mezclas fue el método del ACI (American Concrete Institute) con

el cual se diseñó un concreto simple para una resistencia de un  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  con un revenimiento de 12 cm.

Se elaboraron especímenes cilíndricos de 10 cm de  $\emptyset$  por 20 cm de altura para evaluar los esfuerzos a compresión y tensión indirecta, además de prismas de 15 cm de ancho por 15 cm de peralte por 60 cm de longitud para evaluar los esfuerzos a flexión, todos los especímenes cilíndricos también se evaluaron mediante pruebas no destructivas con las cuales se evaluó velocidad de pulso, resistividad eléctrica y resonancia magnética.

## **1.2 Justificación del tema**

Las arenas que se extraen en la región de Puruándiro son utilizadas en la mayoría de la obras que se realizan en el municipio y sus alrededores y sin importar la magnitud e importancia de la obra, los constructores deben estar seguros que la arena que están utilizando para fabricar sus concretos cumpla cabalmente con las resistencias de diseño. Pero esto se complica ya que nadie sabe con exactitud las características de cada arena por lo tanto se genera un gran dilema, ya que no se puede hacer un buen diseño de concreto con algún método existente y no se sabe cuál arena utilizar y en qué cantidades proporcionar el concreto, esta incertidumbre obliga a los constructores a utilizar una mayor cantidad de cemento por metro cubico de concreto para garantizar que se está cumpliendo con las resistencias deseadas, esta solución genera un significativo sobre costo por metro cubico de concreto.

Un buen concreto no se clasifica solo por su resistencia a la compresión, también se debe de tener en cuenta su comportamiento a flexión, tensión indirecta, Permeabilidad y durabilidad, además de su consistencia, fluidez, manejo y colocación cuando se encuentra fresco. Por lo tanto la cantidad de cemento empleada por metro cubico no lo es todo para satisfacer cierta calidad deseada en un concreto, es necesario proporcionar adecuadamente las cantidades de agregados pétreos y su relación entre ambos (Relación Grava/Arena) y respetar la relación Agua/Cemento calculada por el método utilizado.[2]

Por todo lo antes mencionado y con la finalidad de resolver los problemas e incertidumbres de los constructores de la región de Puruándiro Michoacán a la hora de fabricar concreto hidráulico, se hace necesaria una evaluación física-química-mecánica de las arenas que se ofrecen en la región para fabricar concreto hidráulico. Y de esta manera dar a conocer cual o cuales arenas son recomendables y cuáles no, además de brindar datos prácticos de proporcionamientos de concreto para varias resistencias ( $f'c$ ) utilizando las diferentes arenas en estudio.

## **1.3 Objetivo general.**

El objetivo general de este trabajo es realizar un estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de 5 arenas de origen volcánico que se ofrecen en la región de

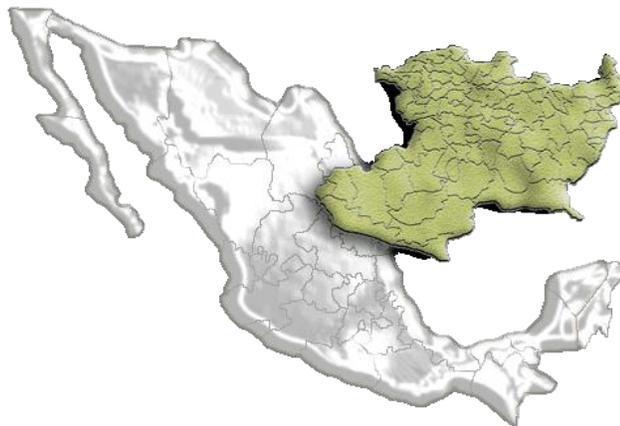
Puruándiro, Michoacán con el fin de diseñar proporcionamientos que den como resultado un concreto hidráulico con mejores características mecánicas, además de conocer las substitutiones posibles de arena en el concreto para que este sea resistente, durable y lo más económico posible.

### **1.3.1 Objetivos particulares.**

- 1.- Evaluar 5 arenas de la región de Puruándiro Michoacán para conocer cuál de ellas es mejor para fabricar concreto hidráulico
- 2.- Brindar una solución a la problemática de los constructores a la hora de elegir la mejor arena para sus obras.
- 3.- Encontrar o recomendar posibles usos adicionales para las arenas que no cumplan las especificaciones para construir concreto hidráulico estructural.
- 3.- Crear un manual de proporcionamientos prácticos de diseño de concreto para varias resistencias, utilizando las diferentes arenas en estudio.
- 4.- Crear una investigación clara y concisa que sirva como guía para futuros tesisistas o personas en general del ramo de la construcción, que quieran realizar un estudio de caracterización de agregado fino (arena), sin importar el tipo o la región de donde provenga.

### **1.4 Localización geográfica del estado de Michoacán.**

El Estado de Michoacán se localiza en la región Centro Occidente de la República Mexicana; cuenta con una superficie de 59,864 km<sup>2</sup> de los cuales 213 km<sup>2</sup> son de litoral; tiene una ubicación privilegiada que le permite tener acceso al 50% del mercado nacional en un radio de tan solo 300km, lo cual le otorga una ventaja competitiva única en el área comercial.[3]



**Colindancia:**

- **Norte:** Estados de Guanajuato y Jalisco.
- **Sur:** Estado de Guerrero y el Océano Pacífico.
- **Este:** Estados de México y Guerrero.
- **Oeste:** Estados de Colima y Jalisco.
- **Noroeste:** Estado de Querétaro

*Figura.1.1 Mapa de la ubicación del estado de Michoacán en la República Mexicana*

### 1.4.1 Ubicación del municipio de Puruándiro.

La Ciudad de Puruándiro se sitúa en la parte norte de Michoacán en las coordenadas 20°05' de latitud norte y 101°31' de longitud oeste, a una altura de 1,890 metros sobre el nivel del mar. Ocupa una amplia planicie localizada a 33 kilómetros del Río Lerma y a 25 kilómetros del Río Angulo. Los separan de la capital michoacana 86 km hacia el noroeste y 392 km en la misma dirección, de la ciudad de México. Limita al norte con José Sixto Verduzco, al este con el Estado de Guanajuato, al sur con Jiménez y Morelos, y al oeste con Angamacutiro y Panindícuaro.

Su superficie es de 722.48 Km<sup>2</sup> y representa el 1.22 por ciento del Estado.[3]



*Figura 1.2 Mapa de la ubicación del Municipio de Puruándiro dentro del estado de Michoacán*

### 1.4.2 Localidades del municipio de

El municipio de Puruándiro es conformado por 44 localidades, las más importantes de acuerdo a su número de habitantes son la cabecera municipal con 45.12%, Villachuato con 4.83%, Galeana con 4.41% y Santa Clara con 3.4%.

En la siguiente tabla se muestra el total de localidades del municipio de acuerdo a su población, Marcando en color amarillo las localidades de interés para este estudio. [3]

Tabla 1.1 Localidades del municipio de Puruándiro en orden de acuerdo al número de habitantes

	Localidad	Población		Localidad	Población
1	Puruándiro	29144	23	La Hacienda de Ururuta	682
2	Villachuato	3120	24	Las Tortugas	636
3	Galeana	2849	25	San Miguel	578
4	Santa Clara	2241	26	San Pedro	531
5	Isaac Arriaga	1983	27	La Quemada	525
6	Janamuato	1763	28	Nuevo Progreso	489
7	Manuel Villalongín	1621	29	Sabino Buenavista	464
8	San Lorenzo	1543	30	La Cofradía	438
9	Las Ranas	1433	31	San José Otunguitiro	386
10	Janambo	1143	32	El Armadillo	354
11	Las Letras	1049	33	Piedras Anchas	342
12	La Excusa	937	34	El Granjenal	333
13	El Pilar	908	35	El Pueblito	303
14	Chamacuero	907	36	El Rodeo de las Rosas	296
15	San José del Reparó	898	37	El Rincón de Don Pedro	257
16	La Soledad de Santa Ana	863	38	La Higuera	235
17	La Barranca	838	39	La Quemadita	180
18	Batuecas	825	40	San Isidro de la Cuesta	127
19	Los Reyes	813	41	Galeana Tres	121
20	San Nicolás	793	42	Santa Teresa	60
21	Huatajo	743	43	El Fresno de Guadalupe	47
22	Sanguijuelas	704	44	Nuevo Urén	44

### 1.4.3 Ubicación de los bancos de material en estudio

Las muestras de arena que se analizaron en este trabajo son 5, las cuales para su identificación se denominaron como se menciona a continuación.

- Santa Clara (negra).
- Santa Clara (roja).

- Chamacuero.
- El Armadillo.
- Janamuato.

Dichas muestras provienen de 4 bancos de material ya que las muestras de Sta. Clara (negra) y Sta. Clara (roja) Proviene de un solo banco, en el cual existen dos frentes de ataque.

Los bancos de material en estudio se ubican en las localidades de Santa Clara, Chamacuero, El Armadillo y Janamuato

#### a) Santa Clara

En la localidad de Santa Clara, municipio de Puruándiro Michoacán se ubican 2 de los bancos de material en estudio de los cuales se extraen las muestras denominadas Santa Clara (negra) y Santa Clara (roja).

Los bancos de material se ubican sobre el camino vecinal Santa Clara – Las Tortugas en el Km 02+000 justo en las coordenadas  $20^{\circ} 09'$  de latitud Norte y  $101^{\circ} 25'$  de longitud Oeste



Figura 1.3 Croquis de localización de los dos bancos ubicados en la localidad de Santa Clara, municipio de Puruándiro Michoacán



Figura 1.4 Vista Satelital de la Ubicación de los bancos 1 y 2 en la localidad de Santa Clara municipio de Puruándiro Michoacán.

#### b) Chamacuero

En la localidad de Chamacuero, municipio de Puruándiro Michoacán se ubica el banco de material “Chamacuero” el cual se ubica en el camino vecinal Santa Clara - Chamacuero por la desviación a la izquierda hacia la localidad de El Tejocote de Calera municipio de Yuriria Guanajuato. En las coordenadas  $20^{\circ}12'$  de latitud Norte y  $101^{\circ}24'$  de longitud Oeste.



Figura 1.5 Croquis de Localización del banco “Chamacuero” ubicado en la localidad de Chamacuero municipio de Puruándiro Michoacán.



Figura 1.6 Vista satelital del banco “Chamacuero” en la localidad de Chamacuero, municipio de Puruándiro Michoacán.

**c) El Armadillo**

En la localidad de El Armadillo Municipio de Puruándiro Michoacán se ubica el banco de material “El Armadillo”. En la carretera Puruándiro – El Armadillo en el km 5+500 por la desviación a la Izquierda que lleva a él Armadillo, justo en las coordenadas  $20^{\circ} 08'$  de latitud Norte y  $101^{\circ} 28'$  de longitud Oeste.



Figura 1.7 Croquis de localización del banco “El Armadillo” ubicado en la localidad de El Armadillo, Municipio de Puruándiro Michoacán.



Figura 1.8 Vista Satelital del banco “El Armadillo” en la localidad de El Armadillo. Municipio de Puruándiro Michoacán.

#### **d) Janamuato**

En la localidad de Janamuato Municipio de Puruándiro Michoacán se ubica el banco de material “Agregados y derivados de Puruándiro”. En la carretera Puruándiro – Angamacutiro en el km 7+000, por la desviación a la derecha justo frente a dicha localidad. En las coordenadas  $20^{\circ} 06'$  de latitud Norte y  $101^{\circ} 34'$  de longitud Oeste.

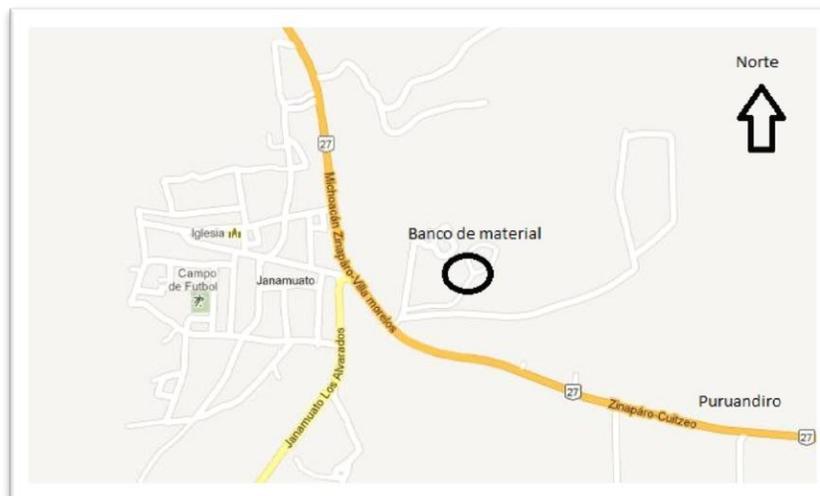


Figura 1.9 Croquis de localización del banco “Agregados y Derivados de Puruándiro” ubicado en la localidad de Janamuato, Municipio de Puruándiro Michoacán.



Figura 1.10 Vista satelital del banco “Agregados y Derivados de Puruándiro” ubicado en la localidad de Janamuato, Municipio de Puruándiro Michoacán.

## **CAPITULO 2. DISEÑO DE MEZCLAS**

Las propiedades requeridas en el concreto endurecido las especifica el proyectista y van de acuerdo a la importancia o función de la obra, las propiedades del concreto fresco quedan gobernadas por el tipo del elemento, el armado y técnicas de colado.

Para garantizar un concreto que cumpla con los dos tipos de propiedades antes mencionadas es importante determinar con extremo cuidado las cantidades óptimas de cemento portland, agregados pétreos y agua, además de la correcta selección de los ingredientes adecuados, ya que de esto dependerá la economía, resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto terminado.

Para esto existen varios métodos de diseño o proporcionamiento de concreto, como el método de las curvas de Abrams o el método del ACI los cuales se explicaran a detalle más adelante en el Capítulo 2 “Diseño de mezclas”.

### **2.1 Cemento**

El cemento es una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante hasta cierta finura determinada.

Los antiguos romanos fueron los primeros en utilizar el concreto basado en cemento hidráulico, este cemento tiene la propiedad de reaccionar con el agua para formar una pasta que endurece y además no sufre cambios químicos por la acción del agua en su vida posterior.

El cemento que conocemos y utilizamos hoy en día se conoce como cemento portland, este cemento fue patentado en 1824 por el constructor inglés Joseph aspdin y recibe el calificativo de portland porque después de endurecerse se asemejaba a la piedra caliza natural de la isla de Portland, cerca de la costa de Inglaterra. [2]

#### **2.1.1 Proceso de fabricación del cemento portland.**

El cemento portland se produce por la pulverización de Clinker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. El Clinker también contiene algunos aluminatos de calcio y ferro aluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso).

Los materiales para la fabricación del cemento portland deben seleccionarse y proporcionarse con extremo cuidado para garantizar una calidad alta y uniforme.

En las canteras se extraen las materias primas previamente seleccionadas, estas se transportan a la planta la cual generalmente se ubica cerca de la cantera esto con la finalidad de reducir costos. Una vez que las materias primas se encuentran en la planta, se trituran y se muelen hasta alcanzar un polvo. Este polvo se mezcla minuciosamente para obtener la composición química deseada. Lo que resulta de esta mezcla es una harina cruda de material calcáreo (carbonato de calcio), tal como la caliza y material arcilloso (sílice y alumina), tal como arcilla, pizarra (esquistos) o escoria de alto horno.

Se puede utilizar un proceso seco o un proceso húmedo. En el proceso seco la tritución, molienda y mezclado de las materias primas se realiza en ausencia de agua, al contrario del proceso húmedo en donde los materiales se mezclan con agua formando una lechada. Pero en general el resto del proceso de fabricación del cemento es muy similar.

Una vez que se tiene la harina cruda producto de las materias primas molidas, dosificadas y perfectamente mezcladas, esta ingresa por la parte superior a un horno cilíndrico rotatorio, pasa a lo largo de este a velocidad controlada y con temperaturas de 1400 °C a 1550 °C lo que provoca que el material crudo cambie químicamente convirtiéndolo en Clinker, pelotitas de color gris con tamaño predominante de canicas.

Después de esto el Clinker se enfría y pulveriza, durante este proceso se adiciona una pequeña cantidad de sulfato de calcio (yeso) para controlar los tiempos de fraguado.[5]

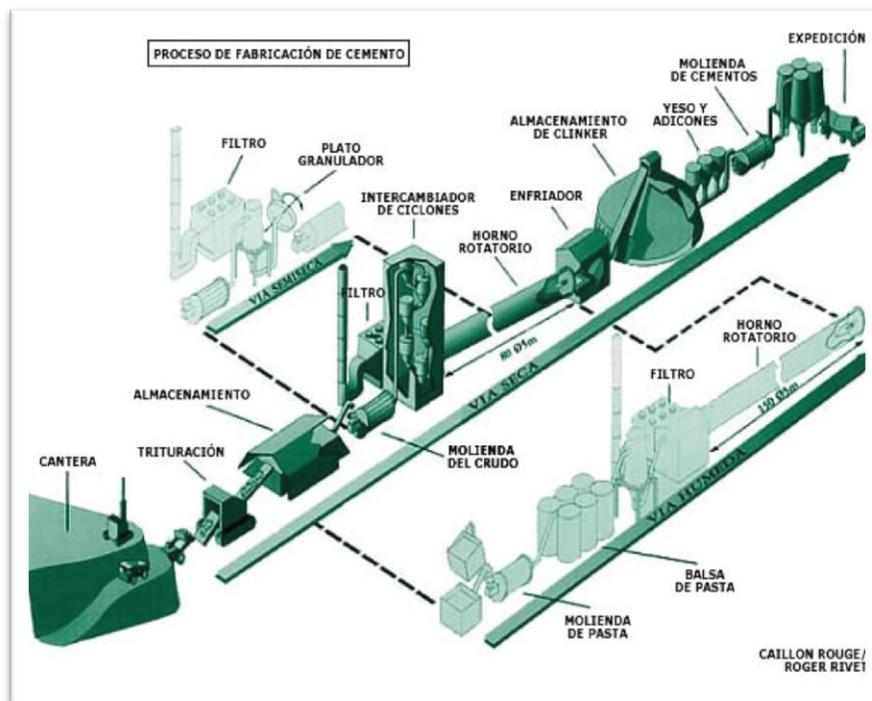


Figura 2.1 Esquema del proceso de fabricación de cemento portland. [6]

### 2.1.2 Tipos de cemento.

De acuerdo a la Norma ASTM C 150, se fabrican 8 tipos de cemento portland para satisfacer varios requisitos químicos, físicos y algunas aplicaciones específicas. A continuación se describen para conocer su función y usos.[5]

- **Tipo I** El cemento tipo I es un cemento para uso general apropiado para todos los usos en donde las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias.
- **Tipo II** El cemento se usa donde sean necesarias precauciones contra el ataque por sulfatos. Se lo puede utilizar en estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o aguas subterránea, donde la concentración de sulfatos se más alta de la normal pero no severa.
- **Tipo III** El cemento tipo III ofrece resistencia a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Este tipo de cemento es química y físicamente similar al cemento tipo I a excepción de que sus partículas se muelen más finamente. Es usado cuando se necesita remover la cimbra lo más rápido posible o cuando la estructura se va a poner en servicio rápidamente.
- **Tipo IV** El cemento tipo IV se usa donde se deban minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo tanto, este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cemento. Se puede usar el cemento tipo IV en estructuras de concreto masivo, tales como grandes presas por gravedad, donde la subida de temperatura derivada del calor generado durante el endurecimiento deba ser minimizada.
- **Tipo V** El cemento tipo V se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos principalmente donde el suelo y el agua subterránea tienen alta concentración de sulfatos. Su desarrollo de resistencia es más lento que en el cemento tipo I. La alta resistencia a los sulfatos del cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico, no excediendo a 5%. La Tabla xx trae la lista de las concentraciones de sulfatos que requieren el uso del cemento tipo V[5]

Tabla 2.1. Tipos de Cemento Requeridos para la Exposición del Concreto a los Sulfatos en Suelo o en Agua

Exposición a los sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO <sub>4</sub> ) en suelo, porcentaje de la masa	Sulfato (SO <sub>4</sub> ) en agua, ppm	Tipo del cemento**	Relación agua-material cementante máxima, en masa	Mínima resistencia a compresión de diseño, $f_c$ , kg/cm <sup>2</sup> (MPa) [lb/pulg <sup>2</sup> ]
Insignificante	Menos que 0.10	Menos de 150	Ningún tipo especial requerido	—	—
Moderado*	0.10 hasta 0.20	150 hasta 1500	II, MS, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	280 (28) [4000]
Severa	0.20 hasta 2.00	1500 hasta 10,000	V, HS	0.45	320 (31) [4500]
Muy severa	Más de 2.00	Más de 10,000	V, HS	0.40	350 (35) [5000]

\*Agua de mar.

\*\* También se pueden utilizar puzolanas o escorias que, a través de ensayos o registro de servicio, mostraron ser capaces de mejorar la resistencia a los sulfatos. Método de ensayo: Método para la determinación de la Cantidad de Sulfatos Solubles en el Suelo (Suelo o Rocas) y Muestras de Agua, Departamento de Recursos Hídricos Norteamericano (U.S. Bureau of Reclamation, 1977).

La Norma ASTM C 150 también contempla los tipos de cemento IA, IIA y IIIA, los cuales tienen las propiedades de los cementos tipo I, II y III respectivamente, pero además son inclusores de aire. Por ejemplo el cemento tipo IA queda definido como: cemento común con aire incluido.

La denominación de los cementos en México queda definida de acuerdo a la norma NMX-C-414-ONNCCE. En la cual se distinguen 6 tipos principales de cemento, los cuales se clasifican de acuerdo a su composición química, resistencia y características para usos especiales. A continuación en la tabla 2.2 se describen todos los tipos de cemento.[7]

Tabla 2.2 Tipos de cementos de acuerdo a la norma NMX-C-414-ONNCCE

TIPO	DENOMINACIÓN
CPO	Cemento portland ordinario
CPP	Cemento portland puzolánico
CPEG	Cemento portland con escoria granulada de alto horno
CPC	Cemento portland compuesto
CPS	Cemento portland con humo de sílice
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno

Descripción:

- CPO. Es el conglomerado producido a base de la molienda de Clinker portland y usualmente sulfato de calcio.
- CPP. Es el conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker portland, materiales puzolánicos y usualmente sulfato de calcio.
- CPEG. Es el conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker, escoria granulada de alto horno y usualmente sulfato de calcio.
- CPC. Es el conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker que usualmente contiene sulfato de calcio y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza. En el caso de la caliza este puede ser componente único.
- CPS. Es el conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker, humo de sílice y usualmente sulfato de calcio.

- CEG. Es el conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker y mayoritariamente escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.[7]

Los tipos de cemento descritos anteriormente, pueden presentar características especiales las cuales son:

Tabla 2.3. Características especiales de los cementos de acuerdo a la norma NMX-C-414-ONNCCE

NOMENCLATURA	CARACTERISTICAS ESPECIALES DE LOS CEMENTOS
RS	Resistencia a los sulfatos
BRA	Baja reactividad álcali-agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Blanco

En la tabla 2.4 que a continuación se presenta, queda definida la composición de los 6 tipos de cemento que esta norma contempla.

Tabla 2.4 Composición de los 6 tipos de cemento de acuerdo a la norma NMX-C-414-ONNCCE

TIPO	COMPONENTES					
	Clinker	Principales				
	Portland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos (3)	Humo de sílice	Caliza	Minoritarios (2)
CPO	95 – 100	-	-	-	-	0 - 5
CPP	50 – 94	-	6 – 50	-	-	0 - 5
CPEG	40 – 94	6 – 60	-	-	-	0 - 5
CPC <sup>(4)</sup>	50 – 94	6 – 65	6 – 35	1 – 10	6 – 35	0 - 5
CPS	90 – 99	-	-	1 – 10	-	0 - 5
CEG	20 - 39	61 - 80	-	-	-	0 - 5

Nota:

- 1) Los valores de la tabla representan el 1% en masa
- 2) Los componentes minoritarios deben ser uno más de los componentes, a menos que estén incluidos ya como tales en el cemento.
- 3) Los materiales puzolánicos incluyen: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes.
- 4) El cemento portland compuesto debe llevar como mínimo dos componentes principales, excepto cuando se adicione caliza, ya que esta puede ser en forma individual en conjunto con Clinker más yeso.

Los tipos de cemento también cumplen con características y especificaciones mecánicas físicas, como lo son:

- **Resistencia a la compresión:** Se mide a los 28 días y se tienen las clases resistentes de 20, 30 y 40
- **Resistencia inicial:** Es la resistencia mínima que a los 3 días debe cumplir el cemento, a este tipo de cemento se lo denomina agregándole la letra R y solo se tiene 30R y 40R.
- **Tiempos de fraguado:** Todos los tipos de cemento deben cumplir con lo establecido en la tabla 2.6
- **Estabilidad de volumen:** Todos los tipos de cemento deben cumplir con lo establecido en la tabla 2.6

Tabla 2.6 Características de resistencia y fraguado de acuerdo a la clase resistente de los cementos

Clase Resistente	Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )			Tiempo de fraguado		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	3 días	28 días		Inicial	Final	Expansión	Contracción
	Mínimo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Máximo	Máximo
20	-(*)	20	40	45	600	0.80	0.20
30	-(*)	30	50	45	600	0.80	0.20
30 R	20	30	50	45	600	0.80	0.20
40	-(*)	40	-	45	600	0.80	0.20
40 R	30	40	-	45	600	0.80	0.20

## 2.2 El Agua

El **agua** (del latín *aqua*) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.[8]

El agua es descrita muchas veces como el solvente universal, porque disuelve muchos de los compuestos conocidos. Sin embargo no llega a disolver todos los compuestos.

En términos químicos, el agua es un solvente eficaz porque permite disolver iones y moléculas polares. La inmensa mayoría de las sustancias pueden ser disueltas en agua. Cuando el agua es empleada como solvente se obtiene una disolución acuosa; por lo tanto, a la sustancia disuelta se la denomina soluto y al medio que la dispersa

se lo llama disolvente. En el proceso de disolución, las moléculas del agua se agrupan alrededor de los iones o moléculas de la sustancia para mantenerlas alejadas o dispersadas. Cuando un compuesto iónico se disuelve en agua, los extremos positivos (hidrógeno) de la molécula del agua son atraídos por los aniones que contienen iones con carga negativa, mientras que los extremos negativos (oxígeno) de la molécula son atraídos por los cationes que contienen iones con carga positiva. [8]

### **2.2.1 Agua para concreto.**

En muchas publicaciones queda establecido que el agua para el mezclado de concreto debe ser potable y con calidad similar al agua para beber. Este tipo de agua rara vez contendrá sólidos disueltos por sobre 2000 partes por millón (ppm) y por lo general menos de 1000 ppm. Si el contenido de sedimento en el agua es mayor a las 2000 ppm, esta agua podrá ser utilizada siempre y cuando permanezca en un depósito para permitir que los sólidos disueltos se sedimenten. El agua utilizada para el lavado de mezcladoras y herramientas es considerada buena para el mezclado de concreto, ya que los sólidos disueltos en ella son ingredientes adecuados para el concreto, siempre y cuando esta allí sido adecuada desde el principio. En la norma ASTM C 94-83, permite el uso de agua de lavado, pero, desde luego, los cementos y aditivos diferentes para las mezclas no deben revolveerse.[2]

El criterio de la potabilidad del agua no es absoluto para determinar si el agua es o no aceptable para mezclar concreto, ya que el agua para beber puede no ser adecuada para el concreto, esto cuando el agua tenga una alta concentración de sodio o potasio, por el peligro de una reacción álcali-agregado. [2]

La tabla 2.7 presenta las normas que tratan específicamente de la calidad del agua para el empleo en morteros y concretos. El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden marcar límites para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas, ya que algunas impurezas pueden tener efecto sobre la resistencia de fraguado y aún afectar la durabilidad y otras propiedades.[5]

Tabla 2.7 Normas aplicables para determinar la calidad del agua para morteros y concreto

PAÍS	NORMA	NOMBRE DE LA NORMA
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento Pórtland
Chile	NCh 1498.Of1982	Hormigón – Agua de amasado – Requisitos
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración del concreto
Ecuador	1 855-1:01	Hormigón premezclado: requisitos
	1 855-2:02	Hormigón preparado en obra: requisitos
EE.UU.	ASTM C 94	Standard specification for ready mixed concrete
Perú	NSTP 339.088-1982	Hormigón (concreto). Agua para morteros y hormigones de cementos Pórtland. Requisitos
México	NMX-C-122-82	Agua para concreto
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. Requisitos

Como se puede observar en la tabla 2.7, la norma que clasifica el agua para concreto en México es la (NMX-C-122). En dicha norma se hace una clasificación de los tipos de agua y sus efectos en el uso en concretos. Dicha clasificación se presenta en la tabla 2.8. [9]

Tabla 2.8 Clasificación del agua de acuerdo a la norma NMX-C-122

TIPO DE AGUA	EFFECTOS CON SU USO EN CONCRETO
Aguas puras	Acción disolvente e hidrolizaste de componentes cálcicos del concreto
Aguas ácidas naturales	Disolución rápida de los componentes del cemento
Aguas fuertemente salinas	Interrumpe las reacciones del fraguado de cemento. En el curado, disolución de los componentes cálcicos del concreto.
Aguas alcalinas	Produce acciones nocivas para cementos diferentes al aluminoso.
Aguas sulfatadas	Son agresivas para concretos fabricados con cemento Pórtland, en especial al tipo I.
Aguas cloruradas	Producen una alta solubilidad de cal. Producen disolución en los componentes del concreto.
Aguas magnesianas	Tienden a fijar la cal, formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble. En la mezcla, inhibe el proceso de fraguado del cemento.
Agua de mar	Produce eflorescencias. Incrementa la posibilidad de generar corrosión del acero de refuerzo.
Aguas recicladas	El concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos.
Aguas industriales	Por su contenido de iones sulfato, ataca cualquier tipo de cemento.
Aguas negras	Efectos impredecibles.

### **2.2.2 Agua para el curado del concreto.**

En general el agua que es adecuada para mezcla de concreto lo es también para el curado del mismo. Sin embargo, el hierro y la materia orgánica pueden ocasionar manchas, especialmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora con rapidez. En algunos casos la decoloración es insignificante y cualquier agua adecuada para mezcla, incluso de calidad ligeramente menor, es adecuada para el curado. Pero es esencial que esté libre de sustancias que ataquen al concreto endurecido, por ejemplo el CO<sub>2</sub> libre. También es importante evitar el curado con agua de mar, ya que esta puede atacar el refuerzo.[2]

### **2.3 Agregados pétreos.**

La calidad del agregado es de suma importancia, ya que le corresponden aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto. El agregado no solo puede limitar la resistencia del concreto, sino que sus propiedades pueden afectar enormemente su durabilidad y desempeño.

En un principio, al agregado se le consideró un material inerte, no costoso, disperso en la pasta de cemento para producir un gran volumen de concreto. En realidad, el agregado no es inerte, pues sus propiedades físicas, térmicas y, en ocasiones químicas, pueden influir en el desempeño del concreto, por ejemplo, mejorando su durabilidad y estabilidad de volumen sobre los de la pasta de cemento. Desde el punto de vista económico, es ventajoso emplear una mezcla con el mayor contenido posible de agregado y el menor posible de cemento, aunque el costo debe balancearse con las propiedades deseadas del concreto en estado fresco y endurecido.

Los agregados naturales se forman por procesos climáticos y abrasivos, o por molido artificial de una gran masa del material de origen. Muchas características del agregado dependerán de las propiedades de la roca original, como lo es la composición química y mineral, la clasificación petrográfica, la gravedad específica, la dureza, la resistencia, la estabilidad química y física, la estructura de poro, el color, etc. Además, el agregado el agregado tiene otras propiedades diferentes de las de la roca original: forma y tamaño de la partícula, textura de superficie y absorción; las cuales pueden influir considerablemente en la calidad del concreto fresco o fraguado.

Aun cuando se conocen todas estas propiedades, es difícil definir lo que es un buen agregado para concreto. Un agregado cuyas propiedades resulten satisfactorias hará siempre un buen concreto, pero un agregado de propiedades que se consideran inferiores también podrá lograr la calidad deseada. Por ello, es necesario emplear un criterio para el desempeño del concreto. Por ejemplo, una muestra de roca puede resquebrajarse debido al congelamiento, pero no necesariamente sucederá así si está inmersa en concreto. Sin embargo, por lo general, un agregado considerado pobre en más de un aspecto no es

deseable para hacer un concreto satisfactorio, por lo que conviene someterlo a prueba para determinar su valor.[2]

### 2.3.1 Agregado fino (arena)

La arena se define como el conjunto de granos sueltos de estructura cristalina, que pasa por completo por la malla N°. 4 y son retenidos en la malla N°. 200, los cuales resultan de la desintegración y abrasión de las rocas naturales por procesos mecánicos o químicos y que, arrastrados por el aire o agua, se acumulan en lugares determinados. Artificialmente se obtienen por trituración de las rocas duras.[10]

La arena que se pretende utilizar para fabricar concreto, queda normada de acuerdo a la especificación ASTM 136-84. Análisis granulométrico de agregado fino. En esta norma se marcan los parámetros de tamaño y graduación de la arena, los cuales se presentan en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Parámetros de graduación para la arena que se pretende utilizar para fabricar concreto hidráulico.

MALLA	% EN PESO QUE PASA
3/8"	<b>100</b>
No. 4	<b>95-100</b>
No. 8	<b>80-100</b>
No. 16	<b>50-85</b>
No. 30	<b>25-60</b>
No. 50	<b>10-30</b>
No. 100	<b>2-10</b>

Es importante cumplir con estos parámetros para satisfacer una buena graduación de partículas en el concreto y así disminuir la cantidad de huecos entre ellas.

Otro parámetro muy importante que debe de cumplir la arena que se pretenda utilizar para fabricar concreto hidráulico es el módulo de finura, el cual queda definido por la especificación ASTM C 33-86 y se pide que este dentro del rango de 2.3 a 3.2.[10]

### **2.3.2 Agregado grueso (grava)**

La grava se define como el material grueso que es retenido generalmente por la malla N°. 4 y que resulta de la desintegración y abrasión natural de la roca o al procesar un conglomerado débilmente ligado. Los tipos de gravas más usualmente utilizados en la fabricación de concreto, son: grava, grava triturada, piedra triturada y escoria de alto horno.

Es deseable que las partículas de este agregado sean resistentes, densas, durables, limpias y libres de elementos indeseables como arcillas, limos o materia orgánica, si cumplimos con estos requisitos ayudamos a que el concreto fabricado sea de mejor calidad.[10]

## **2.4 Métodos de diseño de concreto.**

### **2.4.1 Método de las curvas de Abrams**

En el año de 1915, los fabricantes de cemento portland en los Estados Unidos, establecieron a través de la Asociación de Cemento Portland, un laboratorio de investigación para estudiar los problemas relacionados al cemento y al concreto. Dicho laboratorio estaba a cargo del Dr. Duffus A. Abrams, realizó diversos estudios para determinar la relación existente entre el agua de mezcla del concreto, la granulometría de los agregados pétreos y la cantidad de cemento que intervienen en la mezcla. Otras características como la calidad del cemento y de los agregados, método de curado del concreto, temperatura y duración de este, se mantuvieron constantes.[11]

Uno de los estudios de mayor importancia del Dr. Duffus A. Abrams, obtenido a través de sus estudios es conocido como “ley de la relación agua/cemento”, la cual se expresa como sigue “ Para mezclas plásticas (ni demasiado fluidas para no perder su forma rápidamente, ni demasiado secas para no dificultarse su manejo), y cuando se empleen agregados pétreos sanos, limpios, resistentes y duraderos, la resistencia del concreto depende directamente de la relación en que se utilice el agua con respecto al cemento.[11]

Después de establecida la ley de Abrams, se observó que resultaba más práctica y conveniente para tener uniformidad en la cantidad de cemento y agua empleados en la mezclas de concreto, el que se consideren estos en relación a sus pesos, ya que el volumen del concreto varía mucho de acuerdo con el grado de compactación que tenga.

Gracias a la formulación de la ley Agua/cemento y a los estudios realizados por Abrams acerca de los ingredientes del concreto. Se creó el método de proporcionamiento de concreto conocido como “ Método de las curvas de Abrams” A continuación se presenta los pasos detallados de la secuela de cálculo.[11]

## **SECUELA DE CÁLCULO**

- 1) Para iniciar con el diseño de la mezcla de concreto es necesario tener los datos que se muestran en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Datos iniciales de los materiales que conformaran el concreto.

MATERIALES	CEMENTO	ARENA	GRAVA
Tipo de material:			
Densidad.			
P.V.S.S. (kg/ m <sup>3</sup> )			
P.V.S.V. (kg/ m <sup>3</sup> )	---		
T. M.	---	---	
M. F.	---		---
Absorción %	---		

- 2) Se determina mediante el nomograma N° 1 (Figura 2.2), la relación AGUA/CEMENTO en peso. Para obtener el valor de la relación A/C en peso, se entra en el nomograma con el f'c de diseño en el eje de las ordenadas, y proyectando al eje de las abscisas al punto de intersección con la curva B (para condiciones comunes del trabajo).
- 3) Se determina mediante el nomograma N° 2 (Figura 2.3), la relación GRAVA/ARENA en peso. Para obtener el valor de la relación G/A en peso; se encuentra con el módulo de finura (M.F.) del agregado fino en el eje de las ordenadas, se proyecta sobre la curva correspondiente al tamaño máximo (T.M.) del agregado grueso y el punto de intersección se proyecta sobre el eje de las abscisas.
- 4) Se determinan las relaciones A/C y G/A en volumen, usando para esto las densidades de los materiales como se muestra a continuación.

$$\frac{A}{C} (\text{volumen}) = \frac{\frac{A}{C} (\text{peso}) \cdot (\text{Densidad del Cemento})}{\text{Densidad del Agua}}$$

$$\frac{G}{A^*} (\text{volumen}) = \frac{\frac{G}{A^*} (\text{peso}) \cdot (\text{Densidad de la Arena})}{\text{Densidad de la Grava}}$$

- 5) Se determina mediante el nomograma N° 3, (Figura 2.4) el contenido neto de agua por m<sup>3</sup> de concreto. Para obtener la cantidad de agua necesaria para un m<sup>3</sup> de concreto; se entra con el valor de la relación G/A en peso en el eje de las abscisas, y el punto de intersección con la curva correspondiente al tamaño máximo del agregado grueso, se proyecta horizontalmente al eje de las ordenadas. Este contenido de agua se considera para un revenimiento de 4”. Para revenimientos diferentes, se corrige el agua en un 3% por cada pulgada de diferencia en el revenimiento, tal como se muestra en la tabla 2.11

Tabla 2.11 Corrección de agua para diferentes revenimientos

<b>REVENIMIENTO (plg)</b>	<b>CORRECCION DE AGUA (%)</b>
:	:
6”	+6
5”	+3
4”	0
3”	-3
2”	-6
:	:

- 6) Se determina el contenido neto de cemento por metro cubico de concreto en volumen, aplicando la siguiente expresión:
- 7) Se determina el volumen de lechada de cemento (Lc), con la expresión siguiente:
- 8) Determinación del volumen de agregado (Va), con la siguiente expresión:
- 9) Determinación del volumen de arena, aplicando las siguientes expresiones:
- 10) Determinación del volumen de grava, con la siguiente expresión:
- 11) Se calculan las proporciones en peso de cada componente, multiplicando cada uno de los componentes de los volúmenes absolutos encontrados en el paso 10, por su densidad correspondiente; se hace el valor del cemento igual a 1.

Tabla 2.12 Calculo del peso y de la relación en peso de los materiales

<b>MATERIALES (1)</b>	<b>LITROS (2)</b>	<b>DENSIDAD (3)</b>	<b>PESO (4)</b>	<b>REL. EN PESO (5)</b>
Cemento	Paso 5		Col 2 * col 3 = a	a/a
Agua	Paso 4		Col 2 * col 3 = b	b/a
Arena	Paso 8		Col 2 * col 3 = c	c/a
Grava	Paso 9		Col 2 * col 3 = d	d/a
<b>Total</b>	1000 lts			

12) Se hace el cálculo de la tabla 2.13 para obtener la proporción de los materiales.

Tabla 2.13 Calculo de las proporciones de los materiales

<b>MATERIALES</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGUA</b>	<b>ARENA</b>	<b>GRAVA</b>
a) Proporciones en peso (kg):				
b) Materiales en peso por saco de Cemento (lt):				
c) Materiales en volumen por saco de Cemento (lt):				
d) Proporciones en volumen (lt):				
e) Volúmenes absolutos por saco de Cemento (lt):				
f) Cantidades por metro cúbico de Concreto (kg / m <sup>3</sup> )				

- a) Se determina al dividir la proporciones del material en peso entre el peso del cemento, como se observa en el paso 11 anterior.
  - b) Se determina multiplicando las cantidades encontradas en el paso “a”, por 50 kg que es el peso de un saco de cemento.
  - c) Se determina dividiéndose el peso de los materiales encontrados en el paso “b”, entre el peso volumétrico seco correspondiente.
  - d) Se determina dividiendo los volúmenes del paso “c”, entre el volumen y los litros de un saco de cemento de 50 kg.
  - e) Se determina dividiendo los pesos de los materiales indicados en el paso “b”, entre su densidad correspondiente.
  - f) Se determina dividiéndose las cantidades del paso “b”, entre la suma total de volúmenes absolutos del paso “e”, multiplicando cada cantidad resultante por 1000 (un metro cubico.
- Ajustes del proporcionamiento, al efectuar el colado:

Normalmente, los agregados a usar en la elaboración de concreto, son almacenados a la intemperie; por lo tanto, estarán expuestos a cambios de humedad a la hora de

ser usados (humedad actual), siendo así, será necesario hacer una corrección en el agua de mezclado para no alterar la fluidez para la cual fue diseñado.

La corrección por humedad queda definida en la tabla 2.14

Tabla 2.14 Corrección por humedad actual y absorción de los materiales.

1 <sup>ER</sup> CASO HUMEDAD DE ABSORCIÓN MAYOR QUE LA HUMEDAD ACTUAL (AGUA INSUFICIENTE)	2 <sup>ER</sup> CASO HUMEDAD DE ABSORCIÓN MENOR QUE LA HUMEDAD ACTUAL (AGUA EN EXCESO)
<p><b>SOLUCIÓN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Se obtiene el porcentaje de agua faltante para la mezcla (según diseño), de acuerdo con las humedades de los agregados:  <math>\% \text{ Agua faltante}_A = \% H. \text{ Actual} - H. \text{ Abs.}</math>  <math>\% \text{ Agua faltante}_C = \% H. \text{ Actual} - H. \text{ Abs.}</math> </li> <li>❖ Determinación del peso de agua faltante, correspondiente a los porcentajes obtenidos para cada uno de los agregados:  <math>\% \text{ Agua } f_A = (\% A. \text{ Faltante}_A) (\text{Peso Arena})</math>  <math>\% \text{ Agua } f_G = (\% A. \text{ Faltante}_G) (\text{Peso Arena})</math> </li> <li>❖ La suma de las cantidades (en peso), del paso anterior, será la cantidad total a incrementarse en la mezcla de concreto.</li> <li>❖ Finalmente, se modifican las cantidades (peso) de cada uno de los agregados, restándoles el peso de agua faltante correspondiente. Este paso se realiza para mantener un mismo valor del peso volumétrico de concreto.</li> </ul>	<p><b>SOLUCIÓN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Se obtiene el porcentaje de agua en exceso para la mezcla (según diseño), de acuerdo con las humedades de los agregados:  <math>\% \text{ Agua exceso}_A = \% H. \text{ Actual} - \% H. \text{ Abs.}</math>  <math>\% \text{ Agua exceso}_G = \% H. \text{ Actual} - \% H. \text{ Abs.}</math> </li> <li>❖ Determinación del peso de agua en exceso, correspondiente a los porcentajes obtenidos para cada uno de los agregados:  <math>\text{Agua exc.}_A = (\% A. \text{ Exceso}_A) (\text{Peso Arena})</math>  <math>\text{Agua exc.}_G = (\% A. \text{ Exceso}_G) (\text{Peso Arena})</math> </li> <li>❖ La suma de las cantidades (en peso), del paso anterior, será la cantidad total a reducirse en la mezcla de concreto.</li> <li>❖ Finalmente, se modifican las cantidades (peso) de cada uno de los agregados, restándoles el peso de agua en exceso correspondiente. Este paso se realiza para mantener un mismo valor del peso volumétrico de concreto.</li> </ul>

Una vez que ya se tiene el proporcionamiento final, se debe hacer una mezcla de prueba para verificar que esta cumpla con las características de diseño, es muy común que al hacer esta mezcla no se llegue al revenimiento deseado, quedando este excedido o escaso. Cuando suceda esto se tendrá que realizar un ajuste por revenimiento el cual se en la tabla 2.15 que se muestra a continuación.

Tabla 2.15 Corrección por revenimiento.

**Suponiendo que el agua ya corregida en cualquiera de los dos casos no diera el revenimiento de diseño, quedando escaso o excedido, se tendrá que hacer una corrección por revenimiento de la siguiente manera:**

- **Se aumenta o reduce en un 3% el contenido de agua, por cada 2.5cm (1") de diferencia, correspondiente.**
- **Una vez modificada la cantidad de agua; se modifica el contenido de cemento, de acuerdo a la relación A/C, con el fin de mantener a esta constante.**
- **Finalmente, se corrigen las cantidades de los agregados, de acuerdo a las proporciones de éstos para mantener el peso volumétrico del concreto.**

## NOMOGRAMA 1

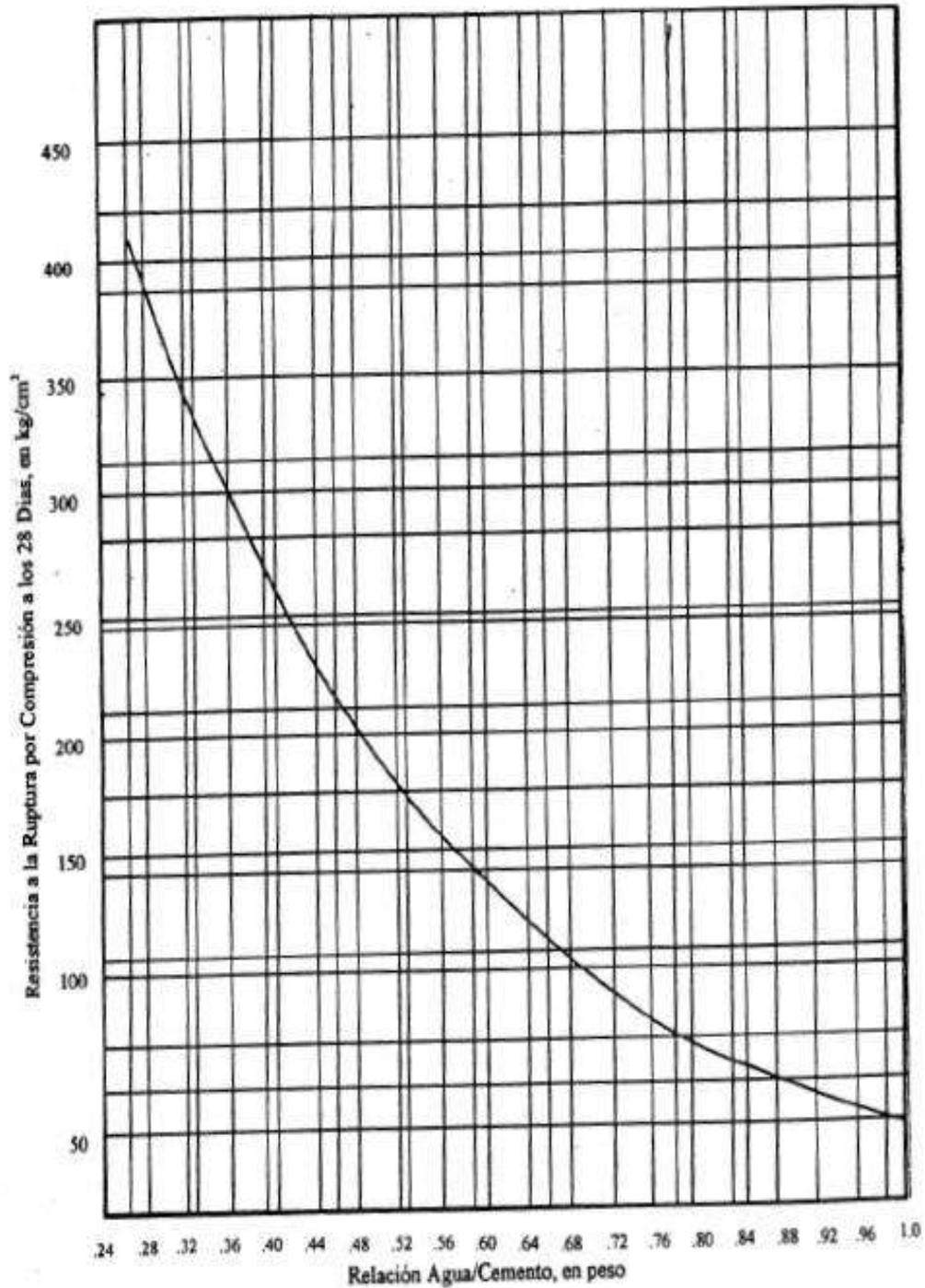


Figura 2.2 Nomograma para el cálculo de la relación Agua/Cemento en peso.

## NOMOGRAMA 2

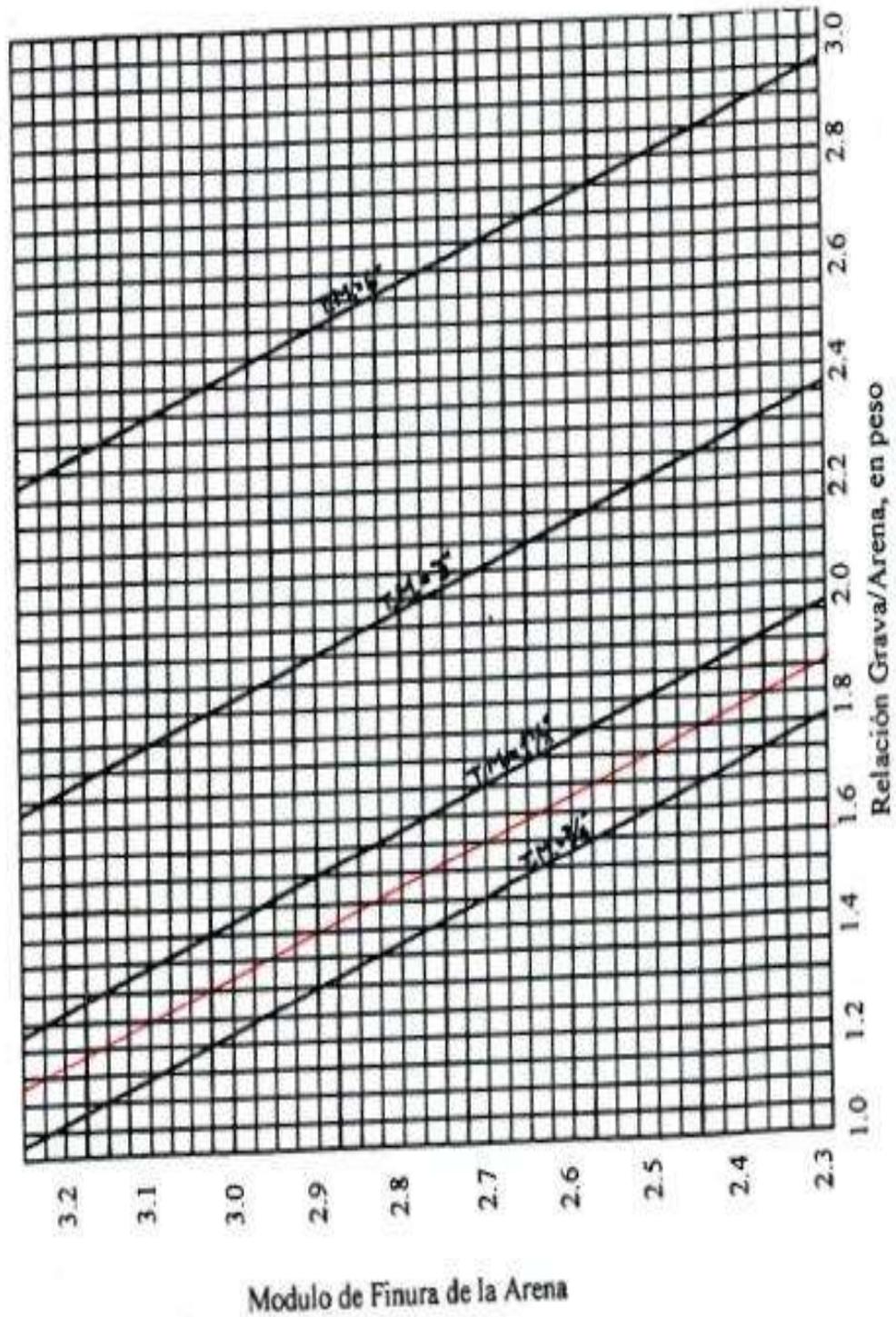


Figura 2.3 Nomograma para el cálculo de la relación Grava/Arena en peso

### NOMOGRAMA 3

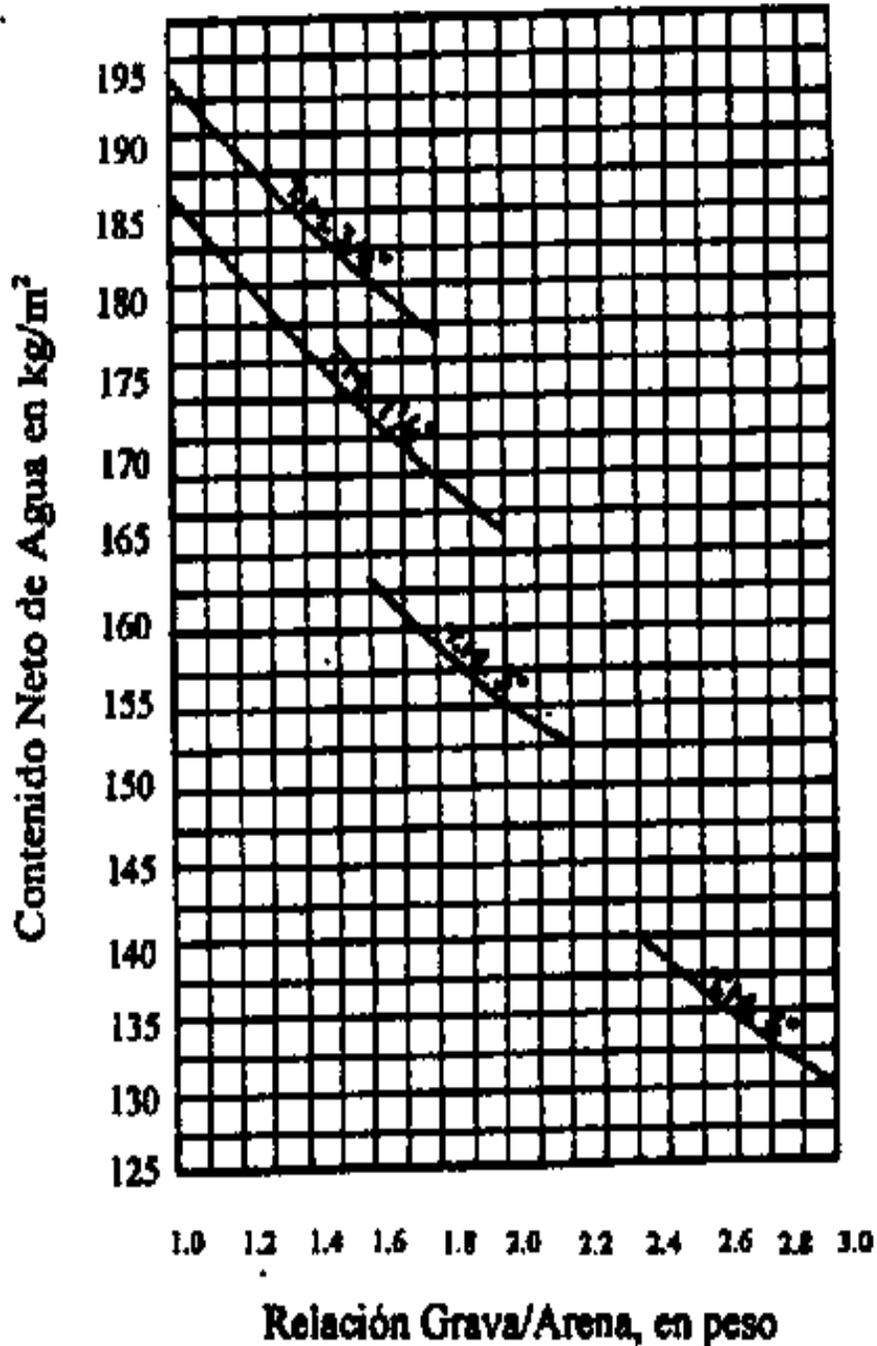


Figura 2.4 Nomograma para calcular el contenido neto de agua por metro cubico.[11]

## 2.4.2 Método del ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)

**PASO 1: Elección del Revenimiento:** Cuando no se especifica el revenimiento, puede seleccionarse un valor apropiado para la obra de los que aparecen en la Tabla 2.16 Las variaciones de revenimiento que se muestran son aplicables cuando se emplea el vibrador para compactar concreto. Deben emplearse mezclas de consistencia más densa, que pueden colarse con buen rendimiento [12]

Tabla 2.16 Revenimiento de acuerdo al tipo de construcción

Tipos de Construcción	Revenimiento en milímetros	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	75	25
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas para edificios	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto Masivo	75	25

**PASO 2: Elección del Tamaño Máximo del Agregado:** Tamaños máximos nominales mayores o agregados bien graduados tienen menos vacíos que los tamaños pequeños. Por lo tanto, concretos con tamaños más grandes requieren menos mortero por unidad de volumen del concreto. Generalmente el tamaño máximo nominal del agregado debe ser el más grande que esté económicamente disponible y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo nominal debe exceder de  $1/5$  de la menor dimensión entre los costados de las cimbras,  $1/3$  del espesor de la losa, ni  $3/4$  del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas, o torones de pretensado.

**PASO 3: Determinación del agua de mezclado y contenido de aire:** La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo nominal, de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido.

En la Tabla 2.17 aparecen valores estimados del agua de mezclado requerida para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregados, con o sin aire incluido. Según sea la textura y forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son suficientemente precisos para el primer cálculo.

En la Tabla 2.17, se indica la cantidad aproximada de aire atrapado que puede esperarse en concretos sin inclusión de aire, premeditada, y en la parte inferior, el promedio de contenido de aire recomendado para concretos con inclusión de aire. Para el caso de que sea necesario o deseable incluir aire, se señalan tres niveles de contenido de aire para cada tamaño de agregado, los que dependen del propósito de la inclusión de aire y de la severidad de la exposición, si la inclusión de aire está en función de la durabilidad [12].

**Exposición Ligera:** cuando se desee la inclusión de aire por otros efectos benéficos que no sean la durabilidad, por ejemplo, para mejorar la cohesión o trabajabilidad, o para incrementar la resistencia del concreto con bajo factor de cemento, pueden emplearse contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad. Esta exposición incluye servicio interior o exterior en climas en los que el concreto no estará expuesto a agentes de congelación y deshielo.

**Exposición Moderada:** implica el servicio en climas en donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos.

**Exposición Severa:** el concreto expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de estos son: pavimentos, pisos de puentes, guarniciones, desagües, aceras, revestimiento de canales, tanques exteriores para agua o resumideros [12].

Tabla 2.17 Calculo de la cantidad de agua en peso de acuerdo al tamaño máximo del agregado y el revenimiento

Revenimiento, mm	Agua, Kg/m <sup>3</sup> de concreto para tamaño máximo nominal de agregado indicado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
<b>Concreto Sin Aire Incluido</b>								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
% aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto Con Aire Incluido</b>								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
<b>Promedio recomendado del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo al nivel de exposición</b>								
Exposición Ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

**PASO 4: Selección de la relación Agua/Cemento:** la relación agua/cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la

durabilidad y las propiedades del acabado. Este valor se puede tomar de la Tabla 2.18, son valores aproximados y relativamente conservadores para concretos que contengan cemento Portland CPO.

Tabla 2.18 Calculo de la relación Agua/Cemento

Resistencia a la Compresión a los 28 días		Relación Agua/Cemento en masa (peso)	
MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	Sin aire incluido	Con aire incluido
40	408	0.42	-
35	357	0.47	0.39
30	306	0.54	0.45
25	255	0.61	0.52
20	204	0.69	0.60
15	153	0.79	0.70

*La resistencia se basa en cilindros de 15x30 cm.*

*NOTA: para resistencias no especificadas es válida la interpolación lineal.*

El promedio de la resistencia seleccionada de la Tabla 2.18, debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente de error para mantener el número más bajo dentro de los límites de las especificaciones del ACI 214 y ACI 318. Es por ello que se debe de calcular la resistencia promedio a la compresión requerida  $f'_{cr}$ , para la cual se realiza un diseño de la mezcla de prueba dependiendo del grado de información de campo disponible [12].

1. Si se dispone de información de pruebas de campo de más de 30 ensayos consecutivos, la mezcla de prueba se diseñará de acuerdo a la Tabla 2.19

Tabla 2.19 Formulas para el cálculo del  $f_{cr}$

**Resistencia promedio requerida a la  
compresión, en Kg/cm<sup>2</sup>**

$$f'_{cr} = f'_c + 1.28 \sigma$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.52 \sigma - 35$$

*Donde  $\sigma$  es la desviación estándar en Kg/cm<sup>2</sup>*

*$f'_{cr}$  se tomará como el mayor de los valores proporcionados por las expresiones anteriores.*

Cuando se dispone de menos de 30 ensayos, pero con un mínimo de 15, la desviación estándar de la muestra calculada se incrementa por el factor indicado en el Tabla 2.20. Este procedimiento da como resultado una resistencia promedio requerida más conservadora (mayor). Los factores del Tabla 2.20 están basados en la distribución de muestreo de la desviación estándar de la muestra y proporcionan una protección (equivalente a la del registro de 30 ensayos) contra la posibilidad de que la muestra reducida subestime la verdadera desviación estándar de la población [12].

Tabla 2.20 Calculo del factor de modificación para la desviación estándar.

Número de Ensayes	Factor de Modificación para la desviación Estándar de la Muestra
Menos de 15	Emplee Tabla 2.21
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

- Si no se dispone de los registros de las pruebas de resistencia de campo, la resistencia de la mezcla de prueba  $f'_{cr}$  puede incrementarse de acuerdo con el Tabla 2.21

Tabla 2.21 Calculo del  $f_{cr}$  cuando no se tengan antecedentes de prueba

Resistencia especificada a la compresión		Resistencia promedio requerida a la compresión	
Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa	Kgf/cm <sup>2</sup>
$f'_c < 21$	$f'_c < 214$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$	$f'_{cr} = f'_c + 71.36$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$214 \leq f'_c \leq 357$	$f'_{cr} = f'_c + 8.03$	$f'_{cr} = f'_c + 81.86$
$f'_c > 35$	$f'_c > 357$	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 50.97$

**PASO 5: Cálculo del Contenido de Cemento:** la cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en el paso 3 y 4. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado, dividido entre la relación A/C.

**PASO 6: Estimación del contenido de agregado grueso:** Valores apropiados de volumen para el agregado grueso están dados en la Tabla 2.22. Se puede ver que para una trabajabilidad igual, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende sólo de su tamaño máximo nominal y del módulo de finura del agregado fino. Este volumen se convierte a masa seca (peso seco) del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por la masa unitaria de varillado en seco por metro cúbico de agregado grueso (peso volumétrico seco varillado) [12].

Tabla 2.22 Estimación del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Tamaño Máximo Nominal del agregado		Volumen del agregado grueso varillado en seco por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino.			
Plg.	mm.	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	19	0.66	0.64	0.62	0.60
1	25	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
2	50	0.78	0.76	0.74	0.72
3	75	0.82	0.80	0.78	0.76
6	150	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Los volúmenes se basan en agregados varillados (compactados) en seco.

**PASO 7: Estimación del contenido de agregado fino:** al término del paso 6, todos los ingredientes del concreto han sido estimados excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia. Para calcular esto se utiliza el método del volumen absoluto, el cual implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes. En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se restan del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su masa (peso) dividida entre la densidad de ese material (siendo esta el producto del masa unitario (peso unitario) del agua y de la gravedad específica del material).

**PASO 8: Ajustes por humedad del agregado:** las cantidades de agregado que realmente deben pesarse para el concreto deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos, y sus masas secas deben incrementarse con el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial, que contienen. El agua de mezclado que se añade al lote debe reducirse en cantidad igual a la humedad libre contenida en el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

**PASO 9: Ajustes en la mezcla de prueba:** las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante mezclas de prueba, preparadas y probadas de acuerdo con la norma ASTM-C-129, o por medio de mezclas reales en el campo. **Sólo debe usarse el agua suficiente para producir el revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba.** También debe tenerse cuidado de lograr la trabajabilidad apropiada, ausencia de segregación, así como las propiedades del acabado [12]

### 2.4.3 Proporcionamientos utilizados.

Una vez que ya se conocen a detalle los métodos de las curvas de Abrams y el del ACI, para proporcionar concreto hidráulico. En este estudio se optó por utilizar el método del ACI, ya que al utilizar las densidades de cada material para calcular el volumen absoluto que este ocupara en el volumen total de la muestra, representa una mayor exactitud en comparación al otro método.

Ya que el objetivo principal de este estudio es realizar una evaluación entre 5 muestras de arena volcánica, tendremos por lo tanto 5 mezclas de concreto diferentes en donde la única variable será la arena.

El cálculo de los proporcionamientos utilizados para las 5 mezclas se realizaron con el método del ACI, haciendo uso del programa Microsoft Excel. A continuación se presentan detalladamente los pasos a seguir para llegar al resultado de proporción de materiales para un metro cubico de concreto. Cabe mencionar que solo se explicara detalladamente el cálculo del proporcionamiento para una sola muestra (Santa Clara Negra) y para las otras cuatro solo se presentaran los resultados finales, esto debido a que el cálculo es similar en los 5 proporcionamientos y no tendría caso repetirlo.

#### 2.4.3.1 Calculo.

Primeramente se deben proporcionar los datos de los materiales y los datos característicos del concreto a diseñar. Tal como se muestra en la tabla 2.23. Los datos de los materiales son obtenidos de las pruebas de laboratorio que se explicaran a detalle en el próximo capítulo.

Tabla 2.23 Datos iniciales para calcular un proporcionamiento de concreto por el ACI

Datos de los materiales				
	P.V.S.S	P.V.S.V	Densidad	Absorción
Cemento			3.15	
Arena			2.354	5.219
Grava	1160	1709	2.332	2.38
Datos característicos del concreto a diseñar				
F'c	M.F	T.M	Revenimiento	
250	2.78	3/4	12 cm	

Una vez que ya se tienen los datos necesarios, entramos de lleno al cálculo del método.

### **Paso 1.- Elección del revenimiento.**

Cuando no se especifica un revenimiento de proyecto, podemos hacer uso de la tabla 2.24 que se presenta a continuación, en donde se dan opciones de revenimiento de acuerdo al tipo de construcción.

Tabla 2.24 Elección del revenimiento de acuerdo al tipo de construcción.

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción		
Tipos de construcción	Revenimiento, cm.	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Cabe mencionar que el revenimiento de proyecto para este estudio se eligió de 12 cm, suponiendo que este concreto será fabricado en planta y podrá requerirse que sea bombeable, por lo cual es necesaria una fluidez de 12 cm como mínimo para que esto suceda.

### **Paso 2.- Elección del tamaño máximo del agregado**

Para la elección del tamaño máximo del agregado grueso se hace uso de algunas recomendaciones que brinda el método.

- el mayor tamaño posible del agregado, dará el menor consumo de cemento por metro cubico de concreto.
- En ningún caso el tamaño máximo nominal debe exceder de  $1/5$  de la menor dimensión entre los costados de las cimbras,  $1/3$  del espesor de la losa, ni  $3/4$  del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo

Por lo tanto cumpliendo las recomendaciones anteriores el mayor tamaño posible es de  $3/4$  de plg. ó 19 mm. Esto debido a que la menor dimensión de la cimbra a colar es 10 cm ya que se utilizaron cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura.

### **Paso 3.- Determinación del agua de mezclado y contenido de aire.**

Para la elección del agua de mezclado, interviene el tamaño máximo del agregado grueso y el revenimiento seleccionado, además de identificar si se trata de un concreto con o sin aire incluido. Teniendo esto datos se ingresa a la tabla 2.25 la cual se presenta a continuación.

Recordando que el revenimiento es de 12 cm y el tamaño máximo es de ¾ ó 19 mm y queriendo diseñar un concreto sin aire incluido, tenemos.

Tabla 2.25 Calculo del agua de mezclado por metro cubico de concreto

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado								
Agua, kg/m <sup>3</sup> concreto para TMG, mm								
Revenimiento, cm.	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aprox. de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Exposición moderada	6.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00
Exposición severa	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00

En la tabla 2.25 no se cuenta con el valor directo para un revenimiento de 12 cm, por lo cual se tiene que realizar una interpolación lineal entre los datos de 10 cm y 15 cm.

$$\begin{array}{l}
 10 \text{ ----- } 205 \\
 12 \text{ ----- } x \\
 15 \text{ ----- } 216
 \end{array}
 \qquad
 x = 205 + \frac{216-205}{15-10} (12 - 10)
 \qquad
 x = 209.4$$

Por lo tanto la cantidad de agua por metro cubico es de **209.4 kg** y el porcentaje de aire incluido es de **2%**.

**Paso 4.- Selección de la relación Agua/Cemento**

Para poder calcular la relación Agua/cemento tenemos que conocer el F'c de diseño, el cual para este estudio es de 250 kg/cm<sup>2</sup>, a este dato, por recomendación del método se le debe incrementar la desviación estándar, obteniendo así un nuevo F'c llamado fcr. Por lo tanto el

concreto se diseña con el  $f_{cr}$  para garantizar que los resultados obtenidos no sean menores a la resistencia de diseño.

Para poder obtener el valor de la desviación estándar y el nuevo  $f_{cr}$ , existe un procedimiento detallado, el cual se explica a continuación.

El valor del  $f_{cr}$ , estará dado por el mayor valor obtenido de las siguientes expresiones.

$$f_{cr} = f'c + 1.28 (\sigma_c)$$

$$f_{cr} = f'c + 2.52 (\sigma_c) - 35$$

En las expresiones anteriores,  $(\sigma_c)$  es el valor de la desviación estándar de la resistencia a compresión del concreto. Su valor se determinara a partir de antecedentes basados en no menos de de 30 parejas de cilindros que representen un concreto cuya resistencia no difiera en más de 70 kg/cm<sup>2</sup>. Si no se cuenta con dichos antecedentes, se puede hacer uso de la tabla 2.26 que se muestra a continuación.

Tabla 2.26 Elección de la desviación estándar cuando no se tienen antecedentes

Procedimiento de fabricación	$f'c \leq 200 \text{ kg/cm}^2$	$200 \leq f'c \leq 300$
- Mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de los agregados de una misma fuente y de calidad controlada	30	35
- Mezclado mecánico, proporcionamiento por peso	35	45
- Mezclado mecánico, proporcionamiento por volumen; volúmenes cuidadosamente controlados.	50	60

Ya que no se cuenta con los antecedentes necesarios, utilizaremos la tabla anterior, obteniendo así un valor de la desviación estándar  $(\sigma_c) = 35$ .

Sustituyendo en las expresiones dadas anteriormente tenemos:

$$F_{cr} = 250 + 1.28 (35) \rightarrow f_{cr} = 294.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 250 + 2.52(35) - 35 \rightarrow f_{cr} = 303.2 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el valor de diseño  $f_{cr}$  es **303.2 kg/cm<sup>2</sup>**

Es importante mencionar que para este estudio el concreto se diseñó con el  $f'c = 250$  kg/cm<sup>2</sup> y no con el  $f_{cr} = 303.2$  kg/cm<sup>2</sup>, esto debido a que el concreto se elaboró bajo condiciones controladas de laboratorio para todas las muestras, esperando así una desviación estándar teórica muy cercana a cero.

Teniendo especificado el valor de la resistencia de diseño, se procede a determinar la relación Agua /cemento por medio de la tabla 2.27

Tabla 2.27 Calculo de la relación Agua/Cemento

Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto		
Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	--
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

En la tabla 2.27 no existe un valor directo para una resistencia de 250 kg/cm<sup>2</sup> por lo tanto es necesario hacer una interpolación lineal. En la hoja de Excel utilizada este cálculo se hace de manera directa, pero para fines de una mejor explicación del cálculo, se realizaran las operaciones.

$$\begin{array}{l}
 280 \text{ -----} 0.57 \\
 250 \text{ -----} x \\
 210 \text{ -----} 0.68
 \end{array}
 \qquad
 x = 0.68 - \frac{0.68 - 0.57}{280 - 210} (250 - 210)
 \qquad
 x = \mathbf{0.6171}$$

Por lo tanto la relación Agua/cemento calculada es **0.617**.

**Paso 5.- Calculo del contenido de cemento.**

Para calcular la cantidad de cemento por metro cubico, solo es cuestión de dividir la cantidad de agua en kg por metro cubico (ya calculada anteriormente) entre la relación Agua/cemento.

$$\text{Cantidad de cemento en peso} = \frac{\text{Cantidad de agua en kg}}{\text{relacion Agua/cemento}}$$

$$\text{Cantidad de cemento en peso} = \frac{209.4}{0.617} \rightarrow \text{Cantidad de cemento en peso} = 339.38 \text{ kg}$$

La cantidad necesaria por metro cubico de concreto es de **339.38 kg**

### Paso 6.- Estimación del contenido de agregado grueso

Para obtener una buena trabajabilidad de la muestra de concreto, podemos ver que la cantidad de agregado grueso dependerá directamente de su tamaño máximo nominal y del módulo de finura de la arena. Conociendo estos datos podemos ingresar a la tabla 2.28 y obtener el contenido de agregado grueso por metro cubico de concreto.

Tabla 2.28 Estimación del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto				
Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
→ 19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Dado que el módulo de finura de la arena (Santa Clara Negra) es de 2.78, se tendrá que hacer una interpolación, ya que la tabla 2.28 no tiene un valor directo para dicho módulo de finura.

2.60 ----- 0.64

$$2.78 \text{ ----- } x \qquad x = 0.62 + \frac{0.64 - 0.62}{2.80 - 2.60} (2.80 - 2.78) \rightarrow x = \mathbf{0.622}$$

2.80 ----- 0.62

El valor obtenido de la cantidad de grava, representa el porcentaje que esta ocupa en el total de la muestra (un metro cubico). Para conocer la cantidad de grava en peso, basta con multiplicar el valor obtenido por el peso volumétrico seco varillado (P.V.S.V) de la grava, el cual se proporcionó en los datos iniciales.

$$\text{Grava en peso} = 0.62 * 1709 \quad \rightarrow \quad \text{Grava en peso} = 1059.58 \text{ kg}$$

### **Paso 7.- Estimación del contenido de agregado fino.**

Hasta este momento ya se han estimado todos los componentes del concreto a excepción de la arena, entonces para determinar este último dato, tendremos que calcular el volumen que ocupa cada uno de los ingredientes en la muestra y por diferencia del volumen absoluto unitario podemos conocer el volumen que ocupará la arena en la muestra.

Para calcular el volumen de los componentes se utilizara la siguiente expresión:

$$\text{Volumen de la muestra} = \frac{\left[ \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Densidad de la muestra}} \right]}{1000}$$

#### ➤ **Volumen del agua**

$$\text{Volumen del agua} = \frac{\left[ \frac{209.4 \text{ kg}}{1} \right]}{1000} \quad \rightarrow \quad \text{Volumen del agua} = 0.2094 \text{ cm}^3$$

#### ➤ **Volumen del cemento**

$$\text{Volumen del cemento} = \frac{\left[ \frac{339.38 \text{ kg}}{3.15} \right]}{1000} \quad \rightarrow \quad \text{Volumen del cemento} = 0.10774 \text{ cm}^3$$

#### ➤ **Volumen de la grava**

$$\text{Volumen de la grava} = \frac{\left[ \frac{1059.58 \text{ kg}}{2.332} \right]}{1000} \quad \rightarrow \quad \text{Volumen de la grava} = 0.45436 \text{ cm}^3$$

#### ➤ **Volumen del aire**

Vol del aire = 2 % de la muestra total

$$\text{Volumen del aire} = \frac{2}{100} \quad \rightarrow \quad \text{Volumen del aire} = 0.020 \text{ cm}^3$$

Una vez calculados los volúmenes de los agregados del concreto, se puede realizar la diferencia para calcular el volumen de la arena por metro cubico.

Vol. de la arena = ( volumen unitario total) – (vol. del agua) – (vol. del cemento) – (vol. de la grava) – (vol. del aire)

$$\text{Vol. de la arena} = (1) - (0.2094) - (0.10774) - (0.45436) - (0.020)$$

**Vol. de la arena = 0.20849 cm<sup>3</sup>**

Una vez conocido el volumen de la arena, calculamos el peso de la arena por metro cubico, esto se consigue al multiplicar el volumen de la arena por su densidad.

$$\text{Arena en peso} = (\text{Vol de la arena}) * (\text{Densidad de la arena})$$

$$\text{Arena en peso} = (0.20849) * (2.354) \rightarrow \text{Arena en peso} = \mathbf{490.79 \text{ kg}}$$

**Paso 8.- Ajustes por humedad del agregado**

Las cantidades reales de arena, grava y agua que se deben pesar para fabricar un metro cubico de concreto no serán las que hasta el momento hemos calculado, ya que el peso de la arena y la grava se verá incrementado tanto por la cantidad de agua que absorbe como por la cantidad de agua superficial y por consiguiente el agua deberá reducirse en igual medida para mantener la proporción.

A continuación se presenta la tabla 2.29 en la cual se realiza el cálculo para pasar del proporcionamiento base al proporcionamiento ajustado o real.

Tabla 2.29 Calculo del proporcionamiento ajustado

Materiales	Prop. base	Hum. Actual		Absorción		Prop. Ajustado
		%	kg	%	kg	
Cemento	339.38					339.38
Arena	490.79	0	0	5.22	25.615	465.18
Grava	1059.58	0	0	2.38	25.220	1034.36
Agua	209.4				50.835	260.2
	2099.16					2099.16

Para el cálculo del proporcionamiento ajustado, los valores de la arena y grava en peso se multiplican por el porcentaje de humedad actual y absorción obteniendo así el valor de ajuste, teniendo estos valores, el valor de ajuste de humedad se suma y el valor de ajuste por absorción se resta a los valores en peso de los materiales, con esto obtenemos los valores del proporcionamiento ajustado para la arena y la grava. Para realizar el ajuste en el agua se debe obtener la suma de los valores de ajuste de humedad actual y absorción respectivamente, teniendo estas sumas, al valor base del agua se le resta la suma de ajuste de humedad actual y se le suma el valor de ajuste por absorción. Como comprobación la

suma en peso del proporcionamiento base debe ser igual a la suma en peso del proporcionamiento ajustado. Cabe mencionar que para este estudio los materiales se secaron al sol antes de ser utilizados por lo cual el valor de humedad actual es cero.

**A continuación se presentan los 5 proporcionamientos utilizados en este estudio.**

Tabla 2.30 Proporcionamiento base y proporcionamiento ajustado de la muestra “Santa Clara (negra)”.

Proporcionamiento Arena (Santa Clara Negra)						
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Humedad		Absorción		Proporcionamiento real (kg)
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	339.38					339.38
Arena	490.79	0	0	5.219	25.615	465.18
Grava	1059.58	0	0	2.38	25.220	1034.36
Agua	209.40				50.835	260.23
	2099.16					2099.16

Tabla 2.31 Proporcionamiento base y proporcionamiento ajustado de la muestra “Santa Clara (roja)”.

Proporcionamiento Arena (Santa Clara Roja)						
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Humedad		Absorción		Proporcionamiento real (kg)
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	339.38					339.38
Arena	439.23	0	0	9.32	40.94	398.29
Grava	1093.76	0	0	2.38	26.03	1067.73
Agua	209.4		0		66.97	276.37
	2081.77					2081.77

Tabla 2.32 Proporcionamiento base y proporcionamiento ajustado de la muestra “Chamacuero”.

Proporcionamiento Arena (Chamacuero)						
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Humedad		Absorción		Proporcionamiento real (kg)
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	339.38					339.38
Arena	535.24	0	0	3.18	17.02	518.22
Grava	1042.49	0	0	2.38	24.81	1017.68
Agua	209.4		0		41.83	251.23
	2126.51					2126.51

Tabla 2.33 Proporcionamiento base y proporcionamiento ajustado de la muestra “El Armadillo”.

Proporcionamiento Arena (El Armadillo)						
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Humedad		Absorción		Proporcionamiento real (kg)
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	339.38					339.38
Arena	434.58	0	0	5.89	25.6	408.98
Grava	1093.76	0	0	2.38	26.03	1067.73
Agua	209.4		0		51.63	261.03
	2077.12					2077.12

Tabla 2.34 Proporcionamiento base y proporcionamiento ajustado de la muestra “Janamuato”.

Proporcionamiento Arena (Janamuato)						
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Humedad		Absorción		Proporcionamiento real (kg)
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	339.38					339.38
Arena	401	0	0	7.39	29.63	371.37
Grava	1127.94	0	0	2.38	26.84	1101.1
Agua	209.4		0		56.47	265.87
	2077.72					2077.72

## CAPITULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 3.1 Pruebas de laboratorio

#### 3.1.1. Muestreo de arenas

**Objetivo.** Obtener y traer una muestra representativa del material (arena) que se va a emplear en la elaboración de las mezclas de concreto para poder realizar los estudios o pruebas correspondientes de dicho material en el laboratorio.

**Equipo.**

- Medio de transporte.
- Costales.
- Palas.
- Bolsas de plástico.

**Procedimiento.**

Los muestreos del material se pueden realizar en tres lugares, como se indica a continuación:

**Muestreo de agregados directamente del banco.** La muestra deberá extraerse del frente de ataque, es decir, de donde se ha estado extrayendo el material, teniendo especial cuidado de evitar la contaminación. Las muestras se tomaron de todos lados, desde el lado superior hasta el inferior, procurando obtener material de todas las propiedades realmente representativo. Finalmente, las muestras extraídas se mezclaron para hacer una suma total de material, esto se logra por medio del paleado y cuarteo de mezclas.

**Muestreo de agregados en camiones que suministren el material a la obra.** El muestreo en camiones se realiza tomando muestras pequeñas de material de la parte superior, la cual deberá ser representativa del total de la muestra.

**Muestreo de agregados almacenados en montículos.** Estos materiales se presentan por lo general en forma de cono, las muestras se tomaron mediante la ayuda de una pala o cucharón grande. El orden en que dichas muestras se tomen, será siguiendo una trayectoria helicoidal, es decir, que cubra tanto el área superior como la inferior; esto para lograr una buena representación del material.

La cantidad mínima de materia al realizar el muestreo debe ser de 50 Kilogramos, esto para las tres situaciones. La finalidad del muestreo, es lograr obtener una muestra

representativa del yacimiento de los agregados pétreos (arena), con lo cual se busca determinar la calidad del material.

### **3.1.2 Cuarteo en arena.**

**Objetivo.** Obtener una muestra representativa y tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.

#### **Equipo.**

- Charolas grandes de lámina.
- Palas de boca recta.
- Cucharones.
- Brochas o cepillo para pelo.
- Balanza o báscula.
- Divisor de muestras.
- Traza de plástico flexible.

#### **Procedimiento.**

Existen tres formas de efectuar el cuarteo de material pétreo, estas dependiendo de la cantidad de material que se va a reducir en partes iguales menores.

**Cuarteo por medio de palas.** En una superficie limpia se coloca el material pétreo del muestreo, con una pala se traspalea el material más de tres veces para mezclar los agregados de diferentes tamaños, esto moviéndolo de un lugar a otro. A continuación se forma un montículo, este se aplanar por medio de la pala para posteriormente dividir el material en cuatro partes iguales. Se seleccionan dos muestras opuestas separándolas del resto y se combinan, mientras que las otras dos opuestas se desechan, se repite el proceso, volviendo a seleccionar otras dos muestras diametralmente opuestas, hasta que quede una muestra apropiada para efectuar los ensayos que se deseen. Si se requiere disminuir aun más la cantidad de material se procede al uso del divisor de muestras.

**Cuarteo por medio del divisor de muestras.** Este aparato es un recipiente de lámina galvanizada, dividido en dos series de tolvas cuya descarga es alternada hacia dos lados opuestos entre sí. Bajo las tolvas se colocan dos charolas para recoger el material cuarteado, que se ha dejado caer verticalmente sobre la parte superior del aparato. El material recibido en uno de los recipientes se desecha mientras que la otra parte se vuelve a

cuartear de la misma manera hasta lograr un tamaño adecuado. Si se desea disminuir aun más la cantidad de material se hace uso del trozo del plástico.

**Procedimiento con el trozo de plástico. Para muestras pequeñas.** Este plástico por lo general es de 40 x 40cm, aproximadamente. Este plástico se coloca sobre una mesa y sobre él, se coloca la cantidad de material a cuartear; para realizar este cuarteo es necesario levantar los dos extremos opuestos del plástico hasta unirlos, se bajan y se hace lo mismo con los dos extremos restantes; este proceso se repite varias veces. Por último se elimina la mitad del material dejándolo caer por el bordo de la mesa sobre un recipiente, y así contaremos con la mitad del material, la cual se podrá seguir disminuyendo de tamaño por medio de este método.

Para obtener una muestra representativa para continuar con las siguientes pruebas, se realizó el cuarteo de las 5 muestras de arena utilizadas, por medio del primer método, “cuarteo por medio de palas”, tal como se observa en la figura 3.1



Figura 3.1 Cuarteo de arena por medio de palas

### 3.1.3 Humedad actual en arenas.

**Objetivo.** Determinar el porcentaje de humedad que contiene una arena en el momento que se va a utilizar para elaborar una mezcla, para así poder realizar la corrección correspondiente por humedad.

**Equipo.**

- Muestra representativa de arena de un kilogramo aproximadamente.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.

- Parrilla eléctrica.
- Espátulas.
- Cristal.

### **Procedimiento.**

De la muestra representativa se pesan 300 gramos aproximadamente, registrando este valor como peso inicial de la muestra o peso húmedo actual (Ph) posteriormente, esta muestra se coloca en una charola metálica sobre la parrilla eléctrica para hacer el secado del material moviéndolo con la espátula en forma constante para que el secado sea homogéneo hasta eliminar completamente la humedad del material, tal como se muestra en la figura 3.2.

Para saber cuándo el material ya está seco, se coloca el cristal sobre el material y en el momento que ya no se empañe esto significa que el material ya está seco. Procediendo a dejar enfriar completamente el material y pesarlo, este peso se registrará como peso final o peso seco de la muestra (Ps).

### **Cálculos.**

$$\%H. \text{ Actual} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Dónde:

Ph → Peso húmedo de la grava en gramos (g).

Ps → Peso seco de la grava en gramos (g).



Figura 3.2 Determinación de la humedad actual en arenas

### 3.1.4 Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.

**Objetivo.** Determinar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresada en porcentaje.

**Equipo.**

- Una muestra representativa de aproximadamente 2 kg.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Una parrilla eléctrica.
- Charolas metálicas.
- Un cono metálico.
- Un pisón.
- Una espátula.
- Una franela.
- Un cristal.

**Procedimiento.**

La muestra de 2 kg se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo. Al término de este tiempo se seca superficialmente la arena por medio del molde troncocónico como se describe a continuación:

Se coloca la arena en la charola y se coloca en la parrilla eléctrica para realizar la eliminación de agua que tiene en exceso, esto es, hacer el secado de la arena en forma superficial. Para saber cuándo la arena está seca superficialmente, se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pisón, dando 12 a la primera, 8 a la segunda y 5 a la tercera. Inmediatamente se retira el cono y si la arena trata de disgregarse quiere decir, que ya está seca superficialmente y si la arena mantiene la forma de cono, significa que todavía tiene agua en exceso, por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficial. Conforme vaya perdiendo la humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque el exceso. Cuando la arena está seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (Ph). La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua. Para saber cuándo el material está seco se coloca el

crystal sobre el material, si no lo empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

### Cálculos.

$$\% \text{ H. Absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} * (100)$$

Dónde:

$P_h$  → Peso saturado y superficialmente seco (g).

$P_s$  → Peso seco del material (g).



Figura 3.3 Determinación del porcentaje de absorción en arenas por medio del cono troncocónico

### 3.1.5 Densidad de la arena.

**Objetivo.** Esta prueba tiene como finalidad obtener el volumen absoluto de las partículas de arena, es decir, el volumen efectivo excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra.

#### Equipo.

- Muestra representativa de arena.
- Probeta graduada.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Franela.
- Charola.
- Picnómetro.

### Procedimiento.

Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas al término de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde tronco cónico.

En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial  $V_i$  en  $\text{cm}^3$ . Se llena de agua el picnómetro hasta que deje de caer agua por el orificio.

Enseguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca, anotando este valor como peso de la arena ( $P_i$ ) que aproximadamente sea entre 200 y 300 gramos.

Se coloca la probeta en el orificio del picnómetro y posteriormente se coloca la arena dentro del picnómetro, procurando que no salpique agua porque esto ocasionaría un error en la prueba, agitando un poco la probeta para expulsar el aire atrapado, esta operación va a provocar un aumento del volumen de agua y se va a registrar este valor como volumen final ( $V_f$ ).

### Cálculos.

$$\text{Densidad del Arena (DA)} = \frac{P_i}{V_f - V_i}$$

Dónde:

$P_i$  → Peso de la arena saturada y superficialmente seca en (g).

$V_f - V_i$  → Volumen colocado dentro de la probeta ( $\text{cm}^3$ ).

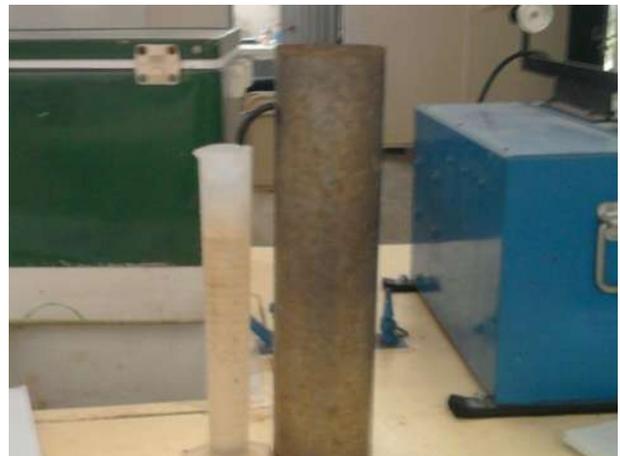


Figura 3.4 Determinación de la densidad de la arena por medio de la probeta

### 3.1.6 Determinación del peso volumétrico seco suelto de una arena (P.V.S.S.).

**Objetivo.** Determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre o natural.

**Equipo.**

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de peso y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una balanza.

**Procedimiento.**

Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenando completamente el recipiente hasta formar un cono.

Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo. Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.

**Cálculos.**

$$P.V.S.S. = \frac{P}{V}$$

Dónde:

P.V.S.S. → Peso volumétrico seco y suelto ( $\text{kg/m}^3$ ).

P → Peso de la muestra (kg).

V → Volumen del recipiente ( $\text{m}^3$ ).



Figura 3.5 Cálculo del peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.) de la arena.

### 3.1.7 Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (P.V.S.V.).

**Objetivo.** Determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el material tiene una determinada compactación.

#### **Equipo.**

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de peso y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8” de diámetro.
- Una balanza.

#### **Procedimiento.**

Se procede a llenar el recipiente con arena a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe de hacerse en tres capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material. Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores. Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.

#### **Cálculos.**

$$\text{P.V.S.V.} = \frac{P}{V}$$

Donde:

P.V.S.V. → Peso volumétrico seco y varillado ( $\text{kg/m}^3$ ).

P → Peso de la muestra (kg).

V. → Volumen del recipiente ( $\text{m}^3$ ).



Figura 3.6 Cálculo del peso volumétrico seco varillado (P.V.S.V.) en arenas

### 3.1.8 Granulometría o análisis granulométrico en arena.

**Objetivo.** Pasar por una serie de mallas o tamices la muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura.

#### **Equipo.**

- Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola con su respectiva tapa.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas y parrilla eléctrica.
- Cepillos de cerdas y alambre.

#### **Procedimiento.**

Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos. Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura no mayor de  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Cuando el material esté seco y frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo. Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa. Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente (Raf-Tap).

En una superficie horizontal y limpia se colocan siete hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillos de cerdas (figura 3.8).

Se procede a pesar cada uno de los materiales retenidos en las mallas hasta el décimo de gramo anotando los pesos en el registro correspondiente.

Se calcula el módulo de finura por medio de la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \text{de malla \#8 hasta \#100}}{100}$$



Figura 3.7 Granulometría en arenas



Figura 3.8 Separación granulométrica en las arenas

### 3.1.9 Prueba de colorimetría en arena.

**Objetivo.** Determinar el contenido de materia orgánica en una arena, en forma comparativa, utilizando una solución de color normal.

**Equipo.**

- Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm<sup>3</sup> con marcas a cada 25 cm<sup>3</sup> (frasco de biberón).  
Charolas, parrilla de secado, espátulas, balanza, vasos de precipitado.
- Material para las soluciones y vidrio de color normal.  
Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución en agua destilada.

**Procedimiento.**

Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente. Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.

Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm<sup>3</sup> adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm<sup>3</sup>. Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 horas.

Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal.



Figura 3.9 Ensayo de colorimetría en arenas

### 3.1.10 Prueba de equivalente de arena.

**Objetivo.** Determinar Las proporciones volumétricas relativas de las partículas gruesas de un suelo respecto a los finos plásticos que contiene, empleando un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos plásticos.

**Equipo.**

- Probeta de Lucita o acrílico graduada en décimos de pulgada.
- Tapón de hule.
- Tubo irrigador.
- Un tramo de manguera.
- Un pisón metálico de  $1000\pm 5$  gramos.
- Capsulas de  $85\pm 5$  ml (metálicas).
- Embudo.
- Cronómetro.
- Dos frascos de 3.875 litros.
- Malla N°4.
- Papel filtro N°12.
- Solución de trabajo.

**Procedimiento.**

Se toma una muestra aproximada de 500 gramos, que pase la malla N°4, procurando que no se pierdan finos. Se llena la cápsula y se golpea para acomodar el material y se enrasa. Previamente en la probeta se verterá solución de trabajo hasta una altura de  $4\pm 0.1$  pulgadas y se coloca la muestra en la probeta previamente preparada usando un embudo para evitar pérdidas de material. Se deja reposar  $10\pm 1$  minutos procurando no mover la probeta en este lapso de tiempo.

A continuación se coloca un tapón de hule a la probeta inclinándola para que afloje el material del fondo y se agita con una carrera de 20 centímetros (8 pulgadas) hasta completar 90 ciclos en 30 segundos.

Se introduce el tubo irrigador, se pica el material y con el mismo se baja el material que quedó en las paredes de la probeta, se llena con solución de trabajo hasta la marca de 15 y se deja reposar 20 minutos, al término de este tiempo en la escala de la

probeta se lee el nivel superior de la arcilla en suspensión la cual se denomina lectura de la arcilla.

Se introduce el pisón lentamente en la probeta ajustado hasta que el pisón se apoye en la arena, el nivel donde se apoya en la arena, se denomina lectura de la arena y se anota para proceder al cálculo.

#### **Cálculo.**

El equivalente de arena se obtiene aplicando la expresión siguiente.

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$



Figura 3.10 Determinación del equivalente de arena.

#### **3.1.11 Muestreo de grava**

**Objetivo.** Obtener y traer una muestra representativa del material (grava) que se va a emplear en la elaboración de las mezclas de concreto para poder realizar los estudios o pruebas correspondientes de dicho material en el laboratorio.

##### **Equipo.**

- Medio de transporte.
- Costales.
- Palas.
- Bolsas de plástico.

##### **Procedimiento.**

Los muestreos del material se pueden realizar en tres lugares, como se indica a continuación:

**Muestreo de agregados directamente del banco.** La muestra deberá extraerse del frente de ataque, es decir, de donde se ha estado extrayendo el material, teniendo especial cuidado de evitar la contaminación. Las muestras se tomarán de todos lados finalmente, las muestras extraídas deberán mezclarse para hacer una suma total de material, esto se logra por medio del paleado y cuarteo de mezclas.

**Muestreo de agregados en camiones que suministren el material a la obra.** El muestreo en camiones se realiza tomando muestras pequeñas de material de la parte superior, la cual deberá ser representativa del total de la muestra.

**Muestreo de agregados almacenados en montículos.** Estos materiales se presenta por lo general en forma de cono, las muestras se tomaran mediante la ayuda de una pala y sobre todo el material. La cantidad mínima de materia al realizar el muestreo debe ser de 50 Kilogramos, esto para las tres situaciones. La finalidad del muestreo, es lograr obtener una muestra representativa del yacimiento de los agregados pétreos (grava), con lo cual se busca determinar la calidad del material.

### 3.1.12 Cuarteo en gravas.

**Objetivo.** Obtener una muestra representativa y tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.

#### **Equipo.**

- Charolas grandes de lámina.
- Palas de boca recta.
- Cucharones.
- Balanza.
- Divisor de muestras o cuarteador de Johnson.

#### **Procedimiento.**

Existen dos formas de efectuar el cuarteo de material pétreo, estas dependiendo de la cantidad de material que se va a reducir en partes iguales menores.

**Cuarteo por medio de palas.** En una superficie limpia se coloca el material pétreo del muestreo, con una pala se traspalea el material más de tres veces para mezclar los agregados de diferentes tamaños, esto moviéndolo de un lugar a otro. A continuación se forma un montículo, éste se aplana por medio de la pala para posteriormente dividir el

material en cuatro partes iguales. Se seleccionan dos muestras opuestas del resto y se combinan, mientras que las otras dos opuestas se desechan, se repite el proceso, volviendo a seleccionar otras dos muestras diametralmente opuestas, hasta lograr una muestra apropiada para los análisis correspondientes. Si se requiere disminuir aún más la cantidad de material se procede al uso del divisor de muestras.

**Cuarteo por medio del divisor de muestras.** Este aparato es un recipiente de lámina galvanizada, dividido en dos series de tolvas cuya descarga es alternada hacia dos lados opuestos entre sí. Bajo las tolvas se colocan dos charolas para recoger el material cuarteado. El material recibido en uno de los recipientes se desecha mientras que la otra parte se vuelve a cuartear de la misma manera hasta lograr un tamaño adecuado.

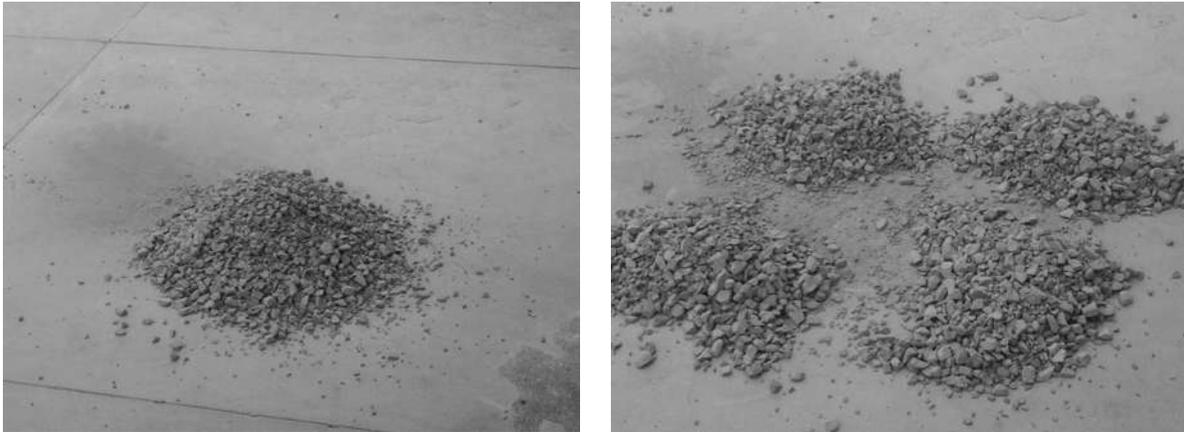


Figura 3.11 Cuarteo de la grava por medio de palas.

### 3.1.13 Humedad actual en gravas.

**Objetivo.** Determinar la cantidad de agua que contiene una grava en porcentaje, en estado natural, en el momento que va a ser utilizada.

#### **Equipo.**

- Muestra representativa de 1000 gramos aproximadamente.
- Charola Metálica.
- Espátula.
- Parrilla Eléctrica.
- Vidrio.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.

#### **Procedimiento.**

Se pesa la muestra de grava registrando este peso como peso húmedo (Ph) en gramos. Enseguida se coloca en la charola para exponerla en la fuente de calor para eliminar el agua que contiene la grava, moviéndola constantemente con la espátula para que el secado sea uniforme.

Cuando aparentemente esté seca colocamos el cristal sobre ella para hacer la verificación del secado, si se empaña el cristal o se le forman gotas de agua quiere decir que el material todavía está húmedo y por lo tanto se debe seguir moviéndolo hasta que se seque completamente, se repite la operación con el vidrio.

Cuando está seca la grava, se retira de la fuente de calor y se deja enfriar completamente, posteriormente se pesa anotando este peso como peso seco (Ps) en gramos, como se indica en la siguiente fórmula.

**Cálculos.**

$$\%H. \text{ Actual} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Dónde:

Ph → Peso húmedo de la grava en gramos (g).

### **3.1.14 Humedad de absorción en gravas.**

**Objetivo.** Determinar la capacidad máxima de absorción de una grava expresándola en porcentaje respecto a su peso seco.

**Equipo.**

- Muestra de grava de aproximadamente un kilogramo.
- Franela.
- Vidrio.
- Charolas metálicas.
- Parrilla eléctrica.
- Espátula.
- Mallas 3/4 y 3/8”.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.

**Procedimiento.**

De la muestra que se trae de campo se criba a través de las mallas 3/4” y 3/8” y del material que pasa las mallas 3/4” y se retiene en 3/8” se pone a saturar en una charola una muestra de 0.5 a 1.0 kilogramo durante 24 horas.

Enseguida con una franela, se seca la muestra superficialmente de la grava y se pesan aproximadamente 300 gramos anotando este valor como (Ph) peso saturado y superficialmente seco.

Se procede a colocar este material en una charola para secarlo en la parrilla eléctrica, para saber cuándo se ha eliminado completamente la humedad se coloca el vidrio sobre el material y si no empaña o se forman gotas de agua se retira, se deja enfriar completamente y se procede a pesarlo registrando este peso como (Ps) peso seco del material.

#### **Cálculos.**

$$\%H. \text{ Absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Dónde:

Ph → Peso saturado y superficialmente seco de la grava en gramos (g).

Ps → Peso seco de la grava en gramos (g).



Figura 3.12 Muestras de grava para el cálculo de la humedad de absorción.

#### **3.1.15 Densidad en gravas.**

**Objetivo.** Determinar el volumen absoluto de las partículas de grava en peso por unidad de volumen.

**Equipo.**

- Muestra representativa de grava.
- Probeta graduada.
- Picnómetro.
- Franela y charola.
- Una balanza.

**Procedimiento.**

Se toma una muestra de grava saturada y superficialmente seca de 300 gramos, para obtenerlo se deja saturando la grava retenida en la malla 3/8” y que pasa la 3/4” durante 24 horas, secándola superficialmente con una franela, este peso se registra como el peso de la muestra (Pi).

Se llena el picnómetro hasta el nivel del orificio con agua, se coloca en una superficie plana y se procede a colocar la muestra de grava dentro, recibiendo el agua desalojada con una probeta graduada. Cuando se haya terminado de colocar la grava dentro del picnómetro se espera a que escurra el agua desalojada y se tendrá en la probeta el volumen del agua que corresponde al volumen (V) de las partículas de grava.

**Cálculos.**

$$D = \frac{P_i}{V}$$

Dónde:

D → Densidad (g/cm<sup>3</sup>).

Pi → Peso de la grava en gramos (g).

V → Volumen de la grava (cm<sup>3</sup> ó ml).



Figura 3.13 Calculo de la densidad de la grava por medio del picnómetro

### 3.1.16 Determinación del peso volumétrico seco suelto en gravas (P.V.S.S.).

**Objetivo.** Determinar el peso por unidad de volumen cuando la grava se encuentra en estado natural seco y suelto.

#### **Equipo.**

- Una muestra de grava completamente seca de aproximadamente 15 kg.
- Un recipiente de peso y volumen conocido, aproximadamente 10 l.
- Cucharón.
- Pala y rastrillo.
- Una balanza.

#### **Procedimiento.**

Se vacía grava dentro del recipiente dejándole caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono. Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.

Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la grava.

**Cálculos.**

$$P.V.S.S. = \frac{P}{V}$$

Dónde:

P.V.S.S. → Peso volumétrico seco y suelto ( $\text{kg/m}^3$ ).

P → Peso de la grava (kg).

V → Volumen del recipiente ( $\text{m}^3$ ).

**3.1.17 Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (P.V.S.V.).**

**Objetivo.** Obtener el peso de la grava por unidad de volumen cuando es sometida a cierto grado de compactación.

**Equipo.**

- Una muestra de grava completamente seca de aproximadamente 15 kg.
- Un recipiente de peso y volumen conocido, aproximadamente 10 l.
- Cucharón.
- Pala y rastrillo.
- Una balanza.

**Procedimiento.**

Se procede a llenar el recipiente con grava a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe de hacerse en tres capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material. Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes

Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.

Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.

**Cálculos.**

$$P.V.S.V. = \frac{P}{V}$$

Dónde:

P.V.S.V. → Peso volumétrico seco y varillado ( $\text{g/cm}^3$ ).

P → Peso de la grava (g).

V → Volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>).

### 3.1.18 Granulometría en gravas.

**Objetivo.** Obtener la distribución de los tamaños de las partículas de la grava así, como el tamaño máximo (T.M.) de la grava, valor que se utiliza para el cálculo del proporcionamiento.

#### **Equipo.**

- Muestra de grava en estado suelto.
- Juego de mallas: 1”, ¾”, ½”, ⅜”, y N°4.
- Juego de charolas para recibir el material que se retiene en cada una de las mallas.
- Recipiente de 10 litros.

#### **Procedimiento.**

Se seca previamente la muestra de grava en un horno a 110° C ± 5°C durante 24 horas, enseguida se llena el recipiente de 10 litros, previamente tarado, la grava que se utilizó para llenar el recipiente se pesa y este peso se registra como peso de la muestra a realizarse el cribado o granulometría (Pm).

Enseguida se pasa la grava a través de las mallas colocándolas de la mayor a la menor, agitándolas con la mano para que las partículas de menor tamaño pasen a la malla siguiente, cuando se haya terminado con la muestra de grava, se pesa el material retenido en cada malla y posteriormente se elabora una tabla, registrando los pesos retenidos en cada malla.

El tamaño máximo de la grava se obtiene observando la columna de los % retenidos y el primer tamaño de la malla que retenga el 5 % o más del peso de la muestra, se elige como tamaño máximo.



Figura 3.14 Cribado de la grava para determinar su granulometria y tamaño maximo nominal.

## 3.2 Especímenes.

### 3.2.1 Revenimiento del concreto.

**Objetivo.** Describir el procedimiento para la obtención del revenimiento del concreto, esto para conocer la fluidez de la mezcla.

**Equipo.**

- Cono de revenimiento.
- Charola.
- Cucharón.
- Varilla punta de bala de 5/8” de diámetro.
- Pala.
- Cinta métrica.

**Procedimiento.**

Se obtiene una muestra representativa en una charola. Se humedece el molde de revenimiento y el cucharón.

Se coloca el molde sobre una superficie lisa y sólida (placa metálica) y se sujeta colocando los dos pies en las orejas que tiene el molde.

Se mezcla un poco el concreto y se vierte usando el cucharón, se llena una tercera parte del molde y se le dan 25 golpes con la varilla punta de bala, estos golpes se dan en toda el área interior del molde cuidando no golpear la superficie sólida. Se llena la segunda tercera parte del molde, dando la misma cantidad de golpes y tratando de llegar hasta la capa anterior. Se llena la última capa, llenando con esta el molde hasta que quede sobrado, es decir, que sobre pase el nivel, esto para que al golpear 25 veces con la varilla se acomoden las partículas y no nos falte mezcla para llenar el molde. Se enraza el molde con ayuda de la varilla.

Se retira el molde en forma vertical en un tiempo aproximado de 5 segundos. Por último se voltea el molde en forma contraria a como estaba colocado, colocando la varilla sobre esta cara y se mide la distancia que hay entre la altura del molde con respecto a la del concreto.

El método de proporcionamiento de concreto del ACI (American Concrete Intitute) proporciona una tabla (Tabla 3.1 que se presenta a continuación) que sirve como base para saber que revenimiento utilizar de acuerdo al elemento que se pretende construir.

Tabla 3.1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Tipos de construcción	Revenimiento	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

De acuerdo a la norma NMX-C-156-ONNCCE, para un concreto de revenimiento de 10 existe una tolerancia de  $\pm 2.5$  cm.



Figura 3.15 Obtención del revenimiento de las mezclas de concreto para los especímenes.

### 3.2.2 Elaboración de cilindros de concreto.

**Objetivo.** Conocer el procedimiento en la fabricación de cilindros para la prueba de compresión simple.

#### **Equipo.**

- Varilla punta de bala.
- Charola.
- Pala.
- Cucharón.
- Moldes de cilindros de 10 x 20cm, siempre y cuando el tamaño máximo del agregado sea no mayor a  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

#### **Procedimiento.**

Una vez que ya se tiene la mezcla de concreto con la que se van a elaborar los cilindros, es necesario aceitar el interior de los moldes que se van a utilizar para evitar que el concreto se adhiera al metal.

El cilindro se llena en dos capas de igual altura (10cm) y cada capa se apisona con una varilla lisa de  $\frac{5}{8}$  de diámetro con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa tratando de abarcar la totalidad de la superficie del concreto, teniendo en cuenta de que la varilla solo atravesase la capa que se está compactando, sin pasar a la capa siguiente. Una vez que ya se realizó la compactación con la varilla punta de bala, se dan 15 golpes con la varilla o con un martillo de caucho a las paredes de este, hasta que la superficie del concreto cambie de mate a brillante, con el objeto de eliminar considerablemente las burbujas de aire que se queda atrapado en el concreto.

Al final de la compactación se completa el llenado del molde con más mezcla y se alisa la superficie con la ayuda de la varilla punta de bala. Los cilindros recién colados deben quedar en reposo, en un sitio cubierto y protegidos de cualquier golpe o vibración, después de 24 horas se desmoldan cuidadosamente y se procede a marcarlos y someterlos a curado en una pila con agua cuidando que queden totalmente sumergidos.

### **3.2.3 Elaboración de vigas de concreto**

**Objetivo.** Conocer el procedimiento en la fabricación de vigas para la prueba de flexión en el concreto.

**Equipo.**

- Varilla punta de bala.
- Charola.
- Pala.
- Cucharón.
- Moldes para vigas de 15 cm x 15 cm x 60 cm.

**Procedimiento.**

Una vez que se tiene la muestra de concreto lista y después de haber obtenido el revenimiento, se procede a engrasar los moldes que se van a utilizar, esto para facilitar el descimbrado.

El llenado de los moldes se debe de realizar en dos capas de igual tamaño (7.5 cm de altura aproximadamente) con ayuda del cucharón o pala. Al llenar la primera capa se dan 90 golpes con la varilla punta de bala (5/8 de diámetro) sobre todo el volumen del concreto colocado en el interior del molde, esto para compactar la mezcla, al cabo de esto se golpea con el mazo de goma en 15 ocasiones sobre el perímetro exterior del molde y así eliminar considerablemente la cantidad de aire atrapado. Posteriormente se hace lo mismo con la siguiente capa restante, procurando poner un poco de mezcla en exceso, esto para poder engrasar los moldes y darles un acabado liso.



Figura 3.16 Elaboración de las vigas de concreto para determinar la flexión.

### 3.2.4 Curado de los especímenes

**Objetivo.** Describir el procedimiento para evitar la pérdida de agua en el concreto al fraguar, es decir, la pérdida de agua por la evaporación debido al clima.

**Equipo.**

- Cuarto húmedo o Pila de curado.

**Procedimiento.**

Al terminar el colado de los especímenes de concreto (cilindros y vigas), estos se deben de cubrir con una bolsa de plástico para evitar que el concreto que está dentro del molde pierda humedad durante el fraguado. A esta práctica se le conoce como curado inicial del concreto.

Al descimbrar el cilindro o viga, este se marca y enumera para su posterior identificación. Después se procede a colocarlo en la pila de curado, cuidando que el agua cubra por completo a los especímenes.

De acuerdo a la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004, la temperatura del agua para el curado de los especímenes de concreto debe de ser 23°C aproximadamente, esto para que se efectúe la reacción química de hidratación. Por último el cilindro o viga será retirado de la pila de curado el día en que se vaya a probar a compresión, tensión indirecta o flexión.

El curado del concreto es un aspecto muy importante en cuanto al desarrollo de la resistencia del concreto se refiere, existe un aumento considerable en el porcentaje de resistencia del concreto, si un espécimen es curado continuamente a uno que no lo es, o que

solo es curado durante los primeros tres o siete días de edad. Tal como se muestra en la figura 3.12

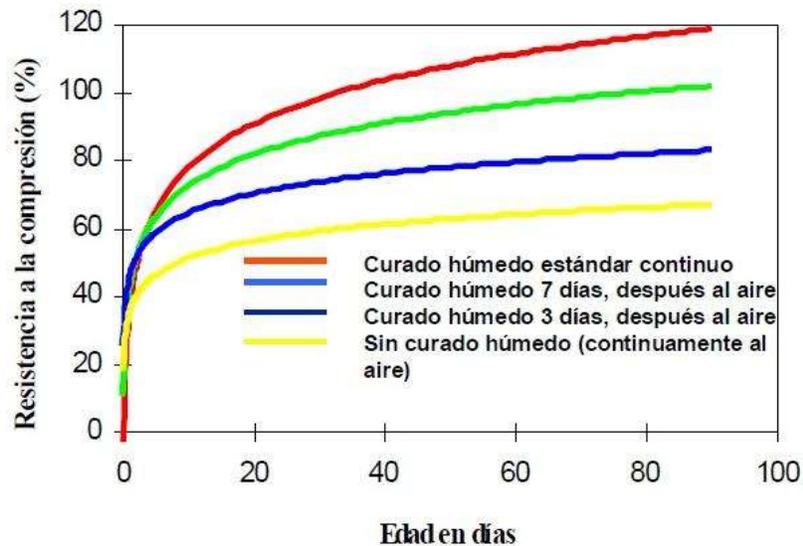


Figura 3.17 Comparación del desarrollo de resistencia del concreto de acuerdo al tiempo de curado. [14]



Figura 3.18 Pila de curado para los especímenes.

### 3.2.5 Velocidad de pulso ultrasónico.

El método de velocidad de pulso ultrasónico ha sido usado exitosamente para evaluar la calidad del concreto por más de 60 años. Este método puede ser usado para evaluar grietas internas y otros defectos como por ejemplo cambios en el concreto por deterioro debido a agresiones químicas del medio ambiente, así como por congelación y deshielo. Mediante el uso del método de la velocidad ultrasónica, también puede ser posible estimar la resistencia de especímenes de concreto y de concreto en obra. Este método

utiliza ondas mecánicas que no ocasionan ningún daño al elemento de prueba. El espécimen de prueba puede ser probado varias veces en la misma localización, lo cual es útil para el monitoreo de concreto sometido a cambios estructurales internos por un largo periodo de tiempo [15]

El desarrollo del método de velocidad de pulso comenzó en Canadá. Los investigadores Leslie y Cheesman desarrollaron un instrumento llamado soniscope (Leslie and Cheesman, 1949). Alrededor del mismo tiempo, en Inglaterra, otro investigador desarrolló un instrumento llamado probador ultrasónico (Jones, 1948). En un principio, ambos, el soniscope y el probador ultrasónico, fueron bastante similares, con pequeñas diferencias en detalle. Desde 1960, los métodos de velocidad de pulso han sido llevados fuera de los laboratorios, a las construcciones u obras civiles [16]

### **Equipo de prueba.**

El instrumento de prueba consiste de un medio para producir un pulso de onda en el concreto (generador y transmisor de pulso) y un medio de sensibilidad de llegada de pulso (receptor) y medir con precisión el tiempo tomado por el pulso que viaja a través del concreto. El equipo puede ser conectado a un osciloscopio o a otro dispositivo de pantalla, para observar la naturaleza del pulso recibido. Se tienen equipos portátiles de prueba de velocidad de pulso ultrasónico, los cuales son simples de operar, además pueden incluir baterías recargables o una unidad de carga. Típicamente, los tiempos de pulso son de hasta  $6500\mu\text{s}$  y pueden ser medidos con una resolución de  $0.1\mu\text{s}$ . La medición del tiempo de viaje es promediada. El instrumento cuenta con 2 transductores, uno para recibir y uno para transmitir el pulso ultrasónico. Estos transductores tienen frecuencias de 25 a 100kHz y son los usados para realizar pruebas en el concreto. Se tienen también transductores con diferentes frecuencias de resonancia para aplicaciones especiales: transductores de alta frecuencia (arriba de 100kHz) son usados para muestras pequeñas, trayectorias relativamente cortas, o concreto de alta resistencia, mientras que los transductores de bajas frecuencias (por debajo de 25kHz) son usados para especímenes grandes y trayectorias relativamente grandes, concreto con tamaño de agregado grande. Estos transductores principalmente generan ondas de compresión en una frecuencia predominante, con la mayor parte de la energía de onda dirigida a lo largo del eje normal a la cara del transductor.

### **Método de prueba**

La idea básica del método de velocidad de pulso es establecer que la velocidad de un pulso de onda de compresión a través de un medio depende de las propiedades elásticas y de la densidad del medio.

El transductor transmisor del instrumento de velocidad de pulso transmite una onda en el concreto y el transductor receptor, a una distancia  $L$ , recibe el pulso que pasa por el concreto en otro punto. La pantalla del instrumento de velocidad de pulso indica el tiempo de tránsito,  $\Delta t$ , que toma el pulso de la onda de compresión en viajar a través del concreto. La velocidad del pulso de la onda de compresión  $V$ , por lo tanto, es:

$$V = \frac{L}{\Delta t}$$

Para transmitir o recibir el pulso, los transductores deben estar en completo contacto con el objeto de prueba; de otro modo el aire entre el objeto de prueba y el transductor puede introducir un error en el tiempo de tránsito indicado. Este error es introducido por que sólo una insignificante cantidad de energía de onda puede ser transmitida a través del aire. Se pueden usar muchos acopladores del mercado para eliminar el aire y asegurar un buen contacto entre la muestra y los transductores. Jalea a base de petróleo nos da uno de los mejores acoplamientos. Las capas del acoplador deben de ser tan delgadas como sea posible. Aplicando una presión constante en los transductores, se podrán tomar lecturas repetidas en una ubicación hasta obtener un mínimo valor de tiempo de tránsito. Si la superficie del concreto está muy rugosa, se debe usar grasa espesa como acoplador. En algunos casos, que se tenga que suavizar la superficie rugosa o establecer una superficie lisa se puede hacer con el uso de yeso de París, o con una pasta de cemento de fraguado rápido o con un mortero epóxico de fraguado rápido. En superficies muy rugosas, también puede emplearse un receptor exponencial con un diámetro de punta de sólo 6mm, como por ejemplo, superficies de mortero dañadas por fuego o por la acción de la intemperie. Sin embargo, hay que destacar que esta prueba es buena sólo para recibir la señal. Se requiere una superficie lisa para el transductor transmisor [15]

La velocidad de pulso para un concreto ordinario es típicamente de 3700 a 4200m/s. Por tanto, para un trayecto de 300mm el tiempo de viaje es aproximadamente de 70 a 85µs. Es obvio que el instrumento debe ser muy exacto para mediciones con pequeños tiempos de tránsito. La trayectoria debe ser medida también con cuidado. Debido a que el método de velocidad de pulso es una técnica de propagación de onda, debe ser eliminada cualquier fuente (como por ejemplo martillos neumáticos) del menor movimiento de onda durante la prueba.

En el año de 1985 Malhotra publicó un criterio de aceptación para el concreto hidráulico, sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica [17]. La clasificación del concreto en categorías con base a intervalos de velocidad se presenta en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Clasificación del concreto de acuerdo a la velocidad de pulso

Velocidad ultrasónica, v (m/s/	Clasificación del concreto
V > 4575	Excelente
4575 > V > 3660	Bueno
3660 > V > 3050	Cuestionable
3050 > V > 2135	Pobre
V < 2135	Muy Pobre

### 3.2.6 Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es una propiedad de cada material, y corresponde al recíproco de su conductividad. Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del mortero y en menor grado, de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa en función de variables tales como: el tipo de cemento, las adiciones

inorgánicas, la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, entre otras. Su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. [18]

En el concreto la medida de la resistividad es una prueba no destructiva que nos indica el grado de riesgo a la corrosión. Por ejemplo un concreto muy poroso será más propenso que uno con menor porosidad. Esta prueba se realiza en el laboratorio directamente sobre los especímenes cilíndricos de concreto, para lo cual se utiliza el aparato llamado resistometro.

### **Procedimiento de prueba**

Para elaborar la prueba de resistividad eléctrica a cilindros de concreto, primeramente se debe preparar el equipo, se conecta a la batería y se conectan los cables a los puntos emisor y receptor de señal, y estos a su vez se conectan a unas placas de cobre llamadas conectores, que será donde se colocaran los especímenes. Una vez listo el equipo se procede a colocar el espécimen en estudio entre los conectores. Cabe mencionar que es necesario poner un trozo de tela húmeda entre los conectores y el espécimen, también es prudente usar un contrapeso sobre el conector superior, estas recomendaciones sirven para asegurar que exista un buen contacto y así obtener una buena lectura. Después se procede a seleccionar el rango en el resistometro, para esto, se mantiene el interruptor hacia arriba y se gira la perilla menor hacia la izquierda hasta que la aguja se mueva. Hecho lo anterior, ahora se mantiene el interruptor hacia abajo y se gira la perilla menor hasta que la aguja se mantenga centrada y esa será la lectura de resistividad eléctrica en ohms.

Una vez obtenido el valor del resistometro, basta aplicar la siguiente fórmula para encontrar el riesgo a la corrosión, que es el valor que nos interesa.

$$P = Re \frac{A}{L}$$

Dónde:

P → Riesgo de corrosión (k ohms/cm).

Re → Resistividad (ohms).

A → Área de la sección (cm<sup>2</sup>).

L → Longitud del espécimen (cm<sup>2</sup>).

Dado que no existe norma alguna que indique rango de valores para este parámetro, solo se hace una comparación con la clasificación que indica el manual de control, la cual se presenta a continuación en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Riesgo a la corrosión en función de la resistividad

<b>Riesgo de corrosión</b>	
$P > 200 \text{ K ohms-cm}$	Poco riesgo
$200 > P > 10 \text{ K ohms-cm}$	Riesgo moderado
$P < 10 \text{ K ohms-cm}$	Alto riesgo

### 3.2.7 Frecuencia de resonancia magnética

La frecuencia natural de vibración es una propiedad dinámica de un sistema elástico y se relaciona sobre todo con el Módulo de Elasticidad Dinámico y la densidad del sistema, por lo tanto, la frecuencia natural de vibración de una viga puede ser utilizada para determinar su Módulo de Elasticidad Dinámico.

A finales de los 1930's y principios de los 1940's otros investigadores mejoraron el método mediante el uso de equipos electrónicos para medir las frecuencia de resonancia (Hornibrook, 1939; Thomson, 1940; Obert and Duvall, 1941). En estas pruebas los especímenes eran excitados por una fuerza vibratoria. La resonancia era indicada por las vibraciones que tenían una amplitud máxima hasta que la frecuencia inducida cambiara. La frecuencia de resonancia era leída con precisión de una escala gradual de un oscilador con manejo de audio variable. El equipo es usualmente conocido como un sonómetro

#### Aparato de prueba

El aparato de prueba es el requerido por la ASTM C 215-85, titulada Método de prueba para frecuencias fundamentales longitudinales, transversales, y torsionales de especímenes de concreto (ASTM C 215-02, 2003)[20], El aparato consiste principalmente de dos secciones: una genera vibraciones mecánicas y la otra detecta estas vibraciones.[21]

En la generación de vibraciones, la principal parte es un oscilador electrónico de audio frecuencia, el cual genera voltajes eléctricos de audiofrecuencia. La salida del oscilador es amplificada a un nivel adecuado para producir vibraciones mecánicas. Las vibraciones mecánicas son detectadas por un transductor piezoeléctrico. El transductor está contenido en una unidad separada y convierte las vibraciones mecánicas en voltaje eléctrico de corriente alterna de las mismas frecuencias. Estos voltajes son amplificados para la operación del panel medidor el cual indica la amplitud del transductor de salida. Como la frecuencia de la unidad de manejo del oscilador es variada, un máximo en la aguja del medidor indica cuando se alcanza la resonancia.

### 3.2.8 Determinación de la resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto.

**Compresión simple.** Significa que se le aplicará una carga axial concéntrica al cilindro de concreto.

**Objetivo.** Descripción del procedimiento para determinar la resistencia que presenta el concreto al ser sujeto a una carga de compresión simple.

**Utilidad práctica.** Control de calidad del concreto es decir, verificar la resistencia real del concreto contra la resistencia de proyecto.

**Equipo.**

- Máquina universal Forney.
- Regla para medir el diámetro del cilindro.

**Procedimiento.**

Teniendo ya el diámetro del espécimen se coloca en la máquina ya previamente cabeceado, limpiando perfectamente las placas de apoyo en la máquina y centrando el eje vertical del espécimen en el centro de la placa de apoyo.

Se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que no se aplique carga de impacto si no que apenas quiera rozar el espécimen.

Se nivela el rango de 75000 kg con una aproximación de 125 kg y se pone en ceros la máquina. Se aplica la carga a una velocidad constante, respecto a este punto se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Que no se suspenda la aplicación de la carga por ningún contratiempo y luego se vuelva a poner a funcionar cuando el espécimen ya se aproxime a la carga de falla.
- La carga de falla la podemos prefijar conociendo el % de resistencia según su edad, que debe de observar, esta carga se prefija multiplicando el área de la sección transversal del cilindro por la resistencia de proyecto ( $f'c$ ).

Se continúa la carga del espécimen hasta la falla registrándola y observando su tipo de falla y la apariencia del material.

**Cálculo.**

Para calcular el esfuerzo real que resiste el concreto, se divide la carga resistente entre el área de la sección transversal.

$$E = \frac{P}{A}$$

Dónde:

P= Carga de ruptura (kg).

A= Área de la sección transversal del espécimen (cm<sup>2</sup>).

E= Esfuerzo que resiste el espécimen (kg/cm<sup>2</sup>).

La norma NMX-C-083-ONNCCE, establece los métodos de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. Antes del ensaye, las bases de los especímenes o caras de aplicación de carga no se deben apartar de la perpendicular al eje y no se permiten irregularidades respecto de un plano, por lo contrario el espécimen tendrá que ser cabeceado [22].

Cabe señalar que la carga debe de ser aplicada con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de 84 kgf/cm<sup>2</sup>/min a 210 kgf/cm<sup>2</sup>/min.



Figura 3.19 Prueba a compresión en cilindros de concreto

### 3.2.9 Determinación de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto.

**Objetivo.** Determinar la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto.

**Equipo.**

- Máquina universal Forney.
- Placa o barra de apoyo suplementario
- Tiras de apoyo

### **Procedimiento.**

Tomar las dimensiones del diámetro promediando las medidas, dos cerca de los extremos y una al centro siguiendo el plano de los diámetros. La longitud se medirá promediando las 2 medidas de las líneas que unen los extremos de cada línea que marca el diámetro en las caras de los especímenes [23].

Se selecciona el rango de 15000 kg y se nivela, teniendo una aproximación de 25 kg al obtener los resultados de carga.

Colocar las tiras a lo largo del centro de la placa de apoyo inferior. El espécimen se coloca sobre la tira y se acomoda de tal modo que las líneas marcadas en sus extremos sean verticales y queden concentradas sobre la tira, se coloca longitudinalmente la segunda tira sobre el cilindro, concentrándola sobre las líneas marcadas. El conjunto debe colocarse de tal manera que garantice las siguientes condiciones:

- Que la prolongación del plano que contenga las 2 líneas marcadas en los extremos del espécimen pasen por el centro de la placa superior de apoyo.
- Que la placa suplementaria cuando se use y el centro del espécimen estén directamente debajo del centro de la placa con apoyo esférico.

La carga se aplica continuamente y sin impacto a una velocidad uniforme dentro del intervalo de 7 a 14 kg/cm<sup>2</sup>/min de esfuerzo indirecto de tensión hasta la falla del espécimen, debe de anotarse la carga máxima aplicada que indique la máquina de ensaye en la falla, el tipo de falla y la apariencia del concreto.

### **Cálculo.**

La resistencia a la tensión indirecta del espécimen se calcula con:

$$T = \frac{2P}{D * L}$$

Dónde:

T= Resistencia a tensión indirecta (kg/cm<sup>2</sup>).

P= Carga máxima (kg).

L= Longitud (cm).

D= Diámetro (cm).



Figura 3.20 Prueba de tensión indirecta en cilindros de concreto.

### 3.2.10 Determinación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto

**Objetivo.** Conocer el procedimiento de ensaye para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas moldeadas en el laboratorio.

#### **Equipo.**

- Máquina de prueba Forney.
- Accesorios para la flexión (placa y tubos metálicos).
- Fluxómetro.

#### **Procedimiento.**

El espécimen debe voltearse sobre uno de sus lados, respecto a la posición original en la que fue colado, se marca con un crayón o marcador la posición en donde tendrán que estar los cuatro apoyos, se elige el rango de 7500 kg y se nivela, contando con una aproximación de 12.5kg.

Se centran los apoyos inferiores y posteriormente los superiores, quedando así un tercio central en el espécimen, entre los apoyos. Si la viga presenta aristas deformes debido al molde, estas tendrán que ser eliminadas para que la carga se aplique correctamente en cada parte de contacto. La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda 10 kgf/cm<sup>2</sup> por min, permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga estimada de ruptura.

Si la fractura de las vigas se presenta en el tercio medio del claro por lo que el módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{(P)(L)}{B D^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en no más del 5% del claro, los resultados deberán descartarse.

Donde:

R= Es el módulo de ruptura en kPa (kgf/cm<sup>2</sup>).

P= Es la carga máxima aplicada en N (kgf).

L= Es la distancia entre apoyos (cm).

B= Es el ancho promedio del espécimen (cm).

D= Es al peralte promedio del espécimen (cm).



Figura 3.21 Prueba de flexión en vigas de concreto.

Es importante mencionar que en las vigas de concreto a edades tempranas 7 y 14 días (figura 3.22 inciso (A)), fallaba solo la pasta (arena –cemento), esto debido a que a estas edades aún no se tiene una buena adherencia entre pasta y agregado grueso, en cambio a edades mayores 28, 70 y 110 días (figura 3.22 inciso (B)), la falla es continua pasta – agregado debido a que ya se ha alcanzado una buena adherencia entre todos los agregados del concreto.

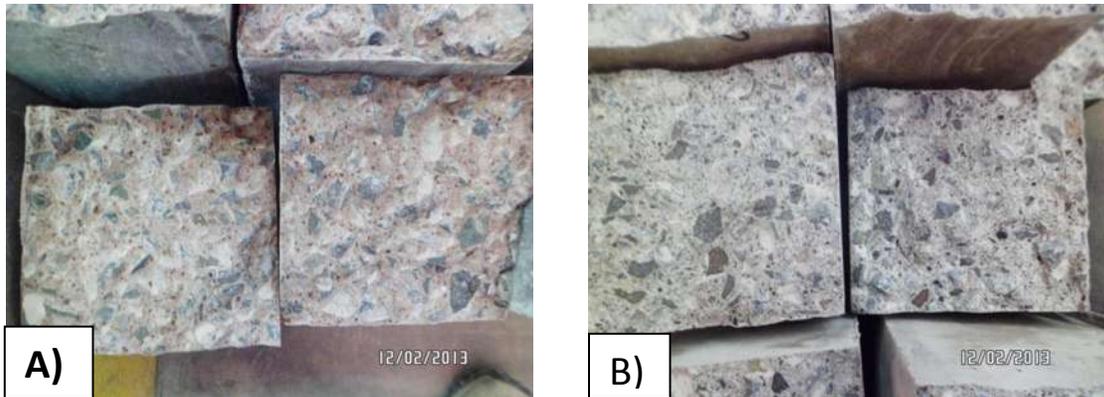


Figura 3.22 Plano de falla en las vigas de concreto a diferentes edades, A) edades tempranas, B) edades tardías.

## CAPITULO 4. RESULTADOS.

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron en el presente estudio, los cuales comprenden caracterización física de los materiales, caracterización química, pruebas destructivas y no destructivas de los especímenes de concreto.

Para una adecuada y fácil comprensión de los mismos, se hará uso de tablas y gráficas.

### 4.1 Caracterización física de los materiales

Tabla 4.1 comparación de pesos volumétrico seco suelto (PVSS)						
	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato	Grava
1	1.194	1.02	1.274	1.046	1.137	1.587
2	1.15	1.055	1.265	1.044	1.132	1596
3	1.183	1.06	1.254	1.044	1.119	1.620
Prom.	1.176 gr/cm <sup>3</sup>	1.045 gr/cm <sup>3</sup>	1.264 gr/cm <sup>3</sup>	1.095 gr/cm <sup>3</sup>	1.129 gr/cm <sup>3</sup>	1.601 gr/cm <sup>3</sup>

Tabla 4.2 comparación de pesos volumétrico seco varillado (PVSV)						
	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato	Grava
1	1.259	1.095	1.327	1.145	1.24	1.709
2	1.267	1.076	1.316	1.122	1.24	1.714
3	1.254	1.078	1.323	1.131	1.25	1.705
Prom.	1.26 gr/cm <sup>3</sup>	1.083 gr/cm <sup>3</sup>	1.322 gr/cm <sup>3</sup>	1.133 gr/cm <sup>3</sup>	1.243 gr/cm <sup>3</sup>	1.709 gr/cm <sup>3</sup>

Tabla 4.3 de comparación de valores de Absorción						
	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato	Grava
1	5.393	9.397	3.2	5.6	7.68	
2	5.045	9.243	3.15	6.17	7.1	
Prom.	5.22%	9.32%	3.18%	5.89%	7.39%	2.38 %

Tabla 4.4 comparación de valores de Densidad						
	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato	Grava
1	2.413	2.278	2.55	2.215	2.225	
2	2.296	2.254	2.41	2.269	2.251	
Prom.	2.354 gr/cm <sup>3</sup>	2.266 gr/cm <sup>3</sup>	2.48 gr/cm <sup>3</sup>	2.242 gr/cm <sup>3</sup>	2.238 gr/cm <sup>3</sup>	2.332 gr/cm <sup>3</sup>

Tabla 4.5 comparación de valores de Equivalente de arena.					
	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
1	90.91	90.28	97.39	87.76	86.38
2	91.68	93.22	98.26	92.05	89.93
3	91.39	90.14	97.18	91.3	83.12
Prom.	91.33%	91.55%	97.61%	90.37%	86.48%

Tabla 4.6 comparación de valores del Módulo de Finura					
	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
1	2.78	2.58	2.945	2.58	2.4

Tabla 4.7 Granulometría Arena Santa Clara (N).

MALLA	PESO RETENIDO	%RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	64.80	13.22	13.22	86.78
16	86.80	17.71	30.94	69.06
30	142.40	29.06	60.00	40.00
50	97.95	19.99	79.99	20.01
100	69.75	14.23	94.22	5.78
200	20.45	4.17	98.40	1.60
CHAROLA	7.85	1.60	100.00	0.00

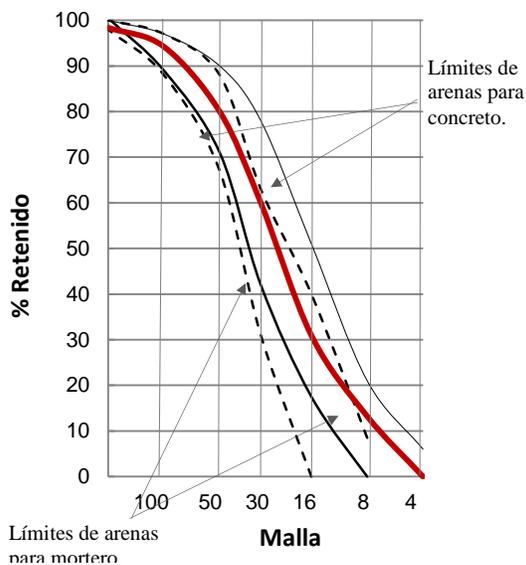


Figura 4.1 Grafica de granulometría arena Sta. Clara (N).

Tabla 4.8 Granulometría Arena Santa Clara (R).

MALLA	PESO RETENIDO	%RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	49.45	9.95	9.95	90.05
16	70.80	14.25	24.20	75.80
30	141.35	28.45	52.65	47.35
50	137.50	27.67	80.32	19.68
100	55.15	11.10	91.42	8.58
200	30.75	6.19	97.61	2.39
CHAROLA	11.90	2.39	100.00	0.00

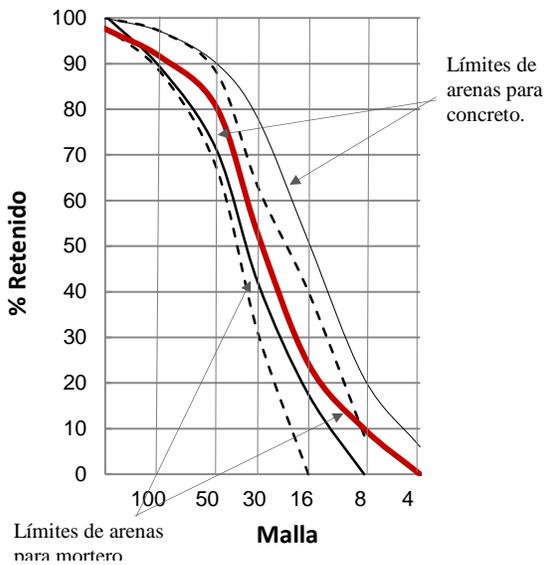


Figura 4.2 Grafica de granulometría arena Sta. Clara (R.).

Tabla 4.9 Granulometría Arena Chamacuerdo.

MALLA	PESO RETENIDO	%RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	43.55	7.77	7.77	92.23
16	135.45	24.17	31.94	68.06
30	201.25	35.91	67.85	32.15
50	111.55	19.90	87.75	12.25
100	46.45	8.29	96.04	3.96
200	10.00	1.78	97.82	2.18
CHAROLA	12.20	2.18	100.00	0.00

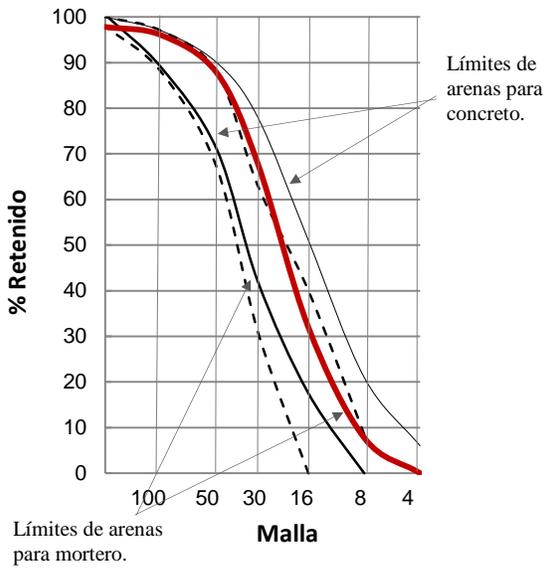


Figura 4.3 Grafica de granulometría arena Chamacuero.

Tabla 4.10 Granulometría Arena El Armadillo.

MALLA	PESO RETENIDO	%RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	50.85	10.69	10.69	89.31
16	75.60	15.89	26.57	73.43
30	122.10	25.66	52.23	47.77
50	125.10	26.29	78.51	21.49
100	52.75	11.08	89.60	10.40
200	32.10	6.75	96.34	3.66
CHAROLA	17.40	3.66	100.00	0.00

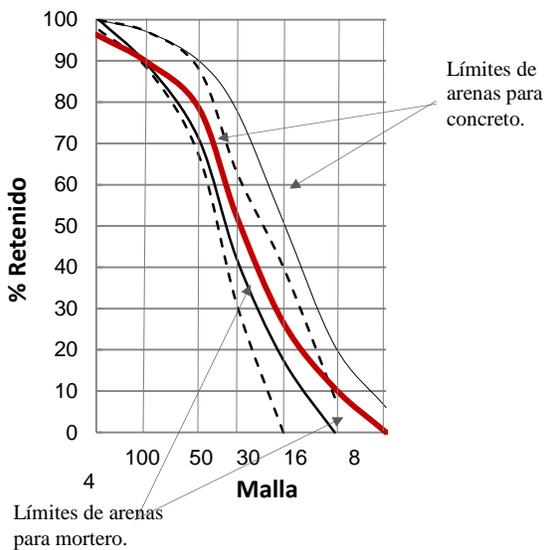


Figura 4.4 Grafica de granulometría arena El Armadillo.

Tabla 4.11 Granulometría Arena Janamutato.

MALLA	PESO RETENIDO	%RETENIDO	% ACUMULATIVO	% QUE PASA
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	74.45	14.62	14.62	85.38
16	110.30	21.66	36.28	63.72
30	81.45	15.99	52.27	47.73
50	49.10	9.64	61.91	38.09
100	67.45	13.24	75.16	24.84
200	62.10	12.19	87.35	12.65
CHAROLA	64.40	12.65	100.00	0.00

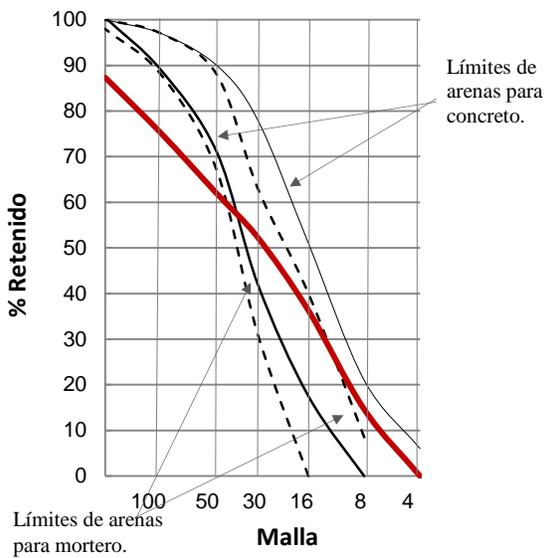


Figura 4.5 Grafica de granulometría arena Janamutato.

Tabla 4.12 Granulometría grava triturada Tlazazalca.

Malla	Peso retenido parcial (kg)	% retenido parcial	% retenido acumulado
2"	0	0	0
1 1/2"	0	0	0
1"	0	0	0
3/4"	4.12	24.41	24.41
1/2"	4.78	28.32	52.73
3/8"	2.31	13.68	66.41
N° 4	4.68	27.73	94.14
PASA N° 4	0.99	5.86	100
Suma	16.88	100	

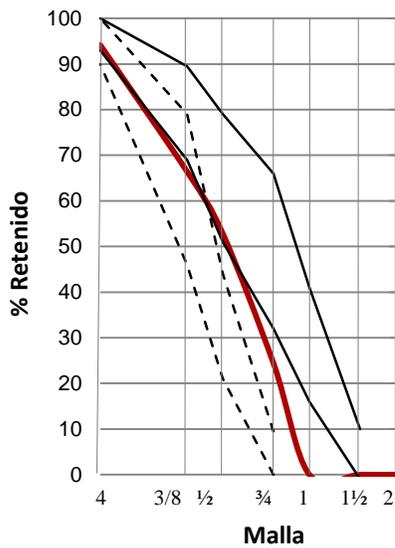


Figura 4.6 Grafica de granulometría grava Tlazazalca.

## 4.2 Caracterización química de materiales

Tabla 4.13 Resultados del análisis de Fluorescencia de rayos x

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3t	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	PXC	TOTAL		SO3
*	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		%
Sta. Clara (N).	55.003	1.23	17.844	8.244	0.12	4.557	5.746	3.691	1.529	0.375	1.04	99.379		
Sta. Clara(R.)	51.385	1.914	17.61	9.837	0.15	5.006	5.934	3.817	1.659	0.526	1.23	99.068		
El Armadillo	52.976	1.779	16.994	9.556	0.141	4.562	5.224	3.586	1.659	0.472	1.97	98.919		
Janamuato	55.468	1.156	17.537	8.022	0.121	4.113	6.284	3.73	1.43	0.325	0.86	99.246		
Chamacuero	56.001	0.987	17.799	7.542	0.119	4.624	6.692	3.553	1.235	0.25	0.59	99.392		

Tabla 4.14 Resultados del análisis de partes por millón

	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm													
Sta. Clara (N).	29	606	549	24	192	15	140	155	34	83	124	97	<3	8
Sta. Clara(R.)	30	629	477	25	212	33	156	81	40	67	173	103	4	7
El Armadillo	34	594	579	25	202	31	158	91	39	52	111	110	<3	6
Janamuato	28	553	457	22	184	16	169	84	34	50	117	96	<3	9
Chamacuero	25	790	367	18	192	12	143	124	34	53	117	89	<3	7

### 4.3 Pruebas no destructivas

Tabla 4.15 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Negra) probados a 7 días de edad								
	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
N° de cilindros	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.556	0.2	0.00785	53.22	660	1355	25.918	3757.986
2	3.495	0.2	0.00785	52.10	660	1405	25.918	3838.772
3	3.503	0.2	0.00785	51.65	640	1399	25.133	3872.217
4	3.522	0.2	0.00785	53.01	670	1500	26.311	3772.873
5	3.54	0.2	0.00785	53.43	680	1486	26.704	3743.215
6	3.517	0.2	0.00785	52.86	660	1368	25.918	3783.579
Promedio						1418.833	25.984	3794.774

Tabla 4.16 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Negra) probados a 14 días de edad								
	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
N° de cilindros	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.525	0.2	0.00785	51.450	930	1100	36.521	3887.269
2	3.598	0.2	0.00785	52.090	970	1134	38.092	3839.509
3	3.576	0.2	0.00785	51.850	980	1205	38.485	3857.281
4	3.569	0.2	0.00785	51.990	970	1309	38.092	3846.894
5	3.591	0.2	0.00785	52.030	980	1187	38.485	3843.936
6	3.584	0.2	0.00785	51.240	980	1143	38.485	3903.201
Promedio						1179.667	38.026	3863.015

**Tabla 4.17 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Negra) probados a 28 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.561	0.2	0.00785	50.28	1300	1085	51.051	3977.725
2	3.568	0.2	0.00785	51.16	1300	1131	51.051	3909.304
3	3.526	0.2	0.00785	50.66	1050	1148	41.233	3947.888
4	3.507	0.2	0.00785	49.56	1200	1190	47.124	4035.513
5	3.548	0.2	0.00785	50.86	1300	1331	51.051	3932.363
6	3.568	0.2	0.00785	50.80	1200	1140	47.124	3937.008
Promedio						<b>1170.833</b>	<b>48.106</b>	<b>3956.633</b>

**Tabla 4.18 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Negra) probados a 70 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.61	0.2	0.00785	50.55	1500	1090	58.905	3956.479
2	3.644	0.2	0.00785	49.30	1300	1265	51.051	4056.795
3	3.638	0.2	0.00785	49.45	1400	1157	54.978	4044.489
4	3.621	0.2	0.00785	50.25	1400	1063	54.978	3980.100
5	3.65	0.2	0.00785	49.10	1500	1010	58.905	4073.320
6	3.644	0.2	0.00785	50.50	1500	1232	58.905	3960.396
Promedio						<b>1136.167</b>	<b>56.287</b>	<b>4011.930</b>

Tabla 4.19 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Negra) probados a 110 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.688	0.2	0.00785	49.36	1800	1229	70.686	4051.864
2	3.654	0.2	0.00785	49.08	1700	1338	66.759	4074.980
3	3.692	0.2	0.00785	49.78	1600	1584	62.832	4017.678
4	3.624	0.2	0.00785	49.64	1800	1582	70.686	4029.009
5	3.662	0.2	0.00785	50.40	1900	1579	74.613	3968.254
6	3.598	0.2	0.00785	49.42	1600	1294	62.832	4046.945
Promedio						1434.333	68.068	4031.455

Tabla 4.20 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Roja) probados a 7 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.505	0.2	0.00785	53.47	650	1385	25.525	3740.415
2	3.522	0.2	0.00785	52.38	660	1402	25.918	3818.251
3	3.528	0.2	0.00785	53.98	640	1355	25.133	3705.076
4	3.468	0.2	0.00785	53.22	660	1338	25.918	3757.986
5	3.49	0.2	0.00785	52.86	650	1312	25.525	3783.579
6	3.481	0.2	0.00785	52.54	630	1270	24.740	3806.624
Promedio						1343.667	25.460	3768.655

**Tabla 4.21 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Roja) probados a 14 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.536	0.2	0.00785	52.40	910	1291	35.736	3816.794
2	3.53	0.2	0.00785	52.30	840	1315	32.987	3824.092
3	3.534	0.2	0.00785	52.30	810	1418	31.809	3824.092
4	3.521	0.2	0.00785	51.36	890	1292	34.950	3894.081
5	3.493	0.2	0.00785	52.08	770	1385	30.238	3840.246
6	3.528	0.2	0.00785	52.26	770	1231	30.238	3827.019
Promedio						1322	32.659	3837.720

**Tabla 4.22 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Roja) probados a 28 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.565	0.2	0.00785	51.00	1200	1333	47.124	3921.569
2	3.551	0.2	0.00785	51.80	1200	1090	47.124	3861.004
3	3.575	0.2	0.00785	50.70	1400	1336	54.978	3944.773
4	3.541	0.2	0.00785	52.32	1200	1356	47.124	3822.630
5	3.502	0.2	0.00785	52.26	1300	1319	51.051	3827.019
6	3.531	0.2	0.00785	52.64	1300	1157	51.051	3799.392
Promedio						1265.167	49.742	3862.731

**Tabla 4.23 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Roja) probados a 70 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.576	0.2	0.00785	51.78	1800	1185	70.686	3862.495
2	3.535	0.2	0.00785	51.68	1600	1020	62.832	3869.969
3	3.579	0.2	0.00785	51.12	1600	1116	62.832	3912.363
4	3.599	0.2	0.00785	51.54	1500	1003	58.905	3880.481
5	3.578	0.2	0.00785	51.70	1800	1059	70.686	3868.472
6	3.527	0.2	0.00785	51.14	1500	1023	58.905	3910.833
Promedio						1067.667	64.141	3884.102

**Tabla 4.24 Cilindros de concreto con arena de Santa Clara (Roja) probados a 110 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.624	0.2	0.00785	51.30	2200	1011	86.394	3898.635
2	3.636	0.2	0.00785	51.72	2100	1040	82.467	3866.976
3	3.577	0.2	0.00785	50.94	1900	1355	74.613	3926.188
4	3.623	0.2	0.00785	51.68	2000	1611	78.540	3869.969
5	3.663	0.2	0.00785	52.34	2100	1557	82.467	3821.169
6	3.547	0.2	0.00785	51.14	1900	1455	74.613	3910.833
Promedio						1338.167	79.849	3882.295

Tabla 4.25 Cilindros de concreto con arena de Chamacuero probados a 7 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.548	0.2	0.00785	52.55	700	1484	27.489	3805.899
2	3.554	0.2	0.00785	51.40	670	1244	26.311	3891.051
3	3.559	0.2	0.00785	50.60	690	1140	27.096	3952.569
4	3.562	0.2	0.00785	51.33	680	1466	26.704	3896.357
5	3.582	0.2	0.00785	51.10	700	1228	27.489	3913.894
6	3.545	0.2	0.00785	51.72	700	1313	27.489	3866.976
Promedio						1312.5	27.096	3887.791

Tabla 4.26 Cilindros de concreto con arena de Chamacuero probados a 14 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.67	0.2	0.00785	49.74	1060	1157	41.626	4020.909
2	3.622	0.2	0.00785	49.73	1040	1124	40.841	4021.717
3	3.666	0.2	0.00785	49.42	1000	1359	39.270	4046.945
4	3.621	0.2	0.00785	50.20	1070	1212	42.019	3984.064
5	3.621	0.2	0.00785	49.26	1050	1309	41.233	4060.089
6	3.64	0.2	0.00785	49.80	1000	1408	39.270	4016.064
Promedio						1261.500	40.710	4024.965

Tabla 4.27 Cilindros de concreto con arena de Chamacuero probados a 28 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.623	0.2	0.00785	48.70	1200	1200	47.124	4106.776
2	3.627	0.2	0.00785	48.64	1300	1178	51.051	4111.842
3	3.629	0.2	0.00785	48.64	1200	1374	47.124	4111.842
4	3.611	0.2	0.00785	48.82	1300	1000	51.051	4096.682
5	3.638	0.2	0.00785	48.95	1200	1025	47.124	4085.802
6	3.606	0.2	0.00785	49.60	1200	1178	47.124	4032.258
Promedio						1159.167	48.433	4090.867

Tabla 4.28 Cilindros de concreto con arena de Chamacuero probados a 70 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.64	0.2	0.00785	49.72	1500	1198	58.905	4022.526
2	3.612	0.2	0.00785	49.32	1600	1335	62.832	4055.150
3	3.664	0.2	0.00785	50.05	1700	1018	66.759	3996.004
4	3.623	0.2	0.00785	49.72	1700	1031	66.759	4022.526
5	3.65	0.2	0.00785	49.62	1600	1201	62.832	4030.633
6	3.638	0.2	0.00785	50.20	1600	1295	62.832	3984.064
Promedio						1179.667	63.486	4018.484

Tabla 4.29 Cilindros de concreto con arena de Chamacuero probados a 110 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.686	0.2	0.00785	48.78	2200	1448	86.394	4100.041
2	3.692	0.2	0.00785	49.12	2300	1251	90.321	4071.661
3	3.67	0.2	0.00785	49.48	2500	1365	98.175	4042.037
4	3.695	0.2	0.00785	49.22	2300	1348	90.321	4063.389
5	3.659	0.2	0.00785	48.50	2000	1094	78.540	4123.711
6	3.693	0.2	0.00785	48.82	2100	1393	82.467	4096.682
Promedio						1316.500	87.703	4082.920

Tabla 4.30 Cilindros de concreto con arena de El Armadillo probados a 7 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.485	0.2	0.00785	54.30	620	1248	24.347	3683.241
2	3.526	0.2	0.00785	54.82	650	1258	25.525	3648.304
3	3.519	0.2	0.00785	53.44	630	1243	24.740	3742.515
4	3.521	0.2	0.00785	53.48	660	1250	25.918	3739.716
5	3.536	0.2	0.00785	52.48	680	1175	26.704	3810.976
6	3.527	0.2	0.00785	53.12	720	1241	28.274	3765.060
Promedio						1235.833	25.918	3731.635

Tabla 4.31 Cilindros de concreto con arena de El Armadillo probados a 14 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.5	0.2	0.00785	51.34	750	1221	29.452	3895.598
2	3.507	0.2	0.00785	52.30	740	1400	29.060	3824.092
3	3.533	0.2	0.00785	52.58	710	1280	27.882	3803.728
4	3.553	0.2	0.00785	52.34	840	1246	32.987	3821.169
5	3.561	0.2	0.00785	51.86	820	1351	32.201	3856.537
6	3.514	0.2	0.00785	52.46	860	1384	33.772	3812.429
Promedio						1313.667	30.892	3835.592

Tabla 4.32 Cilindros de concreto con arena de El Armadillo probados a 28 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.587	0.2	0.00785	51.92	1400	1222	54.978	3852.080
2	3.441	0.2	0.00785	53.55	1090	1125	42.804	3734.827
3	3.588	0.2	0.00785	51.32	1300	1260	51.051	3897.116
4	3.548	0.2	0.00785	50.62	1300	1361	51.051	3951.008
5	3.558	0.2	0.00785	52.12	1200	1300	47.124	3837.299
6	3.514	0.2	0.00785	52.48	1080	1031	42.412	3810.976
Promedio						1216.500	48.237	3847.218

Tabla 4.33 Cilindros de concreto con arena de El Armadillo probados a 70 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.612	0.2	0.00785	50.60	1400	1236	54.978	3952.569
2	3.558	0.2	0.00785	51.82	1400	1022	54.978	3859.514
3	3.611	0.2	0.00785	50.70	1300	1088	51.051	3944.773
4	3.626	0.2	0.00785	51.46	1400	1554	54.978	3886.514
5	3.618	0.2	0.00785	51.38	1500	1343	58.905	3892.565
6	3.62	0.2	0.00785	51.76	1400	1020	54.978	3863.988
Promedio						1210.500	54.978	3899.987

Tabla 4.34 Cilindros de concreto con arena de El Armadillo probados a 110 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.67	0.2	0.00785	48.72	2000	1180	78.540	4105.090
2	3.612	0.2	0.00785	49.00	1900	1026	74.613	4081.633
3	3.626	0.2	0.00785	50.10	1700	1312	66.759	3992.016
4	3.629	0.2	0.00785	49.26	2400	1300	94.248	4060.089
5	3.646	0.2	0.00785	50.06	2000	1146	78.540	3995.206
6	3.593	0.2	0.00785	49.10	1800	2104	70.686	4073.320
Promedio						1344.667	77.231	4051.226

Tabla 4.35 Cilindros de concreto con arena de Janamuato probados a 7 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.505	0.2	0.00785	52.28	670	1244	26.311	3825.555
2	3.484	0.2	0.00785	52.47	690	1428	27.096	3811.702
3	3.51	0.2	0.00785	51.98	650	1364	25.525	3847.634
4	3.516	0.2	0.00785	51.96	640	1258	25.133	3849.115
5	3.526	0.2	0.00785	52.12	640	1450	25.133	3837.299
6	3.506	0.2	0.00785	52.68	670	1422	26.311	3796.507
Promedio						1361.000	25.918	3827.968

Tabla 4.36 Cilindros de concreto con arena de Janamuato probados a 14 días de edad								
N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.594	0.2	0.00785	50.68	870	1453	34.165	3946.330
2	3.58	0.2	0.00785	50.63	950	1301	37.306	3950.227
3	3.538	0.2	0.00785	50.92	840	1343	32.987	3927.730
4	3.56	0.2	0.00785	51.23	990	1329	38.877	3903.963
5	3.602	0.2	0.00785	50.30	930	1301	36.521	3976.143
6	3.536	0.2	0.00785	50.64	910	1334	35.736	3949.447
Promedio						1343.500	35.932	3942.307

**Tabla 4.37 Cilindros de concreto con arena de Janamutato probados a 28 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.547	0.2	0.00785	51.34	1400	1496	54.978	3895.598
2	3.556	0.2	0.00785	53.18	1400	1820	54.978	3760.812
3	3.566	0.2	0.00785	53.75	1500	1104	58.905	3720.930
4	3.528	0.2	0.00785	53.13	1400	1201	54.978	3764.706
5	3.559	0.2	0.00785	53.06	1700	1206	66.759	3769.318
6	3.558	0.2	0.00785	53.23	1500	1305	58.905	3757.280
Promedio						1355.333	58.250	3778.107

**Tabla 4.38 Cilindros de concreto con arena de Janamutato probados a 70 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.563	0.2	0.00785	50.68	1500	1081	58.905	3946.330
2	3.547	0.2	0.00785	51.14	1400	1508	54.978	3910.833
3	3.599	0.2	0.00785	50.50	1400	1235	54.978	3960.396
4	3.589	0.2	0.00785	51.32	1300	1233	51.051	3897.116
5	3.57	0.2	0.00785	52.56	1300	1160	51.051	3805.175
6	3.544	0.2	0.00785	51.98	1200	1445	47.124	3847.634
Promedio						1277.000	53.014	3894.581

**Tabla 4.39 Cilindros de concreto con arena de Janamuato probados a 110 días de edad**

N° de cilindros	Datos medidos directamente sobre el espécimen						Datos calculados	
	Peso (kg)	Longitud (m)	Área del cilindro (m <sup>2</sup> )	Tiempo (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia	Resistividad (ohms - m)	Vel. Ultrasónica (m/seg)
1	3.576	0.2	0.00785	50.16	1700	1242	66.759	3987.241
2	3.609	0.2	0.00785	48.96	1700	1010	66.759	4084.967
3	3.631	0.2	0.00785	50.24	2000	1406	78.540	3980.892
4	3.652	0.2	0.00785	49.82	1800	1577	70.686	4014.452
5	3.578	0.2	0.00785	50.40	1700	1693	66.759	3968.254
6	3.564	0.2	0.00785	50.84	1700	1148	66.759	3933.910
Promedio						1346.000	69.377	3994.953

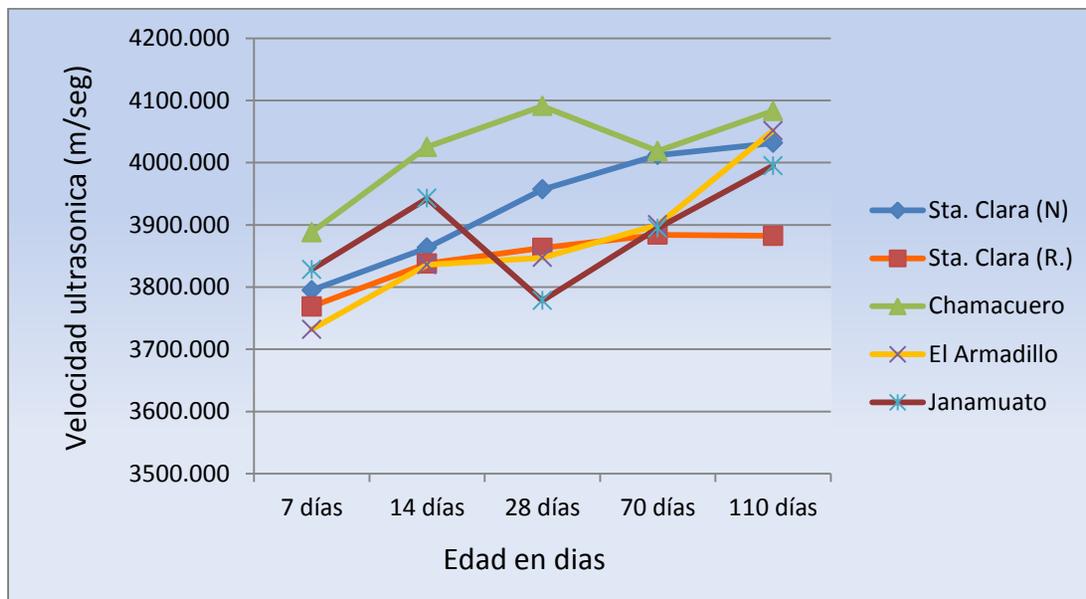


Figura 4.7 Grafica de valores promedio de Velocidad Ultrasónica.

Muestras	7 días	14 días	28 días	70 días	110 días
Sta. Clara (N)	3794.774	3863.015	3956.633	4011.930	4031.455
Sta. Clara (R.)	3768.655	3837.720	3862.731	3884.102	3882.295
Chamacuero	3887.791	4024.965	4090.867	4018.484	4082.920
El Armadillo	3731.635	3835.592	3847.218	3899.987	4051.226
Janamuato	3827.968	3942.307	3778.107	3894.581	3994.953

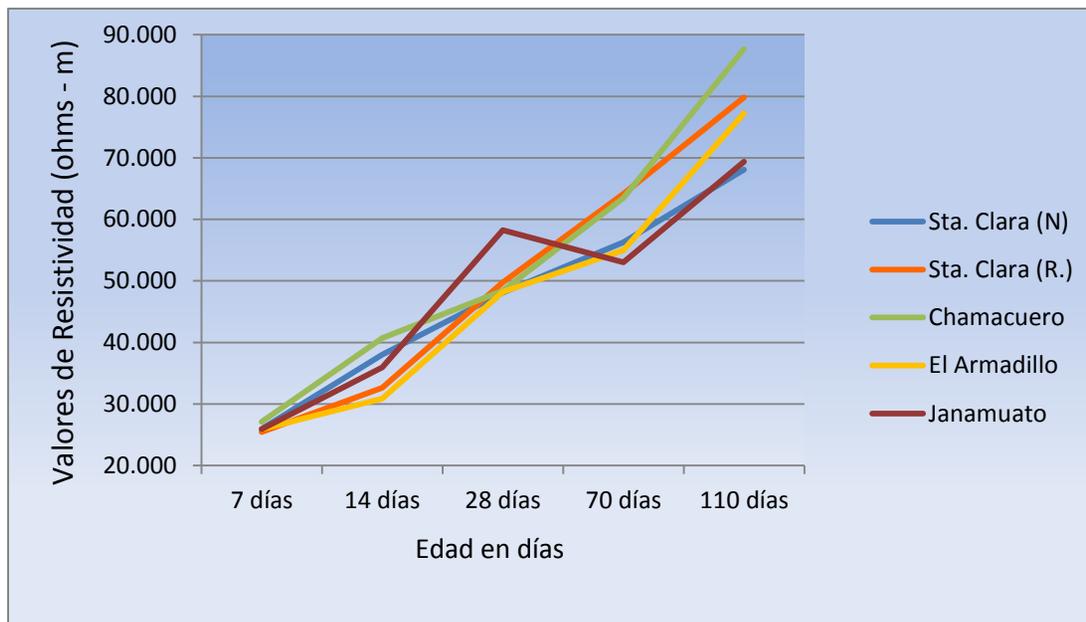


Figura 4.8 Grafica de valores promedio de Resistividad.

Tabla 4.41 Valores promedio de Resistividad (ohms - m)					
Muestras	7 días	14 días	28 días	70 días	110 días
Sta. Clara (N)	25.984	38.026	48.106	56.287	68.068
Sta. Clara (R.)	25.460	32.659	49.742	64.141	79.849
Chamacuero	27.096	40.710	48.433	63.486	87.703
El Armadillo	25.918	30.892	48.237	54.978	77.231
Janamuato	25.918	35.932	58.250	53.014	69.377

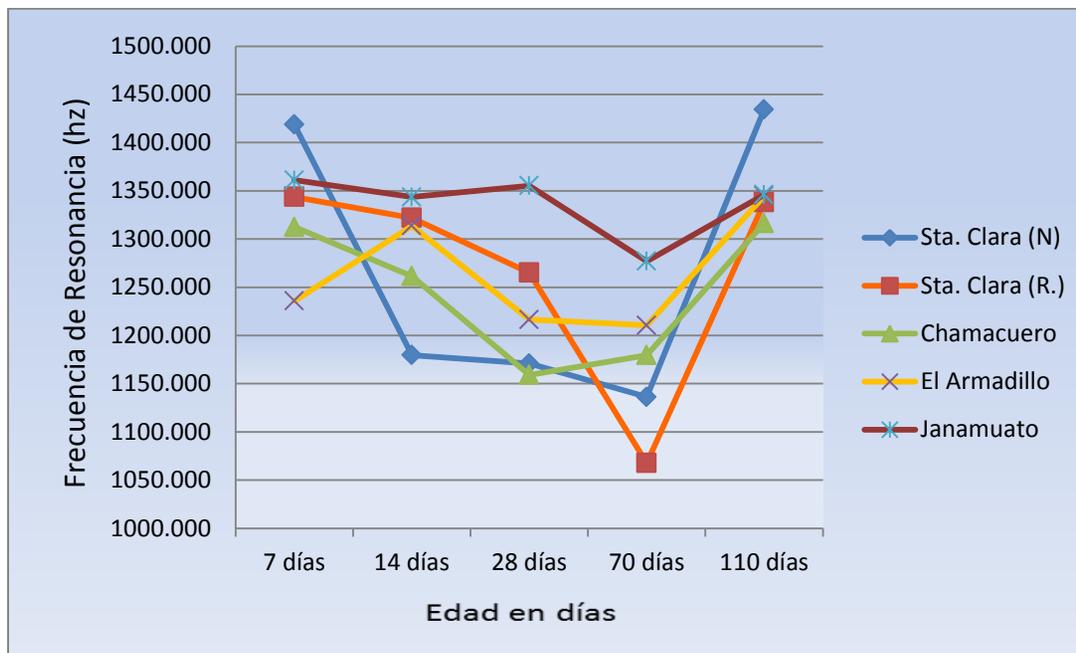


Figura 4.9 Grafica de valores promedio de Resonancia magnética.

Muestras	7 días	14 días	28 días	70 días	110 días
Sta. Clara (N)	1418.833	1179.667	1170.833	1136.167	1434.333
Sta. Clara (R.)	1343.667	1322.000	1265.167	1067.667	1338.167
Chamacuero	1312.500	1261.500	1159.167	1179.667	1316.500
El Armadillo	1235.833	1313.667	1216.500	1210.500	1344.667
Janamuato	1361.000	1343.500	1355.333	1277.000	1346.000

#### 4.4 Evaluación mecánica de los especímenes de concreto

##### 4.4.1 Resistencia a la compresión simple en cilindros de concreto

**Tabla 4.43 Prueba de compresión simple en cilindros (7 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	13470	171.505	68.602
2	78.54	14220	181.054	72.422
3	78.54	15750	200.535	80.214
Promedio	<b>78.54</b>	<b>14480</b>	<b>184.365</b>	<b>73.746</b>

**Tabla 4.44 Prueba de compresión simple en cilindros (14 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	17360	221.034	88.414
2	78.54	16380	208.556	83.422
3	78.54	16840	214.413	85.765
Promedio	<b>78.54</b>	<b>16860</b>	<b>214.668</b>	<b>85.867</b>

**Tabla 4.45 Prueba de compresión simple en cilindros (28 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	19800	252.101	100.840
2	78.54	21070	268.271	107.308
3	78.54	20460	260.504	104.202
Promedio	<b>78.54</b>	<b>20443.333</b>	<b>260.292</b>	<b>104.117</b>

**Tabla 4.46 Prueba de compresión simple en cilindros (70 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	21170	269.544	107.818
2	78.54	21540	274.255	109.702
3	78.54	20520	261.268	104.507
Promedio	<b>78.54</b>	<b>21076.667</b>	<b>268.356</b>	<b>107.342</b>

**Tabla 4.47 Prueba de compresión simple en cilindros (110 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	21930	279.221	111.688
2	78.54	23670	301.375	120.550
3	78.54	21330	271.581	108.633
Promedio	78.54	22310	284.059	113.624

**Tabla 4.48 Prueba de compresión simple en cilindros (7 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	10120	128.852	51.541
2	78.54	11990	152.661	61.064
3	78.54	11250	143.239	57.296
Promedio	78.54	11120	141.584	56.634

**Tabla 4.49 Prueba de compresión simple en cilindros (14 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	13610	173.287	69.315
2	78.54	13010	165.648	66.259
3	78.54	14120	179.781	71.912
Promedio	78.54	13580	172.906	69.162

**Tabla 4.50 Prueba de compresión simple en cilindros (28 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	14490	184.492	73.797
2	78.54	15410	196.206	78.482
3	78.54	16270	207.156	82.862
Promedio	78.54	15390	195.951	78.380

**Tabla 4.51 Prueba de compresión simple en cilindros (70 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	15710	200.025	80.010
2	78.54	18800	239.368	95.747
3	78.54	15010	191.113	76.445
Promedio	78.54	16506.667	210.169	84.068

**Tabla 4.52 Prueba de compresión simple en cilindros (110 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	17930	228.291	91.317
2	78.54	17190	218.869	87.548
3	78.54	18630	237.204	94.882
Promedio	78.54	17916.667	228.122	91.249

**Tabla 4.53 Prueba de compresión simple en cilindros (7 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	16510	210.211	84.085
2	78.54	17210	219.124	87.650
3	78.54	17100	217.723	87.089
Promedio	78.54	16940	215.686	86.275

**Tabla 4.54 Prueba de compresión simple en cilindros (14 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	18920	240.896	96.359
2	78.54	20420	259.995	103.998
3	78.54	20620	262.541	105.017
Promedio	78.54	19986.667	254.478	101.791

Tabla 4.55 Prueba de compresión simple en cilindros (28 días de edad)				
N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	24500	311.943	124.777
2	78.54	24710	314.617	125.847
3	78.54	23080	293.863	117.545
Promedio	78.54	24096.667	306.808	122.723

Tabla 4.56 Prueba de compresión simple en cilindros (70 días de edad)				
N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	24850	316.399	126.560
2	78.54	24930	317.418	126.967
3	78.54	25060	319.073	127.629
Promedio	78.54	24946.667	317.630	127.052

Tabla 4.57 Prueba de compresión simple en cilindros (110 días de edad)				
N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	25110	319.710	127.884
2	78.54	26020	331.296	132.518
3	78.54	24920	317.291	126.916
Promedio	78.54	25350	322.765	129.106

Tabla 4.58 Prueba de compresión simple en cilindros (7 días de edad)				
N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	12630	160.810	64.324
2	78.54	11760	149.733	59.893
3	78.54	14630	186.275	74.510
Promedio	78.54	13006.667	165.606	66.242

**Tabla 4.59 Prueba de compresión simple en cilindros (14 días de edad)**

N° de cilindros	Área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	16050	204.354	81.742
2	78.54	15560	198.116	79.246
3	78.54	13710	174.561	69.824
Promedio	<b>78.54</b>	<b>15106.667</b>	<b>192.344</b>	<b>76.937</b>

**Tabla 4.60 Prueba de compresión simple en cilindros (28 días de edad)**

N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	18150	231.092	92.437
2	78.54	17690	225.236	90.094
3	78.54	18880	240.387	96.155
Promedio	<b>78.54</b>	<b>18240</b>	<b>232.238</b>	<b>92.895</b>

**Tabla 4.61 Prueba de compresión simple en cilindros (70 días de edad)**

N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	22130	281.767	112.707
2	78.54	21240	270.435	108.174
3	78.54	20270	258.085	103.234
Promedio	<b>78.54</b>	<b>21213.333</b>	<b>270.096</b>	<b>108.038</b>

**Tabla 4.62 Prueba de compresión simple en cilindros (110 días de edad)**

N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	22290	283.804	113.522
2	78.54	22720	289.279	115.712
3	78.54	23470	298.829	119.531
Promedio	<b>78.54</b>	<b>22826.667</b>	<b>290.637</b>	<b>116.255</b>

**Tabla 4.63 Prueba de compresión simple en cilindros (7 días de edad)**

N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	11580	147.441	58.976
2	78.54	12960	165.011	66.005
3	78.54	11870	151.133	60.453
Promedio	<b>78.54</b>	<b>12136.667</b>	<b>154.528</b>	<b>61.811</b>

**Tabla 4.64 Prueba de compresión simple en cilindros (14 días de edad)**

N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	15300	194.805	77.922
2	78.54	16280	207.283	82.913
3	78.54	17040	216.960	86.784
Promedio	<b>78.54</b>	<b>16206.667</b>	<b>206.349</b>	<b>82.540</b>

**Tabla 4.65 Prueba de compresión simple en cilindros (28 días de edad)**

N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	17180	218.742	87.497
2	78.54	20010	254.775	101.910
3	78.54	20046	255.233	102.093
Promedio	<b>78.54</b>	<b>19078.66667</b>	<b>242.917</b>	<b>97.167</b>

**Tabla 4.66 Prueba de compresión simple en cilindros (70 días de edad)**

N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	20690	263.433	105.373
2	78.54	19710	250.955	100.382
3	78.54	19880	253.119	101.248
Promedio	<b>78.54</b>	<b>20093.333</b>	<b>255.836</b>	<b>102.334</b>

Tabla 4.67 Prueba de compresión simple en cilindros (110 días de edad)				
N° de cilindros	área del cilindro (cm <sup>2</sup> )	Carga registrada (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	% de resistencia
1	78.54	23520	299.465	119.786
2	78.54	21350	271.836	108.734
3	78.54	18120	230.710	92.284
Promedio	78.54	20996.667	267.337	106.935

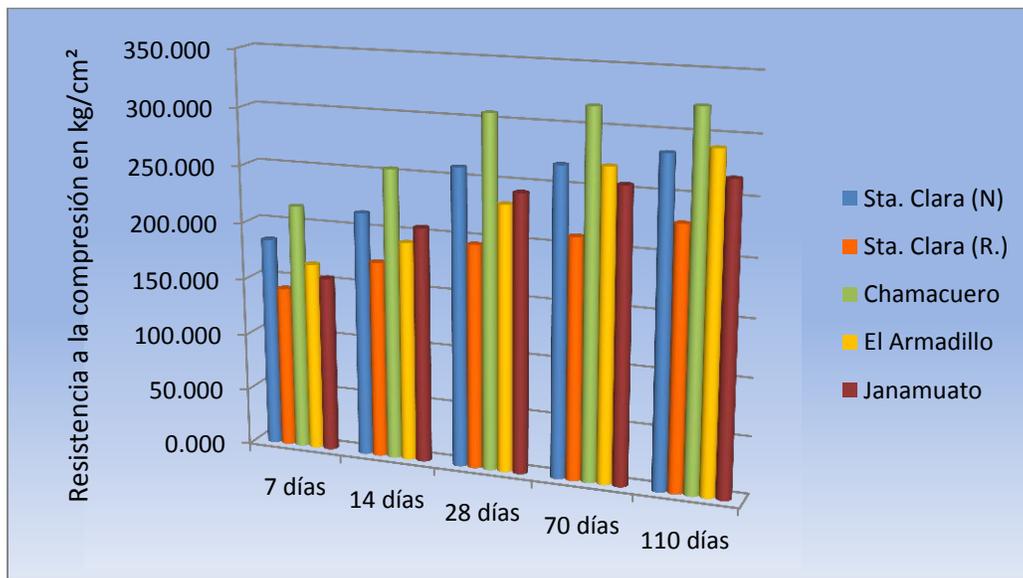


Figura 4.10 Grafica de los valores promedio del esfuerzo a compresión.

Tabla 4.68 Valores promedio del esfuerzo a compresión en kg/cm <sup>2</sup>					
Muestras	7 días	14 días	28 días	70 días	110 días
Sta. Clara (N)	184.365	214.668	260.292	268.356	284.059
Sta. Clara (R.)	141.584	172.906	195.951	210.169	228.122
Chamacuero	215.686	254.478	306.808	317.630	322.765
El Armadillo	165.606	192.344	232.238	270.096	290.637
Janamuato	154.528	206.349	242.917	255.836	267.337

Tabla 4.69 Valores promedio del esfuerzo a compresión en %					
Muestras	7 días	14 días	28 días	70 días	110 días
Sta. Clara (N)	73.746	85.867	104.117	107.342	113.624
Sta. Clara (R.)	56.634	69.162	78.380	84.068	91.249
Chamacuero	86.275	101.791	122.723	127.052	129.106
El Armadillo	66.242	76.937	92.895	108.038	116.255

Janamuato	61.811	82.540	97.167	102.334	106.935
NMX-083-ONNCCE	65.000	80.000	100.000	100.000	100.000

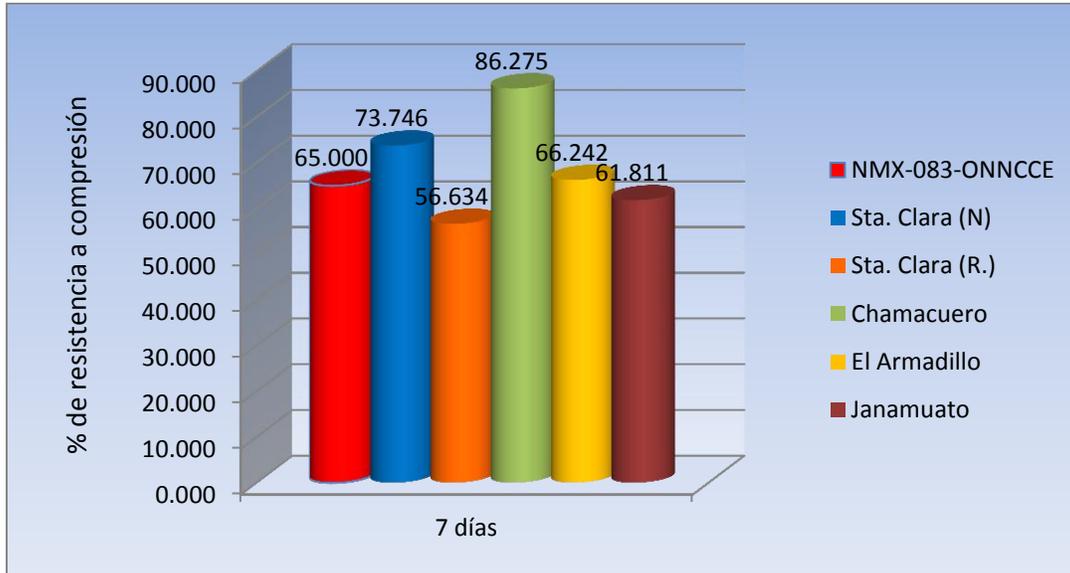


Figura 4.11 Grafica de comparación de la resistencia a compresión en % a 7 días de edad

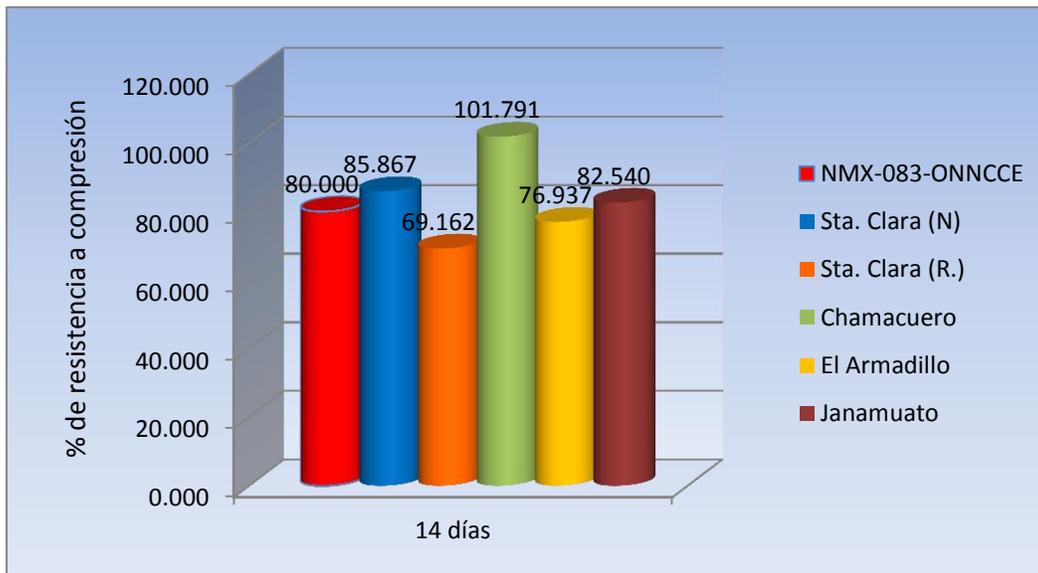


Figura 4.12 Grafica de comparación de la resistencia a compresión en % a 14 días de edad

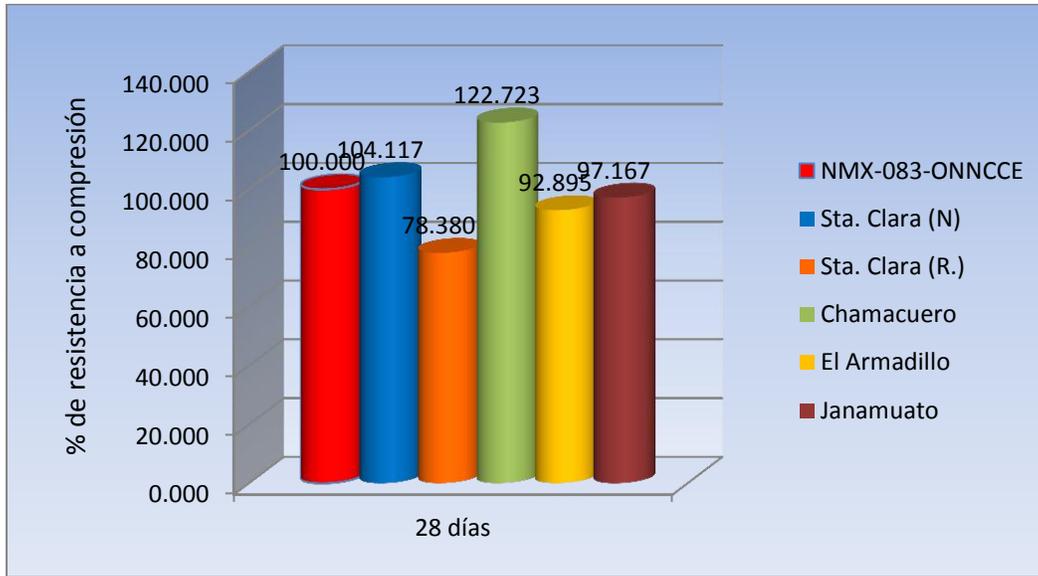


Figura 4.13 Grafica de comparación de la resistencia a compresión en % a 28 días de edad

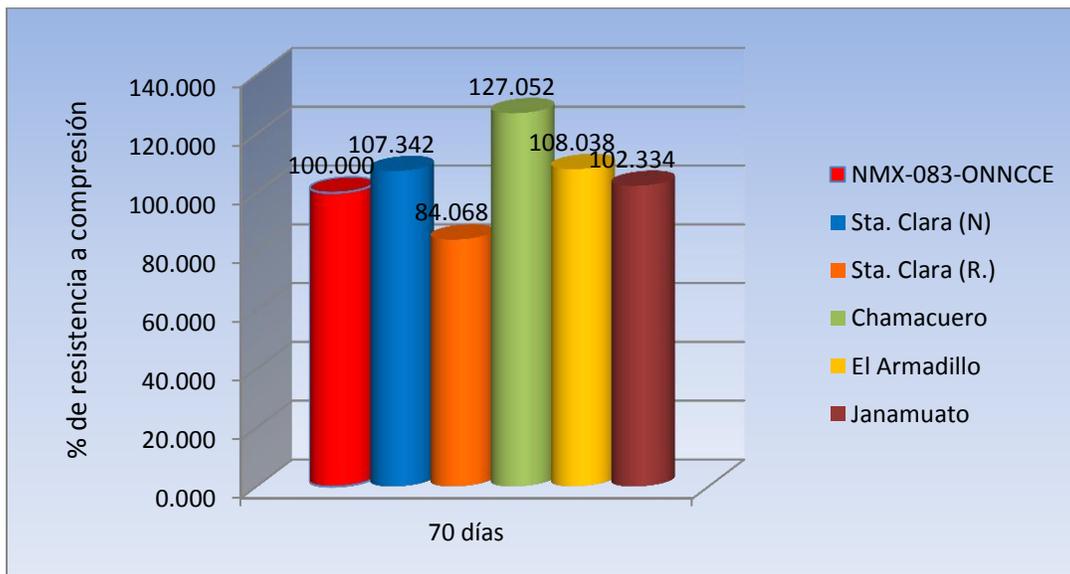


Figura 4.14 Grafica de comparación de la resistencia a compresión en % a 70 días de edad

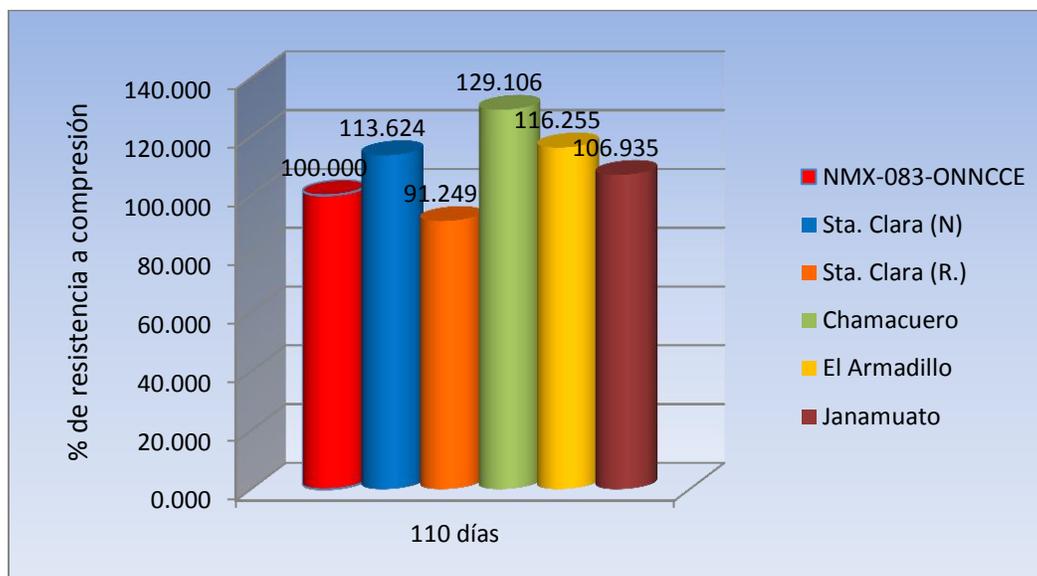


Figura 4.15 Grafica de comparación de la resistencia a compresión en % a 110 días de edad.

#### 4.4.2 Resistencia a la tensión indirecta en cilindros de concreto

N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	6520	20.754
2	10	20	7330	23.332
3	10	20	7450	23.714
Promedio	10	20	7100	22.600

N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	9230	29.380
2	10	20	8420	26.802
3	10	20	7330	23.332
Promedio	10	20	8326.666667	26.505

Tabla 4.72 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (28 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	9840	31.322
2	10	20	10030	31.926
3	10	20	9740	31.003
Promedio	10	20	9870	31.417

Tabla 4.73 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (70 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	11290	35.937
2	10	20	11290	35.937
3	10	20	9850	31.354
Promedio	10	20	10810	34.409

Tabla 4.74 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (110 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	11720	37.306
2	10	20	10020	31.895
3	10	20	11140	35.460
Promedio	10	20	10960	34.887

Tabla 4.75 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (7 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	5970	19.003
2	10	20	5260	16.743
3	10	20	6170	19.640
Promedio	10	20	5800	18.462

Tabla 4.76 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (14 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	7630	24.287
2	10	20	7600	24.192
3	10	20	7920	25.210
Promedio	10	20	7716.666667	24.563

Tabla 4.78 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (28 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	8540	27.184
2	10	20	8290	26.388
3	10	20	7990	25.433
Promedio	10	20	8273.333333	26.335

Tabla 4.79 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (70 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	8370	26.643
2	10	20	8510	27.088
3	10	20	9280	29.539
Promedio	10	20	8720	27.757

Tabla 4.80 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (110 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	9500	30.239
2	10	20	9020	28.712
3	10	20	8630	27.470
Promedio	10	20	9050	28.807

Tabla 4.81 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (7 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	7350	23.396
2	10	20	7990	25.433
3	10	20	8210	26.133
Promedio	10	20	7850	24.987

Tabla 4.82 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (14 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	9000	28.648
2	10	20	9270	29.507
3	10	20	8520	27.120
Promedio	10	20	8930	28.425

Tabla 4.83 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (28 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	9680	30.812
2	10	20	9530	30.335
3	10	20	10680	33.995
Promedio	10	20	9963.333333	31.714

Tabla 4.84 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (70 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	10760	34.250
2	10	20	10140	32.277
3	10	20	11370	36.192
Promedio	10	20	10756.66667	34.240

Tabla 4.85 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (110 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	10860	34.568
2	10	20	10050	31.990
3	10	20	12270	39.057
Promedio	10	20	11060	35.205

Tabla 4.86 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (7 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	6080	19.353
2	10	20	6320	20.117
3	10	20	6670	21.231
Promedio	10	20	6356.666667	20.234

Tabla 4.87 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (14 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	6800	21.645
2	10	20	7330	23.332
3	10	20	7230	23.014
Promedio	10	20	7120	22.664

Tabla 4.88 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (28 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	8700	27.693
2	10	20	9830	31.290
3	10	20	8300	26.420
Promedio	10	20	8943.333333	28.468

Tabla 4.89 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (70 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	9360	29.794
2	10	20	10040	31.958
3	10	20	9000	28.648
Promedio	10	20	9466.666667	30.133

Tabla 4.90 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (110 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	11590	36.892
2	10	20	11070	35.237
3	10	20	10130	32.245
Promedio	10	20	10930	34.791

Tabla 4.91 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (7 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	6160	19.6079
2	10	20	5650	17.9845
3	10	20	5970	19.0031
Promedio	10	20	5926.666667	18.8652

Tabla 4.92 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (14 días de edad)				
N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	6790	21.613
2	10	20	6710	21.359
3	10	20	7940	25.274
Promedio	10	20	7146.666667	22.749

**Tabla 4.93 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (28 días de edad)**

N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	8360	26.611
2	10	20	7480	23.810
3	10	20	8160	25.974
Promedio	10	20	8000	25.465

**Tabla 4.94 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (70 días de edad)**

N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	8990	28.616
2	10	20	8640	27.502
3	10	20	8280	26.356
Promedio	10	20	8636.666667	27.491

**Tabla 4.95 Prueba de Tensión indirecta en cilindros (110 días de edad)**

N° de cilindros	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10	20	9180	29.221
2	10	20	9570	30.462
3	10	20	9070	28.871
Promedio	10	20	9273.333333	29.518

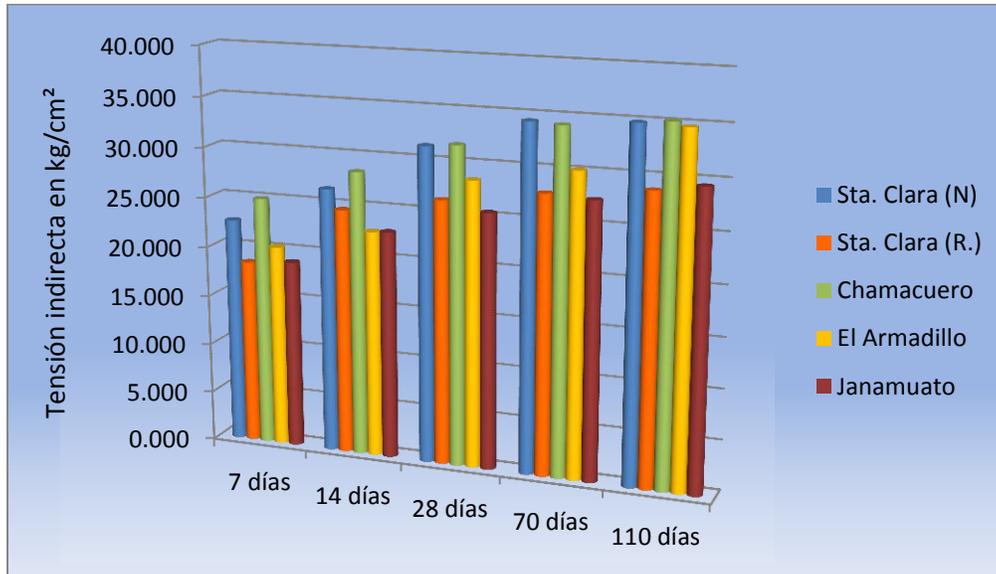


Figura 4.16 Grafica de los valores promedio de la resistencia a Tensión indirecta.

Muestras	7 días	14 días	28 días	70 días	110 días
Sta. Clara (N)	22.600	26.505	31.417	34.409	34.887
Sta. Clara (R.)	18.462	24.563	26.335	27.757	28.807
Chamacuero	24.987	28.425	31.714	34.240	35.205
El Armadillo	20.234	22.664	28.468	30.133	34.791
Janamutato	18.865	22.749	25.465	27.491	29.518

#### 4.4.3 Resistencia a la flexión en vigas de concreto

N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2090	27.867
2	15	15	45	2110	28.133
3	15	15	45	1950	26.000
Promedio	15	15	45	2050	27.333

Tabla 4.98 Prueba de Flexión en vigas (14 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2420	32.267
2	15	15	45	2570	34.267
3	15	15	45	2480	33.067
Promedio	15	15	45	2490	33.200

Tabla 4.99 Prueba de Flexión en vigas (28 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2640	35.200
2	15	15	45	3050	40.667
3	15	15	45	2620	34.933
Promedio	15	15	45	2770	36.933

Tabla 4.100 Prueba de Flexión en vigas (70 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2860	38.133
2	15	15	45	2720	36.267
3	15	15	45	3280	43.733
Promedio	15	15	45	2953.333	39.378

Tabla 4.101 Prueba de Flexión en vigas (110 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2970	39.600
2	15	15	45	3060	40.800
3	15	15	45	3000	40.000
Promedio	15	15	45	3010	40.133

Tabla 4.102 Prueba de Flexión en vigas (7 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	1850	24.667
2	15	15	45	1850	24.667
3	15	15	45	1670	22.267
Promedio	15	15	45	1790	23.867

Tabla 4.103 Prueba de Flexión en vigas (14 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	1840	24.533
2	15	15	45	2070	27.600
3	15	15	45	2040	27.200
Promedio	15	15	45	1983.333	26.444

Tabla 4.104 Prueba de Flexión en vigas (28 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2790	37.200
2	15	15	45	2430	32.400
3	15	15	45	2270	30.267
Promedio	15	15	45	2496.667	33.289

Tabla 4.105 Prueba de Flexión en vigas (70 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2750	36.667
2	15	15	45	2800	37.333
3	15	15	45	2720	36.267
Promedio	15	15	45	2756.667	36.756

Tabla 4.106 Prueba de Flexión en vigas (110 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2780	37.067
2	15	15	45	3170	42.267
3	15	15	45	2990	39.867
Promedio	15	15	45	2980	39.733

Tabla 4.107 Prueba de Flexión en vigas (7 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2280	30.400
2	15	15	45	2540	33.867
3	15	15	45	2640	35.200
Promedio	15	15	45	2486.667	33.156

Tabla 4.108 Prueba de Flexión en vigas (14 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2590	34.533
2	15	15	45	2770	36.933
3	15	15	45	2580	34.400
Promedio	15	15	45	2646.667	35.289

Tabla 4.109 Prueba de Flexión en vigas (28 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2960	39.467
2	15	15	45	2810	37.467
3	15	15	45	3050	40.667
Promedio	15	15	45	2940	39.200

Tabla 4.110 Prueba de Flexión en vigas (70 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	3490	46.533
2	15	15	45	3680	49.067
3	15	15	45	3860	51.467
Promedio	15	15	45	3676.667	49.022

Tabla 4.111 Prueba de Flexión en vigas (110 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	3160	42.133
2	15	15	45	3560	47.467
3	15	15	45	4640	61.867
Promedio	15	15	45	3786.667	50.489

Tabla 4.112 Prueba de Flexión en vigas (7 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2010	26.800
2	15	15	45	1760	23.467
3	15	15	45	1710	22.800
Promedio	15	15	45	1826.667	24.356

Tabla 4.113 Prueba de Flexión en vigas (14 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2200	29.333
2	15	15	45	2150	28.667
3	15	15	45	2140	28.533
Promedio	15	15	45	2163.333	28.844

Tabla 4.114 Prueba de Flexión en vigas (28 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2700	36.000
2	15	15	45	2550	34.000
3	15	15	45	2620	34.933
Promedio	15	15	45	2623.333	34.978

Tabla 4.115 Prueba de Flexión en vigas (70 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2880	38.400
2	15	15	45	2980	39.733
3	15	15	45	3020	40.267
Promedio	15	15	45	2960	39.467

Tabla 4.116 Prueba de Flexión en vigas (110 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	3240	43.200
2	15	15	45	3220	42.933
3	15	15	45	2860	38.133
Promedio	15	15	45	3106.667	41.422

Tabla 4.117 Prueba de Flexión en vigas (7 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2090	27.867
2	15	15	45	1690	22.533
3	15	15	45	1920	25.600
Promedio	15	15	45	1900	25.333

Tabla 4.118 Prueba de Flexión en vigas (14 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2450	32.667
2	15	15	45	3450	46.000
3	15	15	45	2740	36.533
Promedio	15	15	45	2880	38.400

Tabla 4.119 Prueba de Flexión en vigas (28 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2840	37.867
2	15	15	45	2760	36.800
3	15	15	45	2990	39.867
Promedio	15	15	45	2863.333	38.178

Tabla 4.120 Prueba de Flexión en vigas (70 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2980	39.733
2	15	15	45	3110	41.467
3	15	15	45	3320	44.267
Promedio	15	15	45	3136.667	41.822

Tabla 4.121 Prueba de Flexión en vigas (110 días de edad)					
N° de vigas	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Carga de ruptura (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15	15	45	2930	39.067
2	15	15	45	3440	45.867
3	15	15	45	3470	46.267
Promedio	15	15	45	3280	43.733

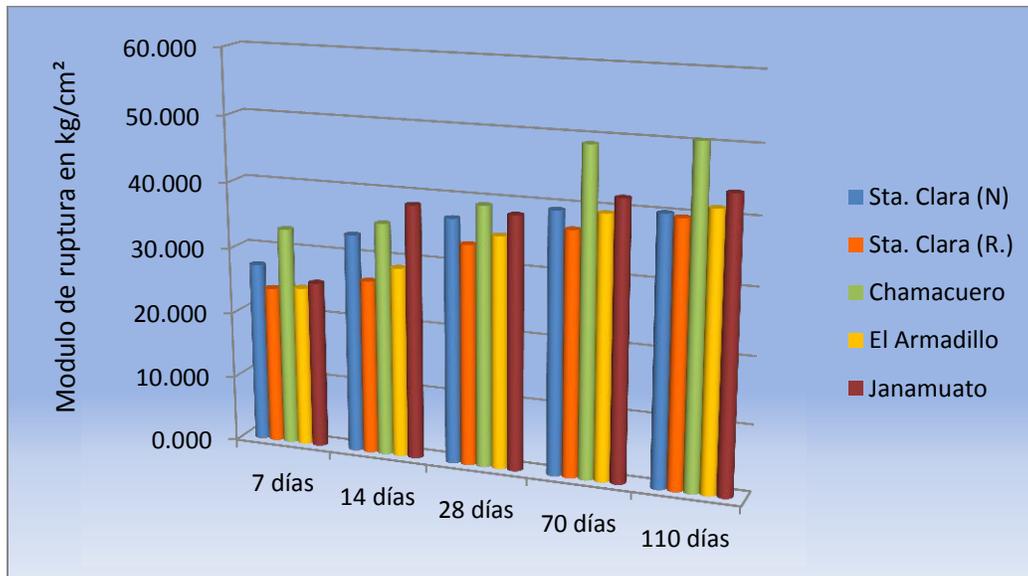


Figura 4.17 Grafica de los valores promedio del Módulo de ruptura.

Muestras	7 días	14 días	28 días	70 días	110 días
Sta. Clara (N)	27.333	33.200	36.933	39.378	40.133
Sta. Clara (R.)	23.867	26.444	33.289	36.756	39.733
Chamacuero	33.156	35.289	39.200	49.022	50.489
El Armadillo	24.356	28.844	34.978	39.467	41.422
Janamuato	25.333	38.400	38.178	41.822	43.733

## CAPITULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Como ya se mencionó anteriormente el objetivo de esta tesis es realizar una evaluación de 5 muestras de arena provenientes de bancos de la región de Puruándiro, para comprobar cual si estas son adecuadas para fabricar concreto hidráulico estructural.

Se realizó la recolección de las 5 muestras directamente de los bancos de arena en estudio, esto con la finalidad de garantizar que las muestras cumplieran con las características representativas del material que ahí se extrae y se vende a los constructores de la región.

La grava utilizada en este estudio, fue grava triturada del banco Tlazazalca, ubicado en Tlazazalca Michoacán, se eligió este tipo de grava debido a que la grava triturada guarda características ideales para fabricar concreto hidráulico de resistencias altas, debido a su dureza, baja absorción, y alto peso volumétrico, se eligió dicho banco en específico ya que la grava ahí producida tiene una granulometría bien graduada lo cual es esencial para fabricar un concreto denso y con baja porosidad, debido al correcto acomodo y distribución de las partículas de los agregados.

Las mezclas para fabricar los especímenes de concreto (cilindros y vigas) fueron hechas con los agregados antes mencionados, utilizando para ello agua potable de la red municipal, esto para descartar agentes extraños que pudieran afectar a la resistencia de los especímenes.

Cabe mencionar que en esta experimentación la única variable entre las diferentes muestras fue solo la arena, con esto se garantiza que las diferencias entre los resultados obtenidos sean provocadas por las características de las diferentes muestras de arena.

Al realizar las pruebas de densidad. Pesos volumétricos, absorción, equivalente de arena, colorimetría y granulometría a las diferentes arenas, se apreciaron claras diferencias entre las muestras, al obtener mejores resultados para las muestras de Chamacuero y Sta. Clara (N) principalmente, y los peores resultados para las muestras de Janamuato y Sta. Clara (R.), la muestra del Armadillo arrojó resultados regulares. Por ejemplo en la prueba de absorción la muestra de Chamacuero arrojó un valor de 3.18 %, siendo este el valor más bajo obtenido, en cambio la muestra de Sta. Clara (R.) arrojó un valor de 9.32 %, siendo este el valor más alto de las 5 muestras y por consiguiente dejando ver que esta muestra físicamente es la de peor calidad. En la prueba de densidad la muestra de Chamacuero una vez más obtuvo el mejor valor registrando 2.48 gr/cm<sup>3</sup> en cambio la muestra de Janamuato ocupó el valor más bajo, registrando 2.23 gr/cm<sup>3</sup>. Por lo cual queda claro que las muestra que registraron los valores más bajos de absorción y los valores más altos de densidad son las que presentan mejores características para fabricar concreto hidráulico, en cambio a las

que presentan resultados inversos, dejan ver claras deficiencias que afectaran al comportamiento mecánico de los especímenes colados con ellas.

Las diferentes muestras de concreto para fabricar los especímenes se elaboraron en el laboratorio de materiales de la facultad de ingeniería civil, con ayuda de una revoladora eléctrica con capacidad para revolver un saco de 50 kg de cemento, en cada mezcla se midió el revenimiento, obteniendo valores entre los 10 cm y los 14 cm, lo cual es aceptable ya que el revenimiento de diseño fue de 12 cm y la norma “NMX-C-156-ONNCCE” permite un margen de  $\pm 2.5$  cm para revenimientos mayores a 10 cm. Las condiciones de fabricación del concreto fueron controladas y se cuidó que las características no variaran demasiado entre cada colada.

En la imagen 4.10 queda reflejado el comportamiento de los especímenes cilíndricos de 10 cm por 20 cm a compresión, en esta grafica se realiza una comparativa entre los valores promedio de los cilindros elaborados con las diferentes arenas, estos se probaron a edades de 7, 14, 28, 70 y 110 días siendo la resistencia de diseño de 250 kg/cm<sup>2</sup>. En general la tendencia de los especímenes fue aumentando conforme a la edad, sin embargo existen grandes diferencias de resistencia entre los especímenes correspondientes a las diferentes muestras de arena, las cuales son contundentes ya que se aprecia que la muestras de Chamacuero alcanza la resistencia de diseño desde los 14 días, lo cual indica una excelente resistencia a edades tempranas del concreto fabricado con esta arena. A los 28 días de edad, que es el tiempo que marca la norma NMX-C-083-ONNCE para que el concreto alcance el 100 % de la resistencia de diseño, las únicas muestras que lo lograron fueron Chamacuero y Sta. Clara (N), registrando 306.8 kg/cm<sup>2</sup> y 260.3 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, las muestras que estuvieron por debajo de la resistencia de diseño a los 28 días de edad fueron El Armadillo, Janamuato y Sta. Clara (R.), registrando 232.2 kg/cm<sup>2</sup>, 242.9 kg/cm<sup>2</sup> y 195.9 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. A los 70 días de edad los especímenes fabricados con las muestras de El Armadillo y Janamuato alcanzaron y superaron la resistencia de diseño, registrando una resistencia a la compresión de 270.09 kg/cm<sup>2</sup> y 255.83 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. A los 110 días de edad, las resistencias obtenidas para las muestras de Chamacuero, Sta. Clara (N), El Armadillo, Janamuato y Sta. Clara (R.) fueron de 322.76 kg/cm<sup>2</sup>, 284.05 kg/cm<sup>2</sup>, 290.63 kg/cm<sup>2</sup>, 267.33 kg/cm<sup>2</sup> y 228.12 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, haciendo evidente que a los 110 días de edad, para los especímenes de la muestra de Sta. Clara (R.) no fue posible alcanzar la resistencia de diseño.

Para hacer más evidente la calidad del concreto elaborado con las diferentes muestras de arena y visualizar su incremento de resistencia conforme a la edad, se realizó una comparativa de la resistencia en porcentaje obtenida de los especímenes en las diferentes edades contra lo que marca la norma NMX-C-083-ONNCE, esto se puede apreciar en las imágenes 4.11 a 4.15.

Para la edad de 7 días la norma marca que los cilindros deberán alcanzar un 65% de resistencia, las muestras de Chamacuero, Sta. Clara (N) y el Armadillo si lo alcanzaron e incluso lo sobrepasaron, registrando resistencias de 86.2 %, 73.74 % y 66.24 % respectivamente, las muestras de Janamuato y Sta. Clara (R.), registrando 61.8 % y 56.63 % respectivamente. A los 14 días de edad la norma marca un 80 % de incremento de resistencia, para esta edad nuevamente las muestras de Janamuato y Sta. Clara (R.) quedaron por debajo de este porcentaje de resistencia. A los 28 días las muestras de Chamacuero, Sta. Clara (N), El Armadillo, Janamuato y Sta. Clara (R.), registraron 122.72 %, 104.11 %, 92.89 %, 97.16 % y 78.38 % respectivamente. Esta edad es la edad referente de diseño, ya que la norma marca que a los 28 días se alcanza el 100 % de la resistencia de diseño, por lo tanto se pueden hacer 3 observaciones fundamentales. La primera es que las muestras de Chamacuero y Sta. Clara (N), registran un comportamiento muy bueno y estable desde edades tempranas, la segunda es que la muestra del Armadillo, aunque siguió aumentando de resistencia, lo hizo en menor proporción y para esta edad no alcanzo el 100 % de resistencia y la ultima es que la muestras de Janamuato y Sta. Clara (R.) nuevamente quedaron por debajo de lo establecido en la norma, siendo la muestra de Sta. Clara (R.) la que peor comportamiento registra ya que incluso a esta edad de 28 días, no alcanzo lo previsto en la norma para los 14 días. Para las edades de 70 y 110 días, la norma ya no tiene un mínimo de resistencia establecido, pero sabemos que el concreto seguirá endureciéndose y obteniendo mayor resistencia con el paso del tiempo. A los 110 días de edad la muestra de Chamacuero registro 29.1 % más de la resistencia de diseño, la muestra de Sta. Clara (N) registro 13.6 % más, la muestra del Armadillo registro 16.25 % más, la muestra de Janamuato, para esta edad registro 6.9 % más y la muestra de Sta. Clara (R.) no alcanzo el 100 % de resistencia a ninguna edad del estudio, quedando un 9 % por debajo del 100 % en esta edad, lo que nos indica un comportamiento deficiente a los esfuerzos de compresión.

Para los resultados de tensión indirecta, no existe una normativa que indique un mínimo de resistencia conforme a la edad del espécimen, sin embargo al realizar una comparativa entre los resultados obtenidos con las 5 diferentes muestras, se hace evidente que existen diferencias muy marcadas, tal como se muestra en la figura 4.16, En esta grafica se registra un comportamiento muy similar a lo que ocurrió en los cilindros probados a compresión, situando a las muestras de Chamacuero y Sta. Clara (N) con los resultados más altos desde edades tempranas, por el contrario las muestras de Janamuato y sobre todo Sta. Clara (R.), una vez más registran los resultados más bajos. Por ejemplo a los 28 días de edad, que como ya se dijo es la edad referente de diseño, la muestra de Chamacuero registro 31.7 kg/cm<sup>2</sup> y la muestra de Sta. Clara (R.) registro 26.3 kg/cm<sup>2</sup>, existiendo una diferencia de 5.4 kg/cm<sup>2</sup>, la cual representa un 20 % de diferencia entre estas dos muestras. A edades de 70 y 110 días el comportamiento de las 5 muestras se mantuvo como ya se venía manifestando a edades tempranas, lo que nos indica que para esfuerzo a tensión indirecta, las muestras de Chamacuero, Sta. Clara (N), y el Armadillo, tienen un buen

comportamiento, y las muestras de Janamuato y Sta. Clara (R.) registran valores de resistencia a tensión muy por debajo a las tres muestras anteriores, sin embargo como no existe una norma que indique un valor mínimo, solo se puede decir que estas dos muestras tienen un comportamiento malo en comparación con las primeras tres.

El esfuerzo a flexión o módulo de ruptura es un parámetro de diseño muy importante para el diseño de concreto, principalmente cuando este va a ser utilizado en pavimentos, por lo cual es importante conocer su comportamiento e incremento de resistencia a diferentes edades. La norma NMX-C-191-ONNCCE-2004 indica que la resistencia a la flexión debe ser del 10 % al 20 % de su resistencia a compresión, apegándonos a esta recomendación se puede observar que todas las muestras para todas las edades cumplen con este parámetro, sin embargo considerando que este parámetro es un tanto subjetivo, ya que está basado en la resistencia a compresión, podemos decir que las muestras de Sta. Clara (R.) y Janamuato, también tiene un comportamiento deficiente a flexión, ya que su resistencia a la compresión fue baja. Y por lo tanto las muestras de Chamacuero, Sta. Clara (N) y el Armadillo tienen un buen comportamiento a flexión ya que sus resistencias a compresión fueron buenas.

Las pruebas no destructivas (velocidad de pulso, resistividad y resonancia) que se realizaron a los especímenes cilíndricos de este estudio, fueron con fines comparativos y así tener una idea más clara de la calidad del concreto.

Para la prueba de Velocidad de pulso ultrasónico, los valores obtenidos, se comparan con una tabla que publicó Malhotra en el año 1985, de esta manera se obtiene la clasificación del concreto en base a su velocidad ultrasónica. En base a esta clasificación se obtuvo que para todas las muestras el concreto es de buena calidad, ya que sus valores de velocidad ultrasónica se situaron entre 3660 y 4575 m/s.

Las pruebas de resistividad, nos indican el riesgo a la corrosión del concreto, observando la gráfica de resultados (figura 4.8), se puede apreciar un comportamiento de ascenso constante de acuerdo al paso de los días. Sin embargo desde la primer edad 7 días, hasta la última de 110 días, todas las muestras registran valores menores a 10 K ohms – cm, por lo tanto aunque si existió aumento de la resistividad con el paso del tiempo, los diferentes concretos se clasifican como de alto riesgo.

Para la pruebas de resonancia magnética se obtuvieron valores muy inestables, registrando los valores más altos a 7 días, después se dio un comportamiento de descenso hasta alcanzar su valor mínimo a los 70 días, y después volvió a incrementar a los 110 días, registrando un valor muy similar al de los 7 días de edad, esta prueba no deja claro el comportamiento del concreto, por lo cual se recomienda hacer pruebas a edades tardías y correlacionarlas con la resistencia a compresión para tener una idea más clara de la calidad del concreto.

## CAPITULO 6. CONCLUSIONES.

Primeramente es de hacer notar que las muestras de arena estudiadas presentan colores característicos diferentes, por ejemplo las muestras de Chamacuero y Sta. Clara (N), presentan un color negro y las muestras del Armadillo, Janamuato y Sta. Clara (R.), presentan colores rojizos en diferentes tonalidades. Estos colores rojizos indican que los minerales de hierro de la arena han sufrido oxidación a causa de los fluidos hidrotermales y se encuentran corroídos. Como consecuencia de esta oxidación, la arena sufre cierto deterioro importante que le causa altos porcentajes de absorción y bajos pesos volumétricos, por este motivo desde que se hicieron las pruebas de laboratorio, se encontró que la muestras de Chamacuero y Sta. Clara (N), presentaban los mejores resultados, debido a que estas dos muestras no han sufrido oxidación de sus minerales de hierro. Y por esta misma razón las otras tres muestras presentan resultados muy malos, siendo la muestra de Sta. Clara (R.) la que presenta un mayor deterioro por oxidación ya que fue la que arrojó los valores más deficientes.

De acuerdo a lo observado en los resultados de la pruebas mecánicas, se puede concluir que la muestra de Chamacuero presenta características que brindan un comportamiento mecánico excelente, por lo cual es ampliamente recomendable para su uso en concreto hidráulico estructural. La muestra de Sta. Clara (N), presento un buen comportamiento mecánico, por lo tanto también es buena para fabricar concreto hidráulico. Las muestras de EL Armadillo y Janamuato al cabo de los 110 días edad tuvieron un comportamiento muy similar, dicho comportamiento se puede considerar como regular ya que alcanzaron la resistencia de diseño hasta los 70 días de edad y por último la muestra de Sta. Clara (R.), presento un comportamiento malo mecánicamente, ya que desde edades tempranas su resistencia fue baja y al cabo de los 110 días de edad, quedo por debajo de la resistencia de diseño.

Recordemos que los resultados obtenidos en este estudio, fueron obtenidos de concreto diseñado mediante el  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , y fabricado bajo condiciones de laboratorio cuidadosamente controladas. Por lo tanto para reproducir estos resultados en obra se requerirá diseñar el concreto mediante el  $Fcr$  el cual quedara determinado por el mayor valor de las siguientes expresiones  $fcr = f'c + 1.28 (\sigma_c)$ ;  $fcr = f'c + 2.52 (\sigma_c) - 35$  y el cálculo se realizara tal como se muestra en el apartado 2.4.3.1 referente a los cálculos del proporcionamiento. Debido a que en obra se tiene menor cuidado a la hora de proporcionar el concreto y sobre todo al respetar la relación agua/cemento.

El uso de las muestras de Janamuato y El Armadillo para fabricar concreto hidráulico, no se recomienda ampliamente, debido a que su comportamiento es de regular a deficiente, la muestra de Sta. Clara (R.) se puede usar en concreto no estructural de baja resistencia, ya que su comportamiento a compresión es malo.

## CAPITULO 7. BIBLIOGRAFIA.

- [1] Cottier Caviedes, J.L. Tecnología del concreto, <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc6521/doc6521-contenido.pdf> (consultado febrero del 2013)
- [2] Neville, A. (1999), Tecnología del concreto. 1ra Ed., IMCYC, México,
- [3] Gobierno del estado de Michoacán, Secretaria de planeación y desarrollo estatal, (2006) Carpeta municipal de Puruándiro.
- [4] Kosmatka. S.H., Kerkhoff, B. Panarese, W.C. Tanesi, J. 2004, Diseño y control de obras de concreto. Portland Cement Association.
- [5] <http://www.cementosdeandalucia.org/index.php?cPath=fabricacion&op=2> (imagen descargada en febrero de 2013).
- [6] NMX-C-414-2006-ONNCCE. Industria de la construcción - cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba.
- [7] <http://es.wikipedia.org/wiki/Agua> (consultada febrero de 2013)
- [8] NMX-C-122-2004-ONNCCE. Industria de la construcción – agua para concreto – especificaciones.
- [9] Díaz González Noel, 2011, “Efecto del agregado grueso pétreo triturado en sollicitaciones mecánicas dinámicas y estáticas. Caso de concreto hidráulico simple adicionado con fibras deshidratadas de cactus opuntia blanco” Tesis de licenciatura, Facultad de ingeniería civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- [10] Saavedra Jacobo José, 2008, “Análisis de materiales pétreos del banco “La Calabaza” de Comanja Michoacán, para elaboración de concreto hidráulico” Tesis de licenciatura, Facultad de ingeniería civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- [11] Lara Gómez C. “Método del ACI 211” Diseño de mezclas , Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- [12] Navarro Sánchez L.M., Molina Martínez W.(2007) Análisis de materiales Segunda Edición UMSNH.
- [13] Martínez Molina W. Tecnología del concreto. Diapositivas de clase, Facultad de ingeniería civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

- [14] Malhotra V. M. and Carino N. J., 2004, Handbook on nondestructive testing of concrete, CRC Press, Boca Raton, U.S.A.
- [15] Whitehurst, E. A., 1966, Evaluation of Concrete Properties from Sonic Test, ACI Monograph 2, American Concrete Institute, Detroit, MI, p. 94.
- [16] Malhotra V. M., 1985, Nondestructive methods for testing concrete, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- [17] Torres Acosta Andrés Antonio, Martínez Molina Wilfrido, Lomelí González María Guadalupe, Pérez Gallardo Alejandro, 2010, Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto, Publicación Técnica No. 328, Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
- [18] Hornibrook, F. B., 1939, Application of Sonic Method to Freezing and Thawing Studies of Concrete, ASTM Bull. No. 101, p. 5.
- [19] NORMA ASTM C215 Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens.
- [20] Malhotra, V. M., 1976, Testing of Hardened Concrete: Nondestructive Methods, ACI Monograph 9, American Concrete Institute, Detroit, MI.
- [21] NMX-C-083-2002-ONNCCE. (2002). Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. "Método de prueba".
- [22] NMX-C-091-ONNCCE-2004. (2004). Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro.