

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS



“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN ADITIVO ANTIAGLOMERANTE EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICO-MECÁNICAS DE CONCRETO PREMEZCLADO ELABORADO CON 5 ARENAS DE LA REGIÓN DE PURUÁNDIRO, MÉXICO”.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Ingeniero Civil

PRESENTA:
José Arturo Madrigal Valencia

ASESOR:
Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán

COASESOR:
Ing. Wilfrido Martínez Molina

Morelia, Mich., Agosto de 2013

DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo a las personas que son más importantes en mi vida, por todo el apoyo que siempre eh recibido de ellos:

A mi madre, **María Teresa Valencia Lara** por darme la confianza y por siempre haberme apoyado en todas mis decisiones a lo largo de mi vida, porque siempre ha sabido salir adelante y busca la forma de brindarme lo necesario para hacer cumplir mis sueños sin importarle lo que necesite hacer, apoyo que demuestra tanto a mi como a mis hermanos. Por creer en mí y motivarme a lo largo de mi carrera.

A mi padre, **Salvador Madrigal Álvarez** por su apoyo incondicional siempre para culminar mis estudios y por confiar en que no los defraudaría al salir lejos de casa con el propósito de estudiar. Por apoyar siempre mis decisiones y enseñarme que todo en la vida se logra con esfuerzo.

A mis hermanos, **Laura Teresa y Salvador**, por siempre hacerme ver que cuento con ellos para lo que sea y por motivarme a cumplir mis metas. Al ser el menor de ellos, siempre he tomado muy en cuenta sus consejos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a Dios por permitirme mantenerme en pie hasta este momento con buena salud y así poder culminar una meta más en mi vida, tanto personal como profesional.

A mi asesora de Tesis, **Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán** por su motivación y apoyo otorgado siempre para realizar mi trabajo de investigación dentro del Laboratorio donde ella labora y colabora, y por su disposición siempre para resolver mis dudas y por hacerme ver y sentir su disposición para cualquier situación. Persona sencilla y trabajadora.

Al **Ing. Wilfrido Martínez Molina** por su disposición y apoyo otorgado para hacer uso del laboratorio, por su colaboración y opiniones para el buen desarrollo de mi trabajo de tesis..

A mi amigo y compañero colaborador de tesis, **Alfonso Días Pichardo** por su ayuda y apoyo para hacer más ameno el tiempo invertido en la realización de nuestros trabajos de investigación, a mis también compañeros y amigos Ramón Antonio Figueroa Carranza, Elizabeth Contreras Marín, Arturo Zalapa Damián por su apoyo durante la realización de este proyecto de tesis, además de Laboratoristas como Marco Antonio Mondragón Ornelas y Noel Díaz Gonzales que tuvieron su disposición para aclararnos dudas, y a todos aquellos amigos que directa e indirectamente siempre estuvieron apoyándome en la culminación de este paso más en mi vida profesional.

A la **M.I. Cindy Lara Gómez** y al **Dr. Hugo Luis Chávez García** que tuvieron la disposición siempre de aclararme dudas y hacerme sugerencias sobre mi tema para así realizar una investigación mejor, con su experiencia y punto de vista. Por su constante interés en el seguimiento del tema, por su ayuda al Dr. Hugo Luis para la realización de las pruebas no destructivas, por su tiempo. ¡Muchas Gracias!

Al Ing. **José Guiza Martínez** por brindarme su apoyo y confianza para realizar este trabajo, por apoyarnos con material como la grava, el cemento y el aditivo utilizados y por su buena disposición siempre para cualquier cosa que ocupáramos de él. Por su ayuda como usuario de investigación y facilitarme documentos suyos para poder tramitar mi beca de titulación.

Al **Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación “CECTI”** por aceptar mi propuesta de investigación para aportar ayuda a la sociedad, y por su apoyo económico con una beca de tesis que fue de mucha ayuda para darle seguimiento y finalizar mi tesis, solventando mis gastos y concluir este trabajo de investigación.

Y a todas las personas que de alguna forma me ayudaron y siempre me apoyaron para poder culminar con este trabajo.

De todo corazón, ¡GRACIAS A TODOS USTEDES!

RESUMEN

Ante las necesidades que se presentan en la actualidad dentro de la industria de la construcción, es de gran importancia poder contar con opciones de concreto que desarrollen buena resistencia y garanticen durabilidad para un buen comportamiento de las estructuras y así realizar y mantener una infraestructura digna dentro del país.

El principal enfoque de este trabajo de investigación es hacer una comparación de las propiedades de un concreto premezclado elaborado con 5 diferentes arenas, ya que no se cuenta con un estudio de las propiedades de dichas arenas, y manipulando las propiedades del concreto con un aditivo dispersante CRISOTAN R-5 (antiaglomerante y reductor de agua) se busca reducir, tanto la relación agua-cemento como la relación grava-arena, y obtener así altas resistencias a la compresión a edades tempranas, además de mejorar su trabajabilidad. Las arenas que se utilizaron se conocen como Chamacuero, Janamuato, El Armadillo, Santa Clara (Negra) y Santa Clara (Roja), y se extrajeron de bancos de material ubicados en la región del municipio de Puruándiro, Michoacán; la grava se extrajo de un banco de material ubicado en el municipio Tlazazalca, Michoacán; el cemento que se empleó es un CPC-30R de la marca Lafarge. Las pruebas que se le hicieron a las arenas y a la grava fueron: pesos volumétricos seco suelto y seco varillado, porcentaje de absorción en agua a temperatura ambiente, densidad, granulometría, colorimetría y equivalente de arena, y se empleó un agua potable, para elaborar concreto premezclado con un $f'c$ de 24.52 MPa (250kg/cm²). Con estos datos se procedió a hacer un proporcionamiento de mezcla empleando el método del ACI y, haciendo las variaciones antes mencionadas, dos en la relación agua-cemento y dos en la relación grava-arena, se colaron especímenes (cilindros de 10cmØ x 20cm de altura) para realizarles pruebas tanto destructivas como no destructivas a edades de 7, 14 y 28 días, y vigas (de 15cm x 15cm x 60cm) para realizarles pruebas destructivas a edades de 14 y 28 días para monitorear su comportamiento en el transcurso del tiempo.

(Palabras clave: Evaluación de arenas, aditivo, concreto premezclado).

ABSTRACT

Given the needs that are currently in the construction industry, is very important to have options of concrete that develop good strength and guarantee the durability and the good behavior of the structures, in this way we can contribute and keep a good infrastructure in our country.

The main focus of this research is to make a comparison of the properties of a ready-mix concrete prepared with 5 different sands, because there isn't any study of the properties of these sands. Manipulating the properties of the concrete with a dispersant additive CRISOTAN R-5 (anti-caking and water reducer) one of the main goals of this research is to reduce the relation of water-cement and gravel-sand, with the objective of get higher resistances to compression in young ages of the concrete and also improve the way to work with this material. The sands used are known as Chamacuero, Janamuato, El Armadillo, Santa Clara (Black) and Santa Clara (Red), this sand were obtained of material banks located in the municipality of Puruándiro, Michoacán; the gravel was extracted from a bank situated in the municipality of Tlazazalca, Michoacán; The cement that was used is CPC-30R brand Lafarge. The tests that were apply to the sands and the gravels were: volumetric dry separate weights and dry rodding, percentage of absorption of water at normal room temperature, density, grain size, colorimetry and sand equivalent. In the process was used clean drinking water to made concrete with a $f'c$ of 24.52 MPa (250kg/cm²). With these information was made the proportioning for the concrete mix using the ICA method, making the variations aforementioned, two in the relation water-cement and other two in the relation of gravel-sand, were made on cylindrical specimens (cylinders of 10cmØ x 20cm height) for made them destructive tests and not destructive tests in young ages 7, 14 and 28 days, and beams (of 15cm x 15cm x 60cm) for destructive testing to the ages of 14 and 28 days for know how they works during that time.

(Keywords: Evaluation of sand, additive, ready-mix concrete).

INDICE GENERAL

DEDICATORIAS.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	X
CAPITULO 1. Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo General.....	2
1.3 Localización del Estado de Michoacán.....	2
1.4 Localización del municipio de Puruándiro.....	3
1.5 Ubicación de los bancos de arena en estudio.....	4
CAPITULO 2. Origen de los suelos.....	8
2.1 Geósfera.....	8
2.2 Corteza Terrestre.....	8
2.3 Clasificación de la roca según su origen.....	10
2.4 Suelos.....	11
CAPITULO 3. Materias primas en la fabricación de concreto.....	12
3.1 Cemento.....	13
3.1.1 Tipos de Cementos.....	14
3.1.2 Cemento utilizado.....	16
3.2 Arena (agregado fino).....	17
3.3 Grava (agregado grueso).....	18
3.4 Agua.....	19
3.4.1 Acción agresiva de las aguas.....	19
3.5 Aditivos.....	22
3.5.1 Aditivo utilizado.....	23
CAPITULO 4. Pruebas realizadas y sus respectivos resultados.....	25

4.1 Pruebas al cemento.....	25
4.1.1 Densidad aparente del cemento.....	25
4.2 Pruebas a las arenas.....	27
4.2.1 Muestreo en arenas.....	27
4.2.2 Cuarteo en arenas.....	28
4.2.3 Humedad actual en arenas.....	30
4.2.4 Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.....	32
4.2.5 Peso volumétrico seco suelto en arenas (PVSS).....	35
4.2.6 Peso volumétrico seco y varillado en arenas (PVSV).....	36
4.2.7 Granulometría o análisis granulométrico en arenas.....	38
4.2.8 Colorimetría en arenas.....	46
4.2.9 Densidad en arenas.....	47
4.2.10 Equivalente de arena.....	49
4.2.11 Tabla resumen de resultados de caracterización.....	52
4.3 Pruebas a la grava.....	53
4.3.1 Muestreo en gravas.....	53
4.3.2 Cuarteo en gravas.....	53
4.3.3 Humedad actual en gravas.....	54
4.3.4 Humedad de absorción en gravas.....	55
4.3.5 Densidad en gravas.....	57
4.3.6 Peso volumétrico seco suelto en gravas (PVSS).....	58
4.3.7 Peso volumétrico seco y varillado en arenas (PVSV).....	59
4.3.8 Granulometría en gravas.....	60
4.4 Pruebas al concreto.....	63
4.4.1 Revenimiento en el concreto.....	63
4.4.2 Fabricación de cilindros de concreto.....	65
4.4.3 Fabricación de vigas de concreto.....	66
4.4.4 Curado del concreto.....	68
4.4.5 Cabeceado en cilindros de concreto.....	69
4.5 Pruebas no destructivas (cilindros).....	70
4.5.1 Velocidad de Pulso Ultrasónico.....	70

4.5.2 Frecuencia de Resonancia.....	74
4.5.3 Resistividad Eléctrica.....	77
4.6 Pruebas destructivas.....	79
4.6.1 Resistencia a la compresión simple en cilindros.....	79
4.6.2 Resistencia a la flexión en vigas.....	81
CAPITULO 5. Diseño de mezclas.....	84
5.1 Proporcionamiento de la muestra base (Método del ACI).....	84
CAPITULO 6. Experimentación con mezclas.....	95
6.1 Primera etapa. Relación agua-cemento y porcentaje de aditivo óptimos.....	95
6.1.1 Proporcionamientos primera etapa.....	96
6.1.2 Resistencias a compresión primera etapa.....	98
6.2 Segunda etapa. Reducción de cemento y de la relación grava- arena.....	100
CAPITULO 7. Resultados.....	112
7.1 Caracterización física de los materiales.....	112
7.2 Caracterización química de las arenas.....	113
7.3 Pruebas no destructivas (cilindros).....	114
7.3.1 Especímenes con arena “Santa Clara (Negra)”.....	114
7.3.2 Especímenes con arena “Santa Clara (Roja)”.....	116
7.3.3 Especímenes con arena “Chamacuero”.....	118
7.3.4 Especímenes con arena “El Armadillo”.....	120
7.3.5 Especímenes con arena “Janamuato”.....	122
7.4 Resistencia a compresión de la primera etapa.....	130
7.5 Resistencia a compresión de la segunda etapa.....	131
7.6 Resistencia a tensión por flexión del concreto.....	137
CAPITULO 8. Discusión de resultados.....	143
CAPITULO 9. Conclusiones.....	147
CAPITULO 10. Referencias Bibliográficas.....	148

INDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA	TABLA	PÁGINA	TABLA	PÁGINA
2.1	11	5.9	92	7.1	112
3.1	15	5.10	93	7.2	113
3.2	16	5.11	94	7.3	113
3.3	16	5.12	94	7.4	114
4.1	26	5.13	94	7.5	114
4.2	32	5.14	94	7.6	115
4.3	34	6.1	96	7.7	115
4.4	36	6.2	97	7.8	116
4.5	38	6.3	98	7.9	116
4.6	39	6.4	98	7.10	117
4.7	40	6.5	98	7.11	117
4.8	41	6.6	99	7.12	118
4.9	42	6.7	99	7.13	118
4.10	43	6.8	99	7.14	119
4.11	44	6.9	102	7.15	119
4.12	45	6.10	102	7.16	120
4.13	45	6.11	103	7.17	120
4.14	49	6.12	103	7.18	121
4.15	51	6.13	104	7.19	121
4.16	52	6.14	104	7.20	122
4.17	52	6.15	105	7.21	122
4.18	60	6.16	105	7.22	123
4.19	61	6.17	106	7.23	123
4.20	62	6.18	106	7.24	134
4.21	74	6.19	107	7.25	134
4.22	78	6.20	107	7.26	134
5.1	86	6.21	108	7.27	134
5.2	87	6.22	108	7.28	137
5.3	87	6.23	109	7.29	137
5.4	88	6.24	109	7.30	138
5.5	89	6.25	110	7.31	138
5.6	89	6.26	110	7.32	139
5.7	90	6.27	111	8.1	144
5.8	90	6.28	111		

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA	FIGURA	PÁGINA
1.1	3	4.23	73
1.2	4	4.24	77
1.3	5	4.25	79
1.4	6	4.26	81
1.5	6	4.27	83
1.6	7	4.28	83
2.1	8	5.1	93
2.2	9	6.1	97
2.3	10	7.1	124
3.1	18	7.2	124
3.2	18	7.3	125
3.3	19	7.4	125
3.4	19	7.5	126
3.5	24	7.6	126
4.1	27	7.7	127
4.2	29	7.8	127
4.3	32	7.9	128
4.4	35	7.10	128
4.5	40	7.11	129
4.6	41	7.12	129
4.7	42	7.13	130
4.8	43	7.14	130
4.9	44	7.15	131
4.10	46	7.16	132
4.11	47	7.17	132
4.12	49	7.18	133
4.13	52	7.19	133
4.14	54	7.20	135
4.15	62	7.21	135
4.16	63	7.22	136
4.17	64	7.23	136
4.18	65	7.24	139
4.19	66	7.25	140
4.20	67	7.26	140
4.21	68	7.27	141
4.22	69	8.1	144

CAPITULO 1. Introducción.

1.1 Introducción.

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados por el hombre desde tiempos muy remotos, y es por esto que es de mucha importancia seguir adelante con la investigación con fin de mejorar las propiedades del concreto para, con ello, hacer más y mejores obras civiles con mejores propiedades, tanto de diseño, durabilidad y economía, para un mejor desarrollo en la infraestructura de nuestro País.

Dentro de la región del municipio de Puruándiro, Michoacán, existen, principalmente, 5 diferentes arenas volcánicas, mismas que han sido explotadas durante años para ser utilizadas como agregado pétreo a fines de construcción, y que son utilizadas indiferentemente para la elaboración de concreto premezclado, pero sin tener un estudio de calidad de estos materiales. Por ello se realizó este trabajo de investigación que será de gran importancia para el municipio y para esta región del estado de Michoacán de Ocampo, principalmente.

Estas 5 diferentes arenas pertenecen a bancos de material denominados como: Chamacuero, Janamuato, El Armadillo, Santa Clara (Negra) y Santa Clara (Roja). Las pruebas que se le realizaron a los especímenes de cilindros son: resistividad, pulso ultrasónico y frecuencias de resonancia (pruebas no destructivas) y prueba de compresión simple (prueba destructiva); y para las vigas solo se realizaron pruebas de tensión indirecta (prueba destructiva). Estas pruebas se realizaron a cilindros de 10cm de diámetro por 20cm de altura a edades de 7, 14 y 28 días, y vigas de 15cm de ancho por 15cm de espesor por 60cm de largo a edades de 14 y 28 días.

*En cuanto al aditivo utilizado en la mezcla, el CRISOTAN R-5 tiene un excelente desempeño como plastificante y acelerante de resistencia, su presentación es en un polvo muy fino de color café, presenta una muy buena plasticidad para el concreto, facilita el manejo por bombeo, no presenta ningún efecto sobre el fraguado ni promueve la corrosión, y en teoría reduce la cantidad de agua hasta en un 35%,

mismo que se evaluará. El CRISOTAN R-5 se utilizó como adición y no como sustitución, en base al cemento.

**Basado en la ficha técnica del producto.*

Una vez que se realizaron todas las pruebas a los materiales y teníamos todos los resultados como datos, se hizo el proporcionamiento para una mezcla como base, por el método del ACI (American Concrete Institute) para un $f'c$ de 250kg/cm² y con un revenimiento de 12cm. Con este proporcionamiento como base, el trabajo de investigación se dividió en una Primera Etapa con fin de encontrar una relación óptima de aditivo a emplear (basándonos en la ficha técnica del producto), y una Segunda Etapa que constó de hacer cuatro variaciones con fin de comparar comportamientos mecánicos con un estudio rápido de costos de elaboración, todo esto preferentemente manteniendo una resistencia a la compresión igual o cercana a la de diseño: dos reducciones de cemento del 5% y 10% y dos reducciones de la relación grava-arena del 1.8 y 1.4.

1.2 Objetivo General.

El objetivo general de este trabajo de investigación es hacer un estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de 5 arenas volcánicas de la región del municipio de Puruándiro, Michoacán, y, utilizando el aditivo antiaglomerante CRISOTAN R-5 en cantidades óptimas, poder fabricar concretos premezclados con características apropiadas para un concreto premezclado, como durabilidad, resistencia y, en lo posible, lo más económico.

1.3 Localización del estado de Michoacán.

Este estado mexicano tiene como nombre oficial Michoacán de Ocampo y su ciudad capital es Morelia. Se ubica en las siguientes coordenadas geográficas extremas: Al norte 20°24', al sur 17°55' de latitud norte; al este 100°04', al oeste 103°44' de longitud oeste. Tiene un porcentaje territorial que representa el 3.0% de la superficie del país.

Colinda al norte con Jalisco, Guanajuato y Querétaro de Arteaga; al este con Querétaro de Arteaga, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco. El estado se encuentra conformado por 113 municipios. [18]



Figura 1.1. Ubicación del estado de Michoacán de Ocampo en la República Mexicana.

1.4 Localización del municipio de Puruándiro.

El municipio de Puruándiro, Michoacán, México se encuentra al norte del Estado de Michoacán de Ocampo. Tiene una población (año 2010) de 67,837 habitantes distribuidos en 42 localidades y una densidad poblacional de 94.08 habitantes/km². Colinda al norte con el municipio de José Sixto Verduzco y el estado de Guanajuato; al este con el estado de Guanajuato y el municipio de Morelos; al sur con los municipios de Morelos, Jiménez y Panindícuaro; al oeste con los municipios de Panindícuaro, Angamacutiro y José Sixto Verduzco. [13]



Figura 1.2. Ubicación de municipio de Puruándiro en el estado de Michoacán.

1.5 Ubicación de los bancos de arena en estudio.

Como ya se mencionó, las arenas utilizadas en este estudio son 5 y los bancos de material de donde se extrajeron se encuentran dentro del municipio de Puruándiro, Michoacán, específicamente en 4 comunidades cercanas a la cabecera municipal. Estas comunidades donde se encuentran los bancos de material son: Santa Clara, Chamacuero, El Armadillo y Janamuato.

Las 5 arenas utilizadas, para facilitar su identificación se nombraron de la siguiente manera:

- Santa Clara (Negra).
- Santa Clara (Roja).
- Chamacuero.
- El Armadillo.
- Janamuato.

Las muestras de Santa Clara (Negra) y Santa Clara (Roja) se extrajeron del mismo banco de material pero de diferente frente de ataque, puesto que cada frente presenta diferentes características.

A continuación se describe la ubicación de cada uno de estos bancos de material para su fácil localización:

1. Santa Clara (Negra y Roja).

Anteriormente se mencionó que las muestras de arena “Santa Clara (Negra)” y “Santa Clara (Roja)” se extrajeron del mismo banco de material pero de diferente frente de ataque, el cual está ubicado en el kilómetro 2+000 sobre el camino vecinal Santa Clara – Las Tortugas, a unos 20 km desde la cabecera municipal.



Figura 1.3. Vista satelital de la ubicación del banco de material “Santa Clara”.

2. Chamacuero.

El banco de material “Chamacuero” se encuentra cerca de la comunidad de Chamacuero, más específicamente, a unos 3.5 km sobre la carretera vecinal Santa Clara – Chamacuero se encuentra una desviación hacia la derecha la cual conduce a la comunidad de Tejocote de Calera, municipio de Yuriria, Guanajuato, y andando sobre esta, a unos 250 metros se encuentra la entrada del banco de material, a unos 21 km desde la cabecera municipal.

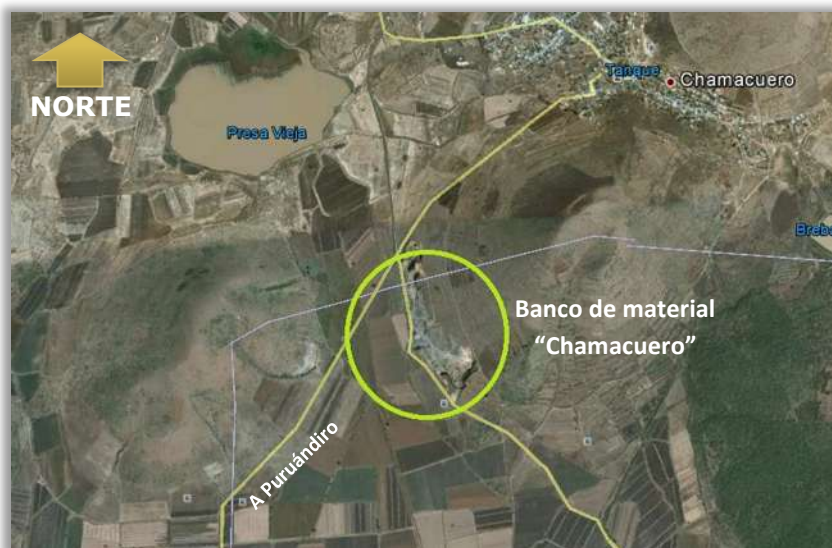


Figura 1.4. Vista satelital de la ubicación del banco de material "Chamacuero".

3. El Armadillo.

El banco de material "El Armadillo" se encuentra en la comunidad de El Armadillo, sobre la carretera vecinal Puruándiro – El Armadillo en el kilómetro 5+500 y girando hacia la izquierda a unos 500 m se encuentra la entrada del banco de material.



Figura 1.5. Vista satelital de la ubicación del banco de material "El Armadillo".

4. Janamuato.

El banco de material “Agregados y derivados de Puruándiro” se encuentra cerca de la comunidad de Janamuato, Municipio de Puruándiro, en la carretera Puruándiro – Angamacutiro en el kilómetro 7+000, frente a dicha comunidad.



Figura 1.6. Vista satelital de la ubicación del banco de material “Agregados y Derivados de Puruándiro”, identificado como “Janamuato”.

CAPITULO 2. Origen de los suelos.

2.1 Geósfera.

La Geósfera [Figura 2.1] corresponde a la porción sólida del planeta. Técnicamente, la Geósfera sería la Tierra misma (sin considerar la hidrósfera ni la atmósfera). De modo práctico y sencillo, diremos que la Geósfera está formada por tres grandes zonas diferentes que son: La Corteza Terrestre, el Manto Terrestre y el Núcleo Terrestre. Nos enfocaremos principalmente a la Corteza Terrestre. [1]

2.2 Corteza Terrestre.

La corteza terrestre es una parte de la Geósfera, y es la capa de roca externa de la Tierra de la cual forma parte el suelo. Es comparativamente fina (en cuanto a las demás capas de la tierra), con un espesor que varía de 6 km, en el fondo oceánico, hasta 70 km en las zonas montañosas de los continentes.

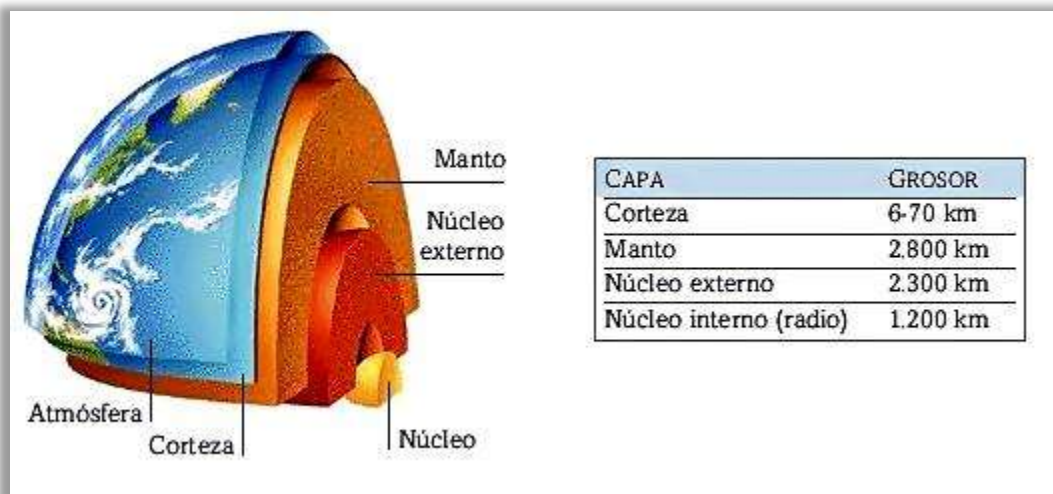


Figura 2.1 Capas de la Tierra.

Esta capa (Corteza) es de la que nos interesa más su estudio, puesto que es sobre esta donde vivimos los seres vivos y donde se desplantan las obras civiles.

Porción en la cual se encuentra un lecho rocoso y duro, constituido por distintos tipos de rocas. Su espesor varía entre 6 y 70 kilómetros. [1]

En ella se distinguen la corteza continental (que corresponde a los continentes y montañas) y la corteza oceánica (que es la tierra cubierta por los mares y océanos).
[1]

Los elementos menos pesados, como silicio, aluminio, calcio, potasio, sodio y oxígeno, componen la corteza exterior.

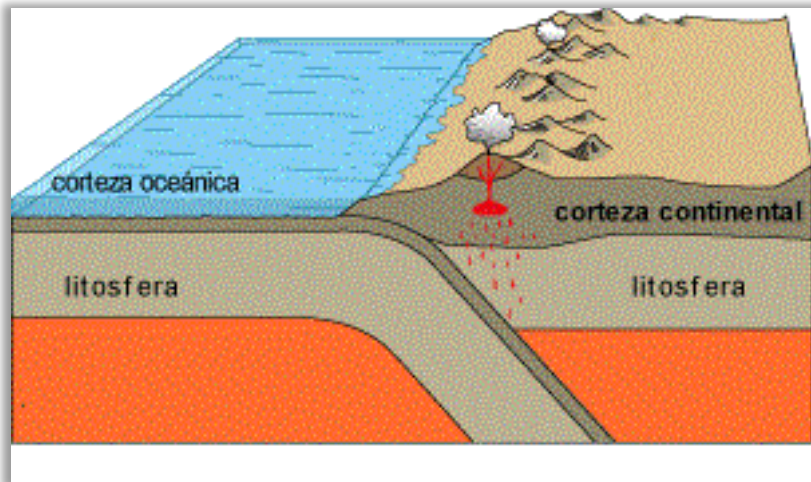


Figura 2.2 Partes de la Corteza Terrestre.

La corteza terrestre es la única capa sólida de la tierra, y conforme va aumentando la profundidad, la temperatura también aumenta, en un aproximado de 1°C por cada 33m. A partir del Manto las propiedades cambian: el Manto es una capa que varía entre un estado semi-sólido y líquido, dependiendo de la profundidad.

Como la Corteza está situada sobre el Manto, y el manto es una mezcla prácticamente líquida que se mueve debido a corrientes convectivas, la corteza está en un movimiento constante. Además de que está en movimiento, la corteza está dividida en placas tectónicas que se mueven independientemente una de la otra, originando que estas choquen entre sí, se separen o que se sobreponga una con respecto a la otra; estos movimientos son los que generan los terremotos o maremotos, por la liberación de energía, y que, como ingenieros civiles, nos son de mucha importancia para mantener las estructuras en pie, funcionales y seguras.

2.3 Clasificación de la roca según su origen.

La corteza de la tierra está formada por tres grandes grupos de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas. [Figura 2.3]

Las rocas **ígneas** (del latín ignius, que significa "fuego") se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas conocidas como rocas volcánicas o extrusivas. [2]

Las rocas **sedimentarias** son rocas que se forman por acumulación de sedimentos que, sometidos a procesos físicos y químicos, dan lugar a materiales más o menos consolidados. [3]

Las rocas **metamórficas** son rocas de transformación procedentes de otras ya formadas con anterioridad y que al verse sometidas a presiones o temperaturas muy elevadas modifican su estructura, dependiendo los distintos tipos, del grado en que cada uno de estos factores actúa. [4]

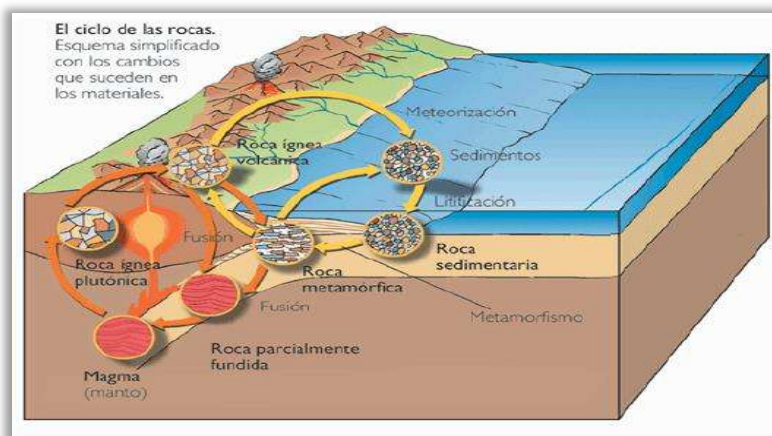


Figura 2.3 Ciclo de las rocas.

2.4 Suelos.

El suelo constituye la interface entre las rocas del sustrato continental y la atmósfera, formándose como consecuencia de los fenómenos físicos, físico-químicos y biológicos de intercambio que ahí se producen. El concepto de suelo es, por tanto, un concepto evolutivo. Este se forma como consecuencia de un proceso dinámico, que implica un cambio progresivo desde que la roca se pone en contacto con la atmósfera como consecuencia de la erosión, hasta su desarrollo completo. [5]

El suelo se forma por la desintegración de la roca, producto de agentes externos como el intemperismo, meteorización, lluvia, cambios en la temperatura, etc., y que se van acumulando o depositando por acción del viento, por sedimentación después de ser transportado por el agua, o por deposición de material orgánico.

Los suelos se pueden clasificar en grava, arena, limo o arcilla, que dependen de su tamaño de partícula. [Tabla 2.1]

	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76 - 2	2 - 0.075	0.075 - 0.002	< 0.002

Tabla 2.1 Clasificación del suelo según su tamaño (AASHTO). [6]

CAPITULO 3. Materias primas en la fabricación de concreto.

La elaboración del concreto esencialmente consta de 4 materias primas: agregados pétreos, que se dividen en agregado fino (arena) y agregado grueso (grava), además de cemento como conglomerante y agua para su hidratación. El aire es un factor que siempre está presente en el concreto, ya sea de forma inducida o accidental; el “aire atrapado” en concretos con peso normal totalmente compactado es menor al 2% en volumen; este volumen de aire varía dependiendo de la consistencia de la mezcla. Lo que se busca es crear una mezcla que contenga la menor cantidad de huecos (aire) y así sea un concreto más denso y, por ende, más impermeable.

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. Algunos depósitos naturales de agregado, llamados de grava de mina, consisten en grava y arena que se pueden usar inmediatamente en el concreto, después de un procesamiento mínimo. La grava y arena naturales normalmente se excavan o se dragan de la mina, del río, del lago o del lecho marino.

Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcillas u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados disgregados o capaces de romperse son indeseables. Se deben evitar agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos. [6]

3.1 Cemento.

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Mezclado con agregados pétreos (grava - arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétrea, denominada hormigón (en España, parte de Suramérica y el Caribe hispano) o concreto (en México y parte de Suramérica). Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil. [8]

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos se fraguan y se endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo. [6]

La norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004 nos dice que *“el concreto hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado, comúnmente conocido como cemento, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad”*.

Se fabrica mediante la calcinación de una mezcla de caliza y arcilla a aproximadamente 1450°C, la adición de los óxidos de aluminio y hierro obedecen a la necesidad de reducir las temperaturas de clínquerización. El primer producto se llama clínquer y se le agrega entre 3-5% de yeso para controlar el fraguado y la velocidad de ganancia de resistencia mecánica. Posteriormente se granulan finamente para obtener el cemento. [9]

Los constructores antiguos usaban la arcilla para unir piedras para formar una estructura sólida de protección. El concreto más antiguo descubierto data de cerca de 7000 a.C. y fue encontrado en 1985, cuando se destapó un piso de concreto durante la construcción de una carretera en Yiftah El, en Galilea, Israel.

En aproximadamente 2500 AC, se empleó un material cementante entre los bloques de piedras en la construcción de la gran pirámide en Giza, en el Egipto antiguo. [6]

Los romanos dieron un paso importante al descubrir un cemento que fabricaban mezclando cenizas volcánicas con cal viva. En Puteoli conocido hoy como Pozzuoli en el siglo I a.C., se encontraba un depósito de estas cenizas cerca del volcán Vesubio, de aquí que a este cemento se le llamase "cemento de puzolana".

3.1.1 Tipos de Cementos.

Los cementos se clasifican por tipos, de acuerdo a sus propiedades específicas asociadas. Las especificaciones estándar están normalmente basadas en la composición química o en propiedades como el área superficial o en pruebas de desempeño como tiempos de fraguado o resistencia mecánica bajo condiciones estándar. La forma de clasificación en la norma C150 de la ASTM es de acuerdo a la siguiente descripción: [9]

Tipo I. Es el cemento Portland ordinario usado más comúnmente en aplicaciones generales de construcción.

Tipo II. Cemento hidráulico de calor moderado y resistencia moderada a los sulfatos. Se emplea en concreto expuesto a suelos o aguas con alto contenido de sulfatos que pueden dañar al concreto.

Tipo III. Cemento de alta resistencia temprana, se emplea en aplicaciones que requieren endurecimientos rápidos por demandas específicas de construcción específicas como silos o pistas de aeropuertos. Para favorecer el desarrollo rápido de resistencia se puede incrementar el contenido de Alita o aumentar el grado de molienda del clínquer.

Tipo IV. Cemento de bajo calor, empleado en climas cálidos o en proyectos que involucran grandes coladas que requieren un endurecimiento homogéneo como presas o cimientos de edificios. La disminución de la velocidad de evolución de calor puede lograrse por medio de una molienda que de productos menos finos que los convencionales.

Tipo V. El ataque de los sulfatos puede ocurrir cuando estos están en altas concentraciones en el cemento o cuando el cemento se expone a medios con altos contenidos de estos como puertos, terminales marítimas, tubos de drenaje, etc. [9]

Además de ser clasificados los cementos de acuerdo a su Tipo, estos son clasificados de acuerdo a su resistencia y durabilidad, a su composición, y de acuerdo a esto poder tener en cuenta las características que desarrolla cada cemento y hacer la mejor elección dependiendo del uso que se le vaya a dar. A continuación se muestran unas tablas que nos explican esto: [10]

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Pórtland Ordinario
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Pórtland Compuesto
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Tabla 3.1 Diferentes tipos de cementos [10]

Como especificaciones físicas de los cementos, estos se clasifican también por clases resistentes. La **Resistencia Rápida** es la resistencia Mecánica a la compresión a los 3 días, y la **Resistencia Normal** es la resistencia presentada a los 28 días. Cuando un cemento posee la propiedad de resistencia rápida se le añade una letra “R” y solo está definida esta característica para las clases resistentes 30R y 40R. [12]

En esta norma también nos marca las resistencias esperadas, para cada clase resistente de cemento ($\text{N/mm}^2 = \text{Mpa}$): [10]

CLASE RESISTENTE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (N/mm ²)		
	Edad 3 días Valor mínimo	Edad 28 días	
		Mínimo	Máximo
20	-	20	40
30	-	30	50
30R	20	30	50
40	-	40	-
40R	30	40	-

Tabla 3.2 Especificaciones Mecánicas [12]

Para la tabla anterior, el tiempo de fraguado inicial y final para cada clase resistente no varía de una clase a otra; presentan un mínimo de 45min y un final de 600min, respectivamente.

Dependiendo de las necesidades que pretenda el proyecto se elige el mejor tipo de cemento; existen algunos con características especiales dependiendo en el ambiente en que se vaya a desarrollar la obra: [10]

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos	Expansión por la reacción álcali-agregado	Calor de hidratación (Max.) (Kcal/kg)	Blancura (mín. %)
		1 Año	14 días 56 Días	7 días 28 días	
RS	Resistente a los sulfatos	0.1			
BRA	Baja Reactividad Alkali Agregado		0.020 0.060		
BCH	Bajo Calor de Hidratación			80 70	
B	Blanco				70

Tabla 3.3 Características especiales de los cementos, por su composición [10]

3.1.2 Cemento utilizado.

Para este trabajo de investigación se utilizó un cemento CPC-30R marca LAFARGE, perteneciente a una compañía internacional de materiales de construcción de origen Francés especializada en cuatro productos principales: cemento, hormigón, áridos y yeso.

3.2 Arena (agregado fino).

La Arena es un agregado fino al que se le pueden dar muchos usos y frecuentemente se le da en la industria de la construcción.

El principal componente de la arena es la sílice o dióxido de silicio (SiO_2), y su origen es muy variado. La arena es un conjunto de granos o partículas, que pasan por la malla No. 4 (4.76mm) y son retenidos en la malla No. 200 (0.075mm). Estos granos se pueden encontrar de manera natural [Figura 3.1] en “bancos de material” que son el resultado de procesos volcánicos y que pueden presentar diferentes características en cuanto a tamaño, porosidad o densidad; en lechos o deltas de ríos [Figura 3.2] que son producto de la abrasión y constante choque entre las rocas que son arrastradas por las corrientes del río y después son depositadas o sedimentadas en lugares específicos.

Por otro lado, de manera artificial se pueden obtener por trituración y molienda de rocas, cuando el hombre simula las fuerzas que provocan la desintegración química y mecánica de la roca bajo meteorización y abrasión, hasta lograr el tamaño que las define.

En virtud de su composición, tendrá diferentes características: cuando la arena está constituida por partículas pequeñas de rocas trituradas, en especial cuando se trata de rocas silíceas, su uso frecuente será para la elaboración de mortero y concreto. Cuando la Arena es gruesa se utiliza con gravilla para la fabricación del concreto para pisos. Y si la Arena es fina, el uso más común es para los trabajos generales de construcción o albañilería, y trabajos de mampostería.

Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores a 5mm.



Figura 3.1 Arena volcánica.



Figura 3.2 Arena de río.

3.3 Grava (agregado grueso).

Los agregados gruesos consisten en gravas naturales, piedras trituradas o una combinación de ambas. Para fines de construcción, los agregados gruesos son el conjunto de partículas que pasan por la malla de 1½" (38.1mm) y son retenidas por la malla No. 4 (4.76mm).

Las gravas que se extraen de manera natural [Figura 3.3] se pueden encontrar también en los "bancos de material" producto de actividades volcánicas, y que generalmente están mezclados junto con las arenas; el proceso de cribado de todo el material nos da como resultado arenas, y gravas (de acuerdo al tamaño) y por ende, estos pueden presentar características muy similares en cuanto a densidad, porosidad, etc.

Por otro lado, las gravas producto de una trituración suelen ser más densas que las volcánicas y, por tanto, más pesadas, menos porosidad y mayor resistencia. [Figura 3.4]

Para determinar el uso de una grava natural volcánica o una grava producto de trituración, depende del tipo de obra, de la importancia de la misma y de las características propias del agregado.

*Figura 3.3 Grava volcánica**Figura 3.4 Grava triturada*

3.4 Agua.

“Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para el preparo del concreto. Sin embargo, también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables”. [6]

Toda agua que sea apta para el consumo humano, que pueda ser bebida, es apropiada para ser utilizada en el mezclado del concreto. Se debe utilizar agua potable o sin impurezas puesto que de ser utilizada un agua dudosa de su procedencia, se corre el riesgo en factores como manchado en el concreto y esto a su vez puede ser signo de corrosión en el acero de refuerzo, variaciones en el tiempo de fraguado, disminución de la resistencia del concreto y su durabilidad.

3.4.1 Acción agresiva de las aguas.

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto está en función de la ausencia de compuestos en ellas o de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas o en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados límites. [11]

A continuación se describe la forma en que actúan:

- *Aguas puras.*

Son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos cálcicos del concreto.

- *Aguas ácidas naturales.*

Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre (CO_2) y/o ácido húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del concreto.

- *Aguas fuertemente salinas.*

Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, éstas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la saturación. Como aguas de mezclado, su acción sobre la cal es la que interrumpe las reacciones de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, pueden ejercer una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

- *Aguas alcalinas.*

Estas producen la hidrólisis alcalina de ciertos compuestos del cemento por los cationes alcalinos y pueden ser nocivas para toda una gama de cementos diferentes al aluminoso, los cuales sufren un ataque corrosivo con aguas de esta naturaleza ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

- *Aguas sulfatadas (Selenitosas).*

Estas aguas pueden considerarse las más agresivas, en lo particular para los cementos ricos en cal total y aluminato tricálcico y en lo general para aquellos concretos o morteros fabricados con cementos de reacción básica tales como los portland. En general estas aguas propician la formación de una sal doble fuertemente hidratada, conocida como Sal de Candlot, que es un sulfo-aluminato tricálcico bajo una forma pulverulenta y expansiva.

- *3.4.13.3 Aguas cloruradas.*

Estas aguas en general deben considerarse agresivas puesto que la solubilidad de la cal y el yeso en ellas es mayor que en las aguas puras, y en particular este efecto se incrementa en las aguas fuertemente cloruradas, que con la presencia de los cloruros alcalinos favorecen la solubilidad de varias sales agresivas. Por otra parte en determinadas concentraciones puede ejercer una acción disolvente sobre los componentes del cemento y del concreto, y su agresividad es aún mayor en el caso del concreto armado.

- *3.4.13.4 Aguas magnesianas.*

Las aguas magnesianas que contienen sulfato de magnesio, son de las más agresivas por la gran solubilidad de éste y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble.

Cuando se encuentra disuelto en el agua de mezclado en fuertes dosis, su acción sobre la cual es la que interrumpe el fraguado y esta acción es mayor en el caso de los cementos portland con alto contenido de aluminato tricálcico.

- *3.4.13.5 Agua de mar.*

La acción de las aguas de mar es muy compleja, se parece al de las aguas selenitosas naturales y aunque su contenido de sulfatos es superior al de éstos últimos su proceso de ataque es lento y menos agresivo debido a la acumulación superficial de calcita, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene de agua del mar.

Sin embargo, el empleo del agua de mar en los concretos simples produce eflorescencias. En el concreto reforzado o reforzado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse para estos fines.

- **3.4.14 Aguas recicladas.**

Estas aguas pueden ser agresivas si contienen sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables. Por otra parte si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión, y éstos no se toman en consideración, el concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos.

- **3.4.15 Aguas industriales.**

Las aguas residuales de las instalaciones industriales, generalmente son perjudiciales para el concreto ya que contienen iones sulfato (SO_4), ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de éstos los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal libre o no tienen posibilidad de liberarla, tales como: los aluminios, los puzolánicos y los de escoria de alto horno con bajo contenido de Clinker.

- **3.4.16 Aguas negras.**

Dada la complejidad de la composición de las aguas negras no es recomendable el uso de ellas, ya que sus efectos son imprevisibles y solo podrían ser utilizadas aquellas que previamente han sido tratadas adecuadamente y que contengan sustancias perjudiciales para el concreto dentro de los límites que se especifican en esta norma. [11]

3.5 Aditivos.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue: [6]

1. Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire).
2. Aditivos reductores de agua.
3. Plastificantes (fluidificantes).

4. Aditivos aceleradores (acelerantes).
5. Aditivos retardadores (retardantes).
6. Aditivos de control de la hidratación.
7. Inhibidores de corrosión.
8. Reductores de retracción.
9. Inhibidores de reacción álcali-agregado.
10. Aditivos colorantes.
11. Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo. [6]

3.5.1. Aditivo utilizado.

*El CRISOTAN R-5 es un superplastificante y reductor de agua. Es un nuevo tipo de aditivo reductor de agua en el concreto, y es más potente que los aditivos reductores de agua convencionales.

*Imparte los siguientes beneficios a los productores de concreto:

1. Permite reducir la relación agua-cemento.
2. Una más rápida y fácil colocación del concreto.
3. Con la reducción de agua, se obtienen altas resistencias a la compresión a edades tempranas y en la resistencia final a la compresión.
4. Permite disminuir el contenido de cemento, manteniendo la resistencia a la compresión.

El CRISOTAN R-5 es un producto sintético y no tóxico, no afecta al calor de hidratación, además de que no contribuye a la corrosión del acero ni al crecimiento de microorganismos. Su presentación es en polvo fino de color café claro.

*Basado en la ficha técnica del producto.



Figura 3.5 Aditivo superplastificante y reductor de agua CRISOTAN R-5.

CAPITULO 4. Pruebas realizadas y sus respectivos resultados.

4.1 Pruebas al cemento.

4.1.1 Densidad aparente del cemento.

Objetivo: Determinar la densidad aparente o el peso por unidad de volumen sin tomar en cuenta los vacíos del cemento. Su totalidad práctica es para el proporcionamiento del concreto.

Material:

Una muestra representativa del cemento tal y como se recibe, a menos de indicaciones especiales como por ejemplo calcular la densidad en una muestra exenta de pérdida por calcinación, primero en este caso debe calcinarse como se describe en las normas DGN C131 Y ASTM C114.

Equipo:

- Frasco de Le Chatelier.
- Balanza con aproximación a los 0.1 gramos.
- Petróleo.
- Un recipiente con agua.
- Un termómetro.
- Franela.

Procedimiento:

La técnica consiste en que conocido un peso de cemento se calcula su volumen por medio de desplazamiento de líquido.

Se vierte el petróleo no mezclable con agua en el frasco de Le Chatelier hasta un nivel entre 0 y 1 ml, quedará líquido adherido en las paredes del frasco además de burbujas de aire. Se gira sobre un círculo horizontal sumergiendo la parte inferior del frasco en un baño de agua a la temperatura del líquido con la finalidad que se

establezca un nivel del líquido. Se toma la lectura en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del líquido Li.

Se pesan 64 gramos para cemento portland, con la finalidad que al verterlo en el frasco, el líquido alcance a sobrepasar a lecturas superiores a la esfera intermedia. Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el cemento muy lentamente de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse.

Se coloca el tapón del frasco se inclina y rueda horizontalmente de manera de lograr que salga el aire atrapado en el cemento y baje el que haya quedado en las paredes.

Se repite el paso No. 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura. Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final registrándola como Lf. Este procedimiento se puede observar por medio de la figura III.27.

Cálculo:

$$D = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Volumen del cemento}}$$

D = Densidad aparente del cemento (en g/cm³).

P = Peso de la muestra (en g).

V = Volumen del cemento sin tomar en cuenta los vacíos (en ml).

Resultados:

Densidad del cemento (g/cm ³)		
	Prueba 1	Prueba 2
Peso del cemento (gr)	64.00	64.00
Li (cm ³)	0.70	0.70
Lf (cm ³)	20.90	21.10
Volumen (cm ³)	20.20	20.40
Densidad (g/cm ³)	3.1683	3.1373
Promedio	3.15	

Tabla 4.1. Cálculo de la densidad del cemento.



Figura 4.1 Densidad aparente del Cemento.

4.2 Pruebas a las arenas.

4.2.1 Muestreo en arenas.

Objetivo: Obtener y traer una muestra representativa del material 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
- Espátulas
- Bolsas de plástico

Procedimiento:

1. Para poder realizar los muestreos del material dependiendo en qué etapa se encuentren los proyectos los podemos realizar en:
 - Directamente en los bancos de material.
 - En los camiones que estén suministrando el material en la obra.
 - El material que se tenga en la obra misma.

2. El muestreo consiste en obtener una porción del material que vamos a emplear en la elaboración de las mezclas aproximadamente 50kg.
3. Cuando el muestreo se realice en los bancos de material puede ser para realizar los estudios para ver si el material reúne las características adecuadas y las especificaciones.
4. Cuando el material se realiza en los camiones o en la obra puede ser para verificar la cantidad de esos materiales.

En conclusión, el muestreo tiene como finalidad primordial obtener una muestra representativa que reúna la totalidad de las características y del tamaño adecuado para realizar los estudios que le competen al laboratorio.

4.2.2 Cuarteo en arenas.

Objetivo: Obtener una muestra representativa y del 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 cepillos de pelo.
- Balanza o báscula.
- Divisor de muestras.
- Traza de plástico flexible de 40 por 40 cm.

Procedimiento:

Existen tres procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras.

- **Procedimiento por cuarteo con palas.**

1. Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.

2. Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio debería hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procurará apilar el material en forma cónica. Este procedimiento se repite tres veces.
3. Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanar la parte superior por medio de la cara posterior de la pala y después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, eliminando las dos porciones opuestas, el material sobrante nos servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado.



Figura 4.2 Cuarteo de arenas con palas.

- **Procedimiento para divisor de muestras.**

1. Se toma la muestra previamente puesta en una charola ancha y se vacía sobre la parte superior del divisor, procurando repartirla en toda la longitud del divisor.
2. El material recibido en uno de los recipientes se elimina o se reintegra a la bolsa de donde se extrajo. Si se desea una muestra más pequeña, entonces el material que ha quedado en uno de los recipientes se vierte en una charola, para posteriormente vaciar la charola sobre el divisor, este proceso de división y eliminación hasta lograr la muestra del tamaño que se requiera.

- **Procedimiento con el trazo de plástico. Para muestras pequeñas.**

1. Se coloca el trazo de plástico sobre la superficie de una mesa, posteriormente se coloca el material en la parte central del plástico.
2. Se levantan los dos extremos opuestos del plástico y se une a continuación, se regresa a la posición original del trozo de plástico, enseguida se levantan los otros dos extremos opuestos y se unen, posteriormente se regresa a su posición original. Este proceso se repite varias veces hasta obtener una muestra homogénea.
3. Se elimina la mitad del ya revuelto, para lo cual se lleva el trozo de plástico con el material hasta el bordo de la mesa, de tal manera que la mitad del plástico quede sobre la mesa y la otra mitad en el aire sujeta con una de las manos, cogiendo el extremo que esta sobre la mesa, se suelta el que está en el aire con lo cual se elimina la mitad del material. Este material se recibe en un recipiente.

4.2.3 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.
- Charolas metálicas.
- Espátulas.
- Cristal.

Procedimiento:

1. de la muestra representativa se pesan 300gr 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 para hacer el secado del material, moviéndola esta con la espátula en forma constante para que el secado sea homogéneo hasta eliminar completamente la humedad del material.
2. Para saber cuándo el material ya está seco, se coloca el cristal sobre material y en el momento que ya no se empañe esto significa que el material ya está seco. Se deja enfriar un poco el material y se vuelve a pesar, este peso se registra como peso final o peso seco (Ps).

Cálculos:

Para el cálculo de la humedad actual en arenas se hizo uso de la siguiente expresión:

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

Donde:

Ph = Peso de la muestra (en gr).

Ps = Peso seco de la muestra (en gr).

Ph – Ps = peso de agua que contiene el material.

Ejemplo y Resultados:

$$\% \text{Humedad Actual} = \frac{1000 - 991}{991} * 100 = 0.91\%$$

Después de obtener todos los resultados de humedad actual para todas las arenas y hacer un promedio respectivo entre arenas, se hizo una tabla resumen para apreciar de manera más clara estos resultados:

Humedad actual en arenas (%)					
Muestras	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
1	1.44	2.05	0.91	1.23	1.46
2	1.47	1.97	1.12	1.42	1.22
Promedio	1.46	2.01	1.02	1.33	1.34

Tabla 4.2. Determinación de la humedad actual en arenas.



Figura 4.3. Secado del material para determinar el peso seco de la muestra.

4.2.4 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:

1. La muestra de 2 kg se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo.
2. 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.
3. Cuando la arena está seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (Ph).
4. La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.
5. Para saber cuándo el material está seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

Cálculos:

Para determinar la capacidad de absorción de humedad que tiene las arenas es necesario el empleo de la formula siguiente:

$$\% \text{Humedad de Absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

Ph = Peso saturado y superficialmente seco (gr).

Ps = Peso seco del material (gr).

Ejemplo y Resultados:

Ejemplo de Cálculo para muestra de arena del banco denominado “Chamacuero”:

$$\% \text{Humedad de Absorción 1} = \frac{441.3 - 427.6}{427.6} * 100 = 3.20 \%$$

Humedad de Absorción en arenas (%)					
Muestras	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
1	5.39	9.40	3.20	5.60	7.68
2	5.05	9.24	3.15	6.17	7.10
Promedio	5.22	9.32	3.18	5.89	7.39

Tabla 4.3. Comparación de la humedad de absorción en las diferentes arenas evaluadas.

En la Tabla 4.1 se observan los promedios de humedad de absorción obtenidos para cada diferente arena. El máximo porcentaje de humedad de absorción recomendado es del 4%, y observando los resultados las arenas que cumplirían este parámetro únicamente sería la extraída del banco de materiales “Chamacuero”.



Figura 4.4. Determinación de la humedad de Absorción en arenas.

4.2.5 Peso volumétrico seco suelto en arenas (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.
- Un cucharón y una pala.

Procedimiento:

1. 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.
2. Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.
3. Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.

Cálculos:

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

Donde:

P.V.S.S. = Peso volumétrico seco y suelto (en kg/m³).

P = Peso de la muestra (en kg).

V = Volumen del recipiente (en m³).

Ejemplo y Resultados:

Ejemplo de Cálculo para muestra de arena del banco denominado “Chamacuero”:

$$P.V.S.S. \text{ 1} = \frac{5415 - \text{Tara}}{\text{Volumen}} = \frac{5415 - 1900}{2759} = 1.27 \text{ gr/cm}^3$$

Pesos Volumétricos Secos Suelos (gr/cm ³)					
Muestra	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
1	1.19	1.02	1.27	1.05	1.14
2	1.15	1.06	1.27	1.04	1.13
3	1.18	1.06	1.25	1.04	1.12
Promedio	1.18	1.05	1.26	1.04	1.13

Tabla 4.4. Comparación del peso volumétrico seco suelto de las diferentes arenas evaluadas.

4.2.6 Peso volumétrico seco y varillado en arenas (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.
- Un cucharón y una pala.

Procedimiento:

1. 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.
2. 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.
3. 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:

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

Donde:

P.V.S.V. = Peso volumétrico seco y varillado (en kg/m³).

P = Peso de la muestra (en kg).

V = Volumen del recipiente (en m³).

Ejemplos y resultados:

Ejemplo de Cálculo para muestra de arena del banco denominado “Chamacuero”:

$$P.V.S.S. \ 1 = \frac{5560 - \text{Tara}}{\text{Volumen}} = \frac{5415 - 1900}{2759} = 1.33 \text{ gr/cm}^3$$

Pesos Volumétricos Secos Varillados (gr/cm ³)					
Muestra	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
1	1.26	1.10	1.33	1.15	1.24
2	1.27	1.08	1.32	1.12	1.24
3	1.25	1.08	1.32	1.13	1.25
Promedio	1.26	1.08	1.32	1.13	1.24

Tabla 4.5. Comparación del peso volumétrico seco varillado de las diferentes arenas evaluadas.

4.2.7 Granulometría o análisis granulométrico en arenas.

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.
- Hojas de papel.

Procedimiento.

1. Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.
2. Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura no mayor de 110 °C.
3. Cuando el material esté seco y frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.
4. 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.
5. Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente (Raf-Tap).

6. 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.
7. 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.

Para lo anterior se hace un registro en una tabla como sigue:

Malla	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
8				
16				
30				
50				
100				
200				
Charola				
Suma				

Tabla 4.6. Tabla registro para granulometrías en arenas.

Cálculo:

1. Se anotan, en la columna 1, los pesos retenidos en las respectivas mallas.
2. El retenido de la columna 2 se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Suma peso retenido}} * 100$$

3. El porcentaje acumulativo de la columna 3 se calcula sumando el % retenido de la propia malla, más el % retenido de la malla siguiente.
4. El % que pasa de la columna 4 se calcula como sigue:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ acumulativo de la malla anterior}$$

5. El Módulo de finura se calcula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ acumulativo desde malla \#8 hasta malla \#100}}{100}$$

Como especificación de granulometría según Bureau Of Reclamation A.S.T.M. nos dice que “el porcentaje referido a dos mallas sucesivas no debe ser mayor al 45%”.

Resultados:

A continuación se muestra una tabla ejemplificando el cálculo para las diferentes arenas utilizadas:

Granulometría arena "Santa Clara (Negra)"				
Peso de la muestra = 488.85 gr				
Malla	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
4	0	0	0	100
8	64.8	13.22	13.22	86.78
16	86.8	17.71	30.94	69.06
30	142.4	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
Suma	490	100.00		

Tabla 4.7. Tabla de granulometría en arena “Santa Clara (Negra)”.

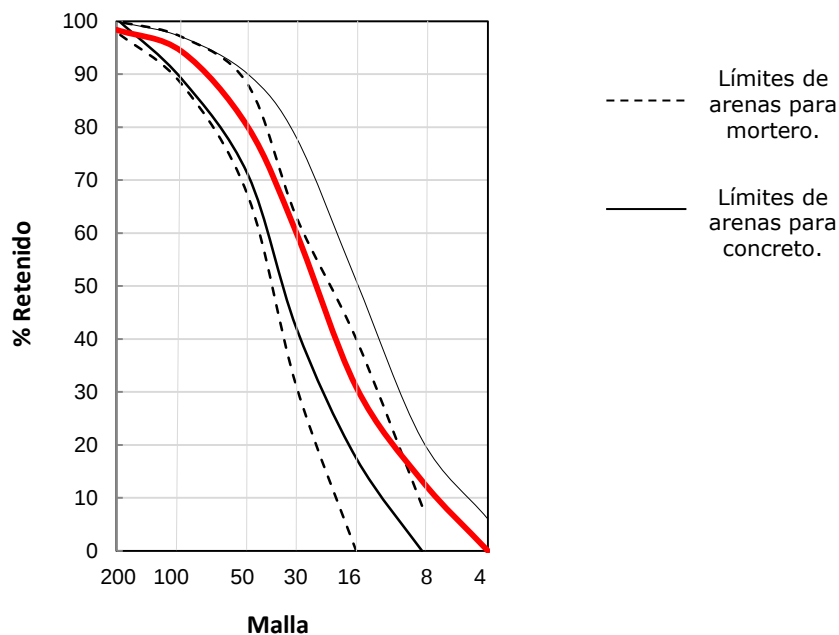


Figura 4.5. Gráfica de granulometría en arena “Santa Clara (Negra)”.

Granulometría arena "Santa Clara (Roja)"				
Peso de la muestra = 554.95 gr				
Malla	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
4	0	0	0	100
8	49.45	9.95	9.95	90.05
16	70.8	14.25	24.20	75.80
30	141.35	28.45	52.65	47.35
50	137.5	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	11.9	2.39	100.00	0.00
Suma	496.9	100.00		

Tabla 4.8. Tabla de granulometría en arena "Santa Clara (Roja)".

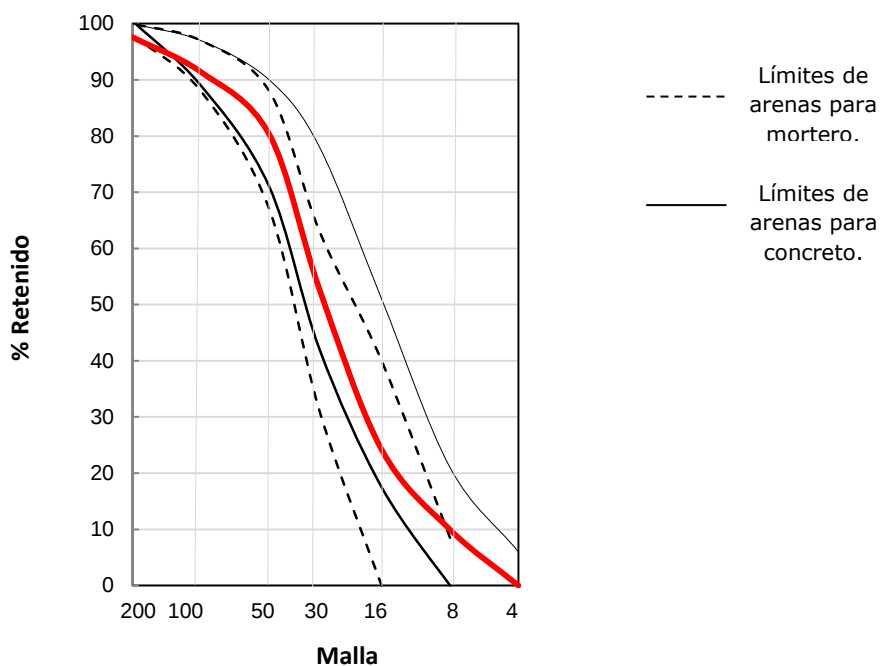


Figura 4.6. Gráfica de granulometría en arena "Santa Clara (Roja)".

Granulometría arena "Chamacuero"				
Peso de la muestra = 554.95 gr				
Malla	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
8	43.55	7.86	7.86	92.14
16	135.45	24.43	32.29	67.71
30	201.25	36.30	68.59	31.41
50	111.55	20.12	88.72	11.28
100	46.45	8.38	97.10	2.90
200	10	1.80	98.90	1.10
Charola	6.1	1.10	100.00	0.00
Suma	554.35	100.00		

Tabla 4.9. Granulometría arena "Chamacuero".

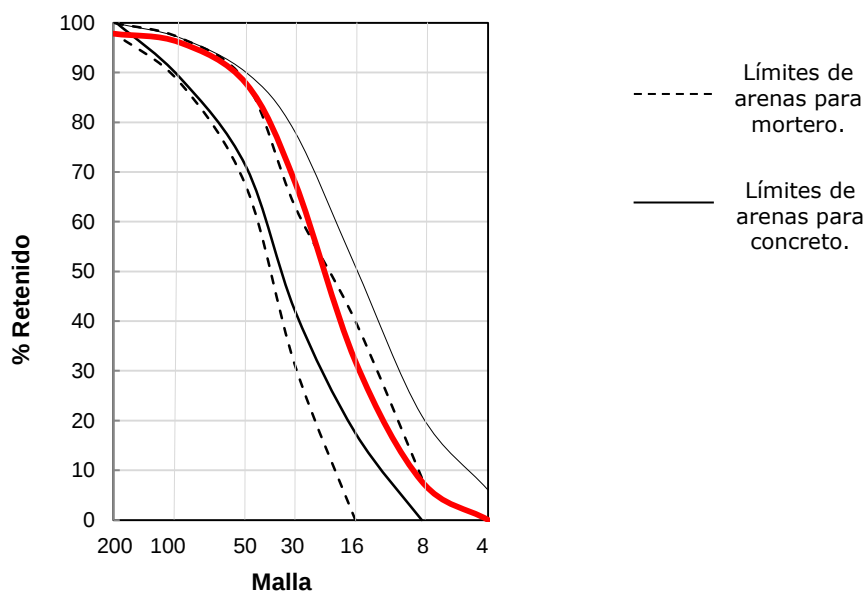


Figura 4.7. Gráfica de granulometría en arena "Chamacuero".

Granulometría arena "El Armadillo"				
Peso de la muestra = 475.0 gr				
Malla	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
4	0	0	0	100
8	50.85	10.69	10.69	89.31
16	75.6	15.89	26.57	73.43
30	122.1	25.66	52.23	47.77
50	125.1	26.29	78.51	21.49
100	52.75	11.08	89.60	10.40
200	32.1	6.75	96.34	3.66
Charola	17.4	3.66	100.00	0.00
Suma	475.9	100.00		

Tabla 4.10. Granulometría arena "El Armadillo".

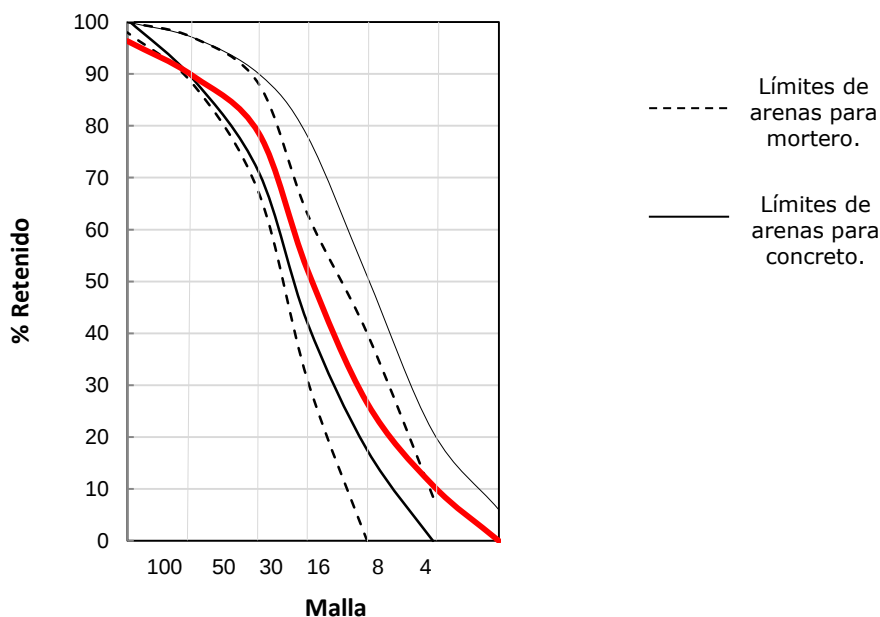


Figura 4.8. Gráfica de granulometría en arena "El Armadillo".

Granulometría arena "Janamuato"				
Peso de la muestra = 554.95 gr				
Malla	Peso retenido parcial (gr)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
4	0	0	0	100
8	74.45	14.62	14.62	85.38
16	110.3	21.66	36.28	63.72
30	81.45	15.99	52.27	47.73
50	49.1	9.64	61.91	38.09
100	67.45	13.24	75.16	24.84
200	62.1	12.19	87.35	12.65
Charola	64.4	12.65	100.00	0.00
Suma	509.25	100.00		

Tabla 4.11. Granulometría arena "Janamuato".

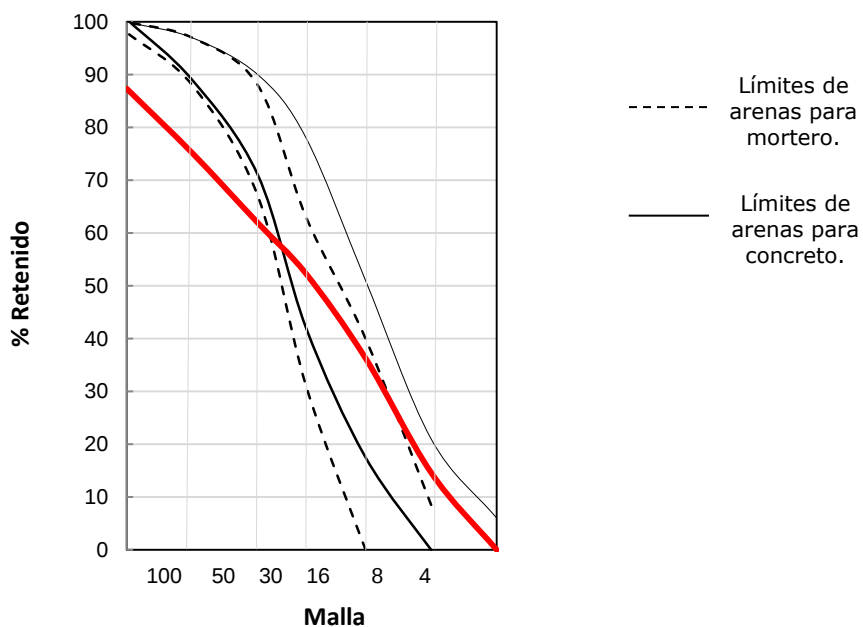


Figura 4.9. Gráfica de granulometría en arena "Janamuato".

Para apreciar y comparar mejor los resultados de granulometría obtenidos para cada arena, se muestra una tabla resumen:

Granulometría en arenas (muestras promedio)					
Malla	% Retenido Acumulado				
	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
8	13.22	9.95	7.86	10.69	14.62
16	30.94	24.20	32.29	26.57	36.28
30	60.00	52.65	68.59	52.23	52.27
50	79.99	80.32	88.72	78.51	61.91
100	94.22	91.42	97.10	89.60	75.16
200	98.40	97.61	98.90	96.34	87.35
Charola	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabla 4.12. Tabla resumen de %retenido acumulado para cada arena.

Ahora se hace una comparación entre los diferentes Módulos de Finura de cada arena:

Módulo de Finura				
Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
2.78	2.58	2.95	2.58	2.40

Tabla 4.13. Tabla resumen de los Módulos de Finura de todas las arenas.

De acuerdo a la norma NMX-C-111 el Módulo de Finura (MF) máximo recomendado es 3.2, y se observa que tomando en cuenta este parámetro, todas las arenas están dentro de lo establecido por la norma.



Figura 4.10. Separación de tamaños del material para determinar su granulometría.

4.2.8 Colorimetría en arenas.

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 cm³ con marcas a cada 25 cm³ (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:

1. Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente. Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.
2. Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm³ adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm³.
3. Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo, posteriormente se dejará reposar 24 horas.

4. Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal, si no se tiene este, se comparará con color de la solución normal que se haya hecho en la otra botella idéntica.

Esta prueba es solo un paso en la determinación de materia orgánica en arenas; en caso de que el color sea más oscuro que el normal se debe repetir la prueba pero con arena lavada, esto para eliminar posibles materiales inorgánicos que reaccionen con la sosa caustica y provoquen ese color más oscuro sin existir materia orgánica. En caso de que después de realizar la prueba con estas especificaciones y que el color siga dando más oscuro que el normal, esta prueba se debe completar con un análisis químico.



Figura 4.11. Comparación de color para establecer grado de colorimetría.

4.2.9 Densidad en arenas.

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:

1. 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.
2. En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial V_i en cm^3 . Se llena de agua el picnómetro hasta que deje de caer agua por el orificio.
3. 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.
4. 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:

La siguiente fórmula nos sirve para calcular la densidad de la arena:

$$D.A. = \frac{P_a}{V_f - V_i}$$

Donde:

D.A. = Densidad de la arena (en gr/cm^3).

P_a = Peso de la arena saturada y superficialmente seca (en gramos).

$V_f - V_i$ = Volumen colocado dentro de la probeta (en cm^3).

Resultados:

Densidad en arenas (gr/cm ³)					
Muestras	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
1	2.413	2.278	2.55	2.215	2.225
2	2.296	2.254	2.41	2.269	2.251
Promedio	2.355	2.266	2.480	2.242	2.238

Tabla 4.14. Resumen de densidad en arenas.*Figura 4.12. Determinación de la densidad de la arena.***4.2.10 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±5 gramos.

- Capsulas de 85±5 ml (metálicas).
- Embudo.
- Cronómetro.
- Dos frascos de 3.875 litros.
- Malla N°4.
- Papel filtro N°12.
- Solución de trabajo.

Procedimiento:

1. Se toma una muestra aproximada de 500 gramos, que pase la malla N°4, procurando que no se pierdan finos.
2. Se llena la cápsula y se golpea para acomodar el material y se enrasa.
3. Previamente en la probeta se verterá solución de trabajo hasta una altura de 4±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±1 minutos procurando no mover la probeta en este lapso de tiempo.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

Cálculos:

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

Esta prueba se hace por triplicado para reducir el error, y se hará un promedio de los tres resultados.

Se debe cuidar que: el agitado se haga de forma adecuada, que después de dejar en reposo las probetas estas ya no se muevan, además de que al bajar el pizón se haga de manera adecuada cuidando la velocidad para evitar la re-suspensión de las partículas.

Resultados:

A continuación se muestra una tabla ejemplificando el cálculo para la arena de “Chamacuero”:

$$\text{Equivalente de arena 1} = \frac{10.08}{10.35} * 100 = 97.39$$

Equivalente de Arena "Chamacuero"			
Muestra	Lectura de Arena	Lectura de Arcilla	Equivalente de Arena
1	10.08	10.35	97.39
2	10.18	10.36	98.26
3	10.32	10.62	97.18
Promedio			97.61

Tabla 4.15. Cálculo del equivalente de arena para la muestra “Chamacuero”.

Se hizo una tabla resumen para visualizar de manera más práctica los valores obtenidos de Equivalente de Arena para cada muestra:

Equivalente de arena (%)					
Muestra	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	91.30	83.12
Promedio	91.33	91.21	97.61	90.37	86.48

Tabla 4.16. Tabla resumen del equivalente de arena.

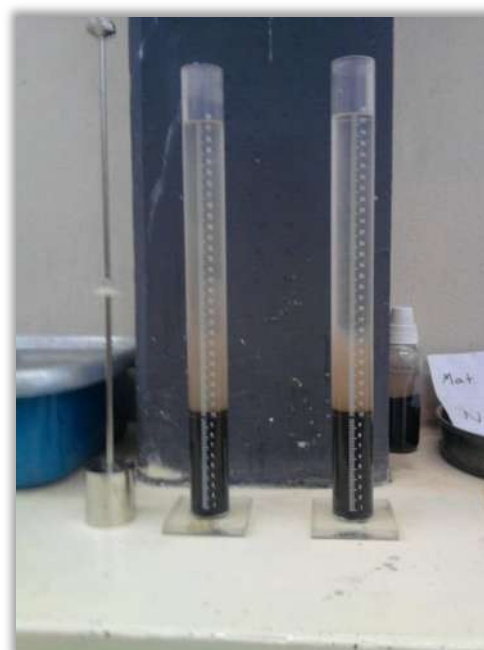


Figura 4.13. Determinación del equivalente de Arena.

4.2.11 Tabla resumen de resultados de caracterización.

	Unidades	Sta. Clara (N)	Sta. Clara (R.)	Chamacuero	El Armadillo	Janamuato
PVSS	kg/m ³	1.176	1.045	1.264	1.095	1.129
PVSV	kg/m ³	1.26	1.083	1.322	1.133	1.243
Absorción	%	5.22	9.32	3.18	5.89	7.39
Densidad	kg/m ³	2.354	2.266	2.48	2.24	2.238
Equivalente de arena	%	91.33	91.55	97.61	90.37	86.48
Módulo de finura	Adim.	2.65	2.57	2.91	2.6	2.3
Colorimetría*	Adim.	Color 1	Color 2	Color 1	Color 1	Color 1-2

Tabla 4.17. Resumen de resultados de caracterización de las arenas.

4.3 Pruebas a la grava.

4.3.1 Muestreo en gravas.

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:

Dependiendo del estudio que se va a realizar así se debe elegir el tamaño de la muestra. Por ejemplo, para un proporcionamiento se debe obtener una muestra mínima de 50 kilogramos.

Los muestreos del material se pueden realizar:

- Directamente en los bancos de material.
- En los camiones que estén suministrando el material en la obra.
- El material que se tenga en la obra misma.

El muestreo tiene como finalidad primordial obtener una muestra representativa que reúna la totalidad de las características y del tamaño adecuado para realizar los estudios que le competen al laboratorio.

4.3.2 Cuarteo en gravas.

Objetivo: Este procedimiento nos sirve para obtener una muestra representativa y tamaño adecuado para realizar la prueba correspondiente al material de estudio.

Equipo:

- Palas de boca recta.
- Charolas.
- Escoba.
- Cucharones.
- Divisor de muestras (cuarteador de Johnson).
- Trozo de plástico.

Procedimiento

Como se describió anteriormente en el cuarteo para arenas, existen tres formas de efectuar el cuarteo de material pétreo dependiendo de la cantidad del material que se vaya a utilizar:

1. Cuarteo por medio de palas.
2. Cuarteo por medio del divisor de muestras.
3. Cuarteo por medio del trozo de plástico.

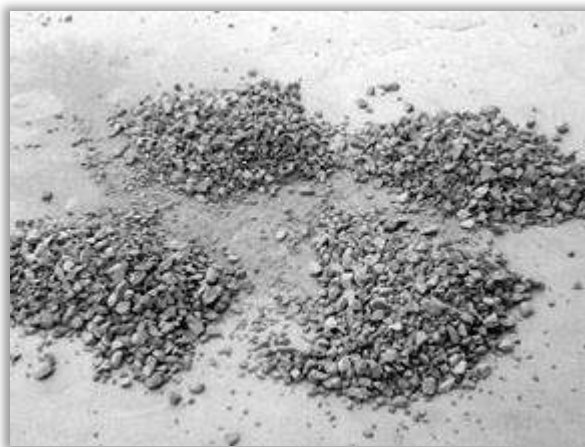


Figura 4.14. Cuarteo en gravas por medio de palas.

4.3.3 Humedad actual en gravas

Objetivo: Determinar la cantidad de agua que contiene una grava en porcentaje, en estado natural, es decir, 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:

1. Se pesa la muestra de grava registrando este peso como peso húmedo (Ph) en gramos.
2. 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.
3. 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.

Cálculos:

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

Donde:

% H. Actual= porcentaje de humedad en estado natural.

Ph = Peso húmedo de la grava (en gramos).

Ps = Peso seco de la grava (en gramos).

4.3.4 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:

1. 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.
2. 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.
3. 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:

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

Donde:

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

Ps = Peso seco de la grava (en gramos).

4.3.5 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.
- Charola.
- Una balanza.

Procedimiento:

1. 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).
2. 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:

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

Donde:

D = Densidad (en g/cm³).

P = Peso de la grava (en gramos).

V= Volumen de la grava (en cm³ o ml).

4.3.6 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 litros.
- Balanza con aproximación al gramo.
- Cucharón.
- Pala.
- Rastrillo.

Procedimiento:

1. Se seca la muestra hasta peso constante, esto se puede realizar extendiendo el material con el rastrillo al sol para lograr el secado.
2. Cuando el material este completamente seco, se continúa con el siguiente procedimiento.
3. Primeramente se determina el peso y el volumen del recipiente que vamos a utilizar. Enseguida con el cucharón se va llenando el recipiente dejando caer la grava, a la altura de 5 cm, cuidando que el acomodo de las partículas sea por caída libre, esto es sin que el recipiente se someta a vibraciones hasta que quede completamente lleno y forme el cono el material.
4. Enseguida se procede a enrazarlo con la varilla punta de bala o con la mano que es más práctico. Ya que está enrazado se pesa obteniendo así el peso del recipiente más el peso del material.

Cálculos:

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

Donde:

P.V.S.S. = Peso volumétrico seco y suelto (en g/m³).

P = Peso de la grava (en kg).

V = Volumen del recipiente (en m³).

4.3.7 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 representativa de grava completamente seca de aproximadamente 15 kg.
- Un recipiente de peso y volumen conocido, aproximadamente 10 l.
- Balanza de aproximación al décimo de gramo.
- Pala y rastrillo.
- Cucharon

Procedimiento:

1. Se seca la grava donde quede expuesta a los rayos de sol, se obtiene el peso y el volumen exacto del recipiente que se va a utilizar.
2. Enseguida con el cucharón se llena el recipiente en tres capas, cada capa deberá ser aproximadamente una tercera parte del volumen del recipiente.
3. Con la varilla punta de bala se le da, en cada capa, 25 golpes distribuyéndolos en toda la superficie, al término se enraza el recipiente y se pesa, registrando los datos siguientes:

Cálculos:

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

Donde:

P.V.S.V. = Peso volumétrico seco y varillado (en g/cm³).

P = Peso de la grava (en g).

V = Volumen del recipiente (en cm^3).

Grava "Tlazazalca"	
Pruebas a la grava	Resultados
Peso volumétrico seco suelto (kg/m^3)	1.601
Peso volumétrico seco varillado (kg/m^3)	1.709
Densidad aparente	2.692
Absorción (%)	2.385

Tabla 4.18. Resumen de resultados de caracterización de la grava.

4.3.8 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", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", y N°4.
- Juego de charolas para recibir el material que se retiene en cada una de las mallas.
- Recipiente de 10 litros.

Procedimiento:

1. Se seca previamente la muestra de grava en un horno a $110^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ 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 (P_m).
2. 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.

Granulometría en arenas			
Malla	1 Peso Retenido	2 % Retenido	3 % Acumulativo
2"			
1 ½"			
1"			
¾"			
½"			
3/8"			
No.4			
Charola			
Suma			

Tabla 4.19. Tabla registro para granulometrías en gravas.

Cálculo:

Al realizar la suma de los pesos parciales retenidos debe ser igual al peso de la muestra inicial, teniendo una tolerancia de ± 1 % del peso de la muestra.

El retenido de la columna 2 se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Suma peso retenido}} * 100$$

El porcentaje acumulativo de la columna 3 se calcula sumando el % retenido de la propia malla, más el % retenido de la malla siguiente.

El % que pasa de la columna 4 se calcula como sigue:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ acumulativo de la malla anterior}$$

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.

Resultados:

Granulometría grava Tlazazalca				
Malla	1	2	3	4
Peso Retenido	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa	
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	4.12	24.41	24.41	75.59
1/2"	4.78	28.32	52.73	47.27
3/8"	2.31	13.68	66.41	33.59
No.4	4.68	27.73	94.14	5.86
Charola	0.99	5.86	100	0
Suma	16.88	100		

Tabla 4.20. Granulometría grava "Tlazazalca".

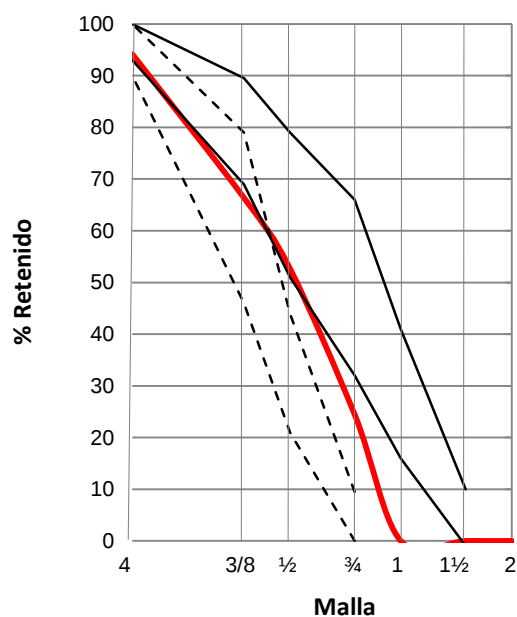


Figura 4.15. Gráfica de granulometría en grava "Tlazazalca".



Figura 4.16. Separación de tamaños de la grava para determinar su granulometría.

4.4 Pruebas al concreto.

4.4.1 Revenimiento en el 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:

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

2. Se coloca el molde con la parte más ancha hacia abajo sobre una superficie lisa y sólida (placa metálica) y se sujeta colocando los dos pies en las orejas que tiene el molde.
3. 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 penetrar 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.
4. Se retira el molde en forma vertical en un tiempo aproximado de 5 segundos.
5. 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

De acuerdo a la norma NMX-C-156-ONNCCE, para un concreto de revenimiento de 10cm existe una tolerancia de ± 2.5 cm. [14].

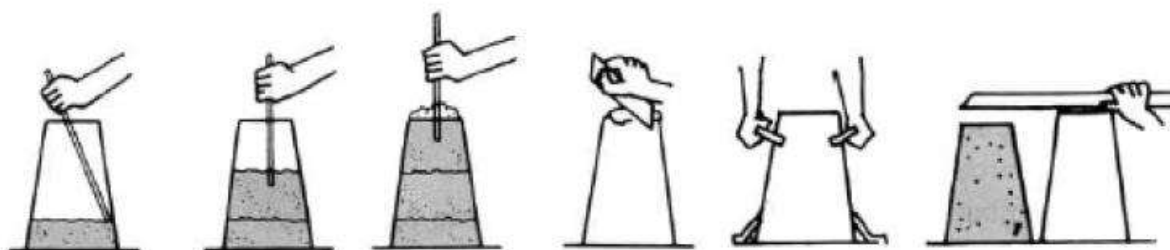


Figura 4.17. Determinación esquemática para la obtención del revenimiento.



Figura 4.18. Procedimiento para determinar el revenimiento del concreto.

4.4.2 Fabricación 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. Para tamaño máximo del agregado de $\frac{3}{4}$ ".

Procedimiento:

1. Se preparan los cilindros. Esto es limpiarlos y apretarlos firmemente para evitar que el concreto se salga, además de engrasarlos por dentro y por fuera para evitar que el concreto endurecido se pegue con el molde.
2. Se fabrica el concreto y, posterior a haber hecho la prueba de revenimiento, se procede a hacer el llenado de los cilindros.

3. El llenado de los cilindros se debe de realizar en dos capas con ayuda del cucharón. Al llenar la primera capa se golpea 25 veces sobre todo el volumen del concreto colocado en el interior del cilindro, esto para compactar la mezcla, al cabo de esto se golpea con el mazo de goma en 15 ocasiones sobre el perímetro exterior del cilindro y así eliminar considerablemente la cantidad de aire atrapado. Posteriormente se hace lo mismo con la capa restante, procurando que la segunda capa quede sobrado el espécimen.
4. Después de un tiempo de 24 horas se desmoldan los cilindros, se marcan para identificar los especímenes y se llevan a la pila de curado.



Figura 4.19. Preparamiento de moldes para cilindros de concreto.

4.4.3 Fabricación 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:

1. Se preparan las vigas. Esto es limpiarlas y apretarlas firmemente para evitar que el concreto se salga, además de engrasarlas por dentro y por fuera para evitar que el concreto endurecido se pegue con el molde.
2. Se fabrica el concreto y, posterior a haber hecho la prueba de revenimiento, se procede a hacer el llenado de las vigas.
3. El llenado de los moldes se debe de realizar en dos capas con ayuda del cucharón o pala. Al llenar la primera capa se golpea 90 veces 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 que quede sobrada de concreto para posteriormente enrazarla.
4. Después de un tiempo de 24 horas se desmoldan las vigas, se marcan para identificar las vigas y se llevan a la pila de curado.



Figura 4.20. Procedimiento para la fabricación de vigas de prueba en concreto.

4.4.4 Curado de concreto.

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:

1. Después de haber colado los especímenes (cilindros o vigas) se coloca un plástico por encima de los moldes con el fin de evitar que el concreto pierda humedad durante el tiempo de fraguado de 24 horas.
2. Pasadas las 24 horas, al descimbrar el cilindro o viga y después de marcarlos, se procede a colocarlo en la pila de curado, para esto el agua debe de cubrir el cilindro o viga totalmente.

La temperatura de curado según NMX-C-159-ONNCCE-2004 para 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. [15].



Figura 4.21. Utilización de plástico para evitar la pérdida de humedad en el concreto, durante las primeras 24 horas de fraguado.



Figura 4.22. Curado posterior al desmolde de cilindros, pila de curado.

4.4.5 Cabeceado en cilindros de concreto.

Objetivo: Definir el procedimiento, materiales y equipo necesario para el cabeceo de cilindros, con el fin de obtener una superficie plana para distribución uniforme de la carga.

Equipo:

- Moldes y aditamentos.
- Cemento puro (cuando el cilindro está muy fresco a edades tempranas).
- Pastillas de Neopreno.
- Azufre (cuando el concreto está muy endurecido).

Procedimiento:

Nota: Para este trabajo de investigación se optó por el método de cabeceo con plantillas de Neopreno.

1. Se seleccionan los cilindros que se van a someter a compresión, se sacan de la pila de curado y se preparan (esto es eliminar rugosidades excesivas de las superficies del cilindro).

2. Para utilizar el neopreno es necesario tener 2 moldes de acero con diámetro aproximadamente de 10cm, dentro de los que se insertan las pastillas de Neopreno de las mismas dimensiones.
3. Se pone el cilindro sobre el centro de una placa de neopreno y la otra placa se apoya en la parte superior del cilindro, cuidando que quede lo más centrado posible.

La norma ASTM-C-1231 especifica que la inclinación máxima del cilindro con respecto a la vertical es de 5°, además las pastillas de neopreno no se deben de usar más de 100 veces puesto que estas se deforman conforme se van utilizando.[16].

4.5 Pruebas no destructivas (cilindros).

4.5.1 Velocidad de Pulso Ultrasónico.

Objetivo: Determinar la velocidad de propagación de pulsos longitudinales de ondas de esfuerzos a través del concreto.

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. [19]

La segunda guerra mundial aceleró las investigaciones con respecto a las pruebas no destructivas usando métodos de propagación de onda de estrés. El desarrollo del método de velocidad de pulso comenzó en Canadá e Inglaterra alrededor del mismo tiempo. En Canadá los investigadores Leslie y Cheesman

desarrollaron un instrumento llamado soniscope (Leslie and Cheesman, 1949). 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 (Whitehurst, 1966). El investigador Malhotra cuenta con una lista extensa de artículos publicados sobre este tema (Malhotra, 1976). Algunas naciones han adoptado procedimientos estandarizados para medir la velocidad de pulso en el concreto. [20]

- **Instrumento de prueba Velocidad de Pulso Ultrasónico.**

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. En la figura 17 se muestra un diagrama esquemático. Se tiene una descripción del método en la norma ASTM C597, (2003). 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 μ s y pueden ser medidos con una resolución de 0.1 μ 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 Velocidad de Pulso Ultrasónico.**

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, Δt , 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:

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

El pulso de compresión transmitido a través del concreto se somete a dispersión en los límites de los agregados. Para cuando el pulso llega al transductor receptor, este se transforma en una onda compleja, que contiene múltiples ondas de compresión y de cortante reflejadas. Desde luego, las ondas de compresión viajan más rápido y llegan primero al receptor.

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. Tenemos también, otros acopladores como grasas, jabón, pasta de caolín-glicerol. 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. La nivelación de la pasta debe realizarse antes de la prueba de velocidad de pulso. 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. [19]

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. Existen tres configuraciones en las cuales se pueden arreglar o acomodar los transductores, como se muestra en las figuras siguientes: 1) transmisión directa; 2) transmisión semidirecta; y 3) transmisión indirecta o método de superficie.

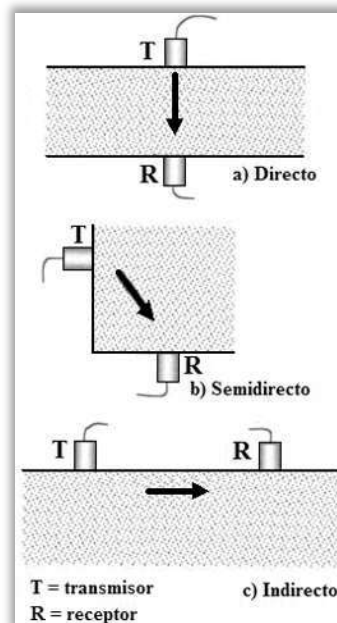


Figura 4.23. . Configuraciones para medición de velocidad de pulso ultrasónico.

Se publicó un criterio de aceptación para el concreto hidráulico por Malhotra en 1985 sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica [19]. La clasificación del concreto en categorías con base a intervalos de velocidad se presenta en la siguiente tabla:

Velocidad ultrasónica, v (m/s)	Clasificación del concreto
$V > 4\,575$	Excelente
$4\,575 > V > 3\,660$	Bueno
$3\,660 > V > 3\,050$	Cuestionable
$3\,050 > V > 2\,135$	Pobre
$V < 2\,135$	Muy pobre

Tabla 4.21. Clasificación del concreto según su velocidad de pulso ultrasónico.

4.5.2 Frecuencia de Resonancia.

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. El método de resonancia ha sido usado desde hace 55 años. Sin embargo, en los últimos años, los métodos de frecuencias de resonancia han sido usados casi exclusivamente en estudios de laboratorio.

A finales de los 1930's y principios de los 1940's algunos 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, y ha sido usado para medir Módulos Dinámicos del concreto.

- **Instrumento de prueba de Frecuencia de Resonancia.**

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), en la figura 23 se muestra un diagrama esquemático del aparato. Este equipo ha sido diseñado por varias organizaciones comerciales y uno de los sonómetros comerciales se muestra en la figura 24. El aparato consiste principalmente de dos secciones: una genera vibraciones mecánicas y la otra detecta estas vibraciones. [20]

En la generación de vibraciones la principal parte es un oscilador electrónico de audio frecuencia, el cual genera voltajes eléctricos de audiofrecuencia. 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 de panel medidor el cual indica la amplitud del transductor de salida. Como la frecuencia de la unidad de manejo de oscilador es variada, un máximo en la aguja del medidor indica cuando se alcanza la resonancia.

Existen también grandes factores que afectan la resonancia como lo pueden ser el tipo de agregados, proporción de la mezcla, tamaño del espécimen, las condiciones y tipo de curado, entre muchos otros. Todos estos factores de alguna manera intervienen para provocar una varianza en la obtención de resultados, sin embargo estas variaciones son despreciadas ya que este equipo muestra buenos resultados.

- **Método de prueba de Frecuencia de Resonancia.**

Se enciende el equipo para que este se caliente antes de utilizarlo. Se ajusta el control de voltaje de salida y ganancia de amplificador totalmente a la izquierda. Se prende el instrumento y dejarlo por 10min para que se estabilice térmicamente.

La frecuencia de resonancia fundamental longitudinal está en el centro del largo de un prisma o cilindro y el espécimen debe colocarse en el centro del apoyo de

la cama de prueba. La muestra puede ser simplemente apoyada o sujeta por la barra.

Se pone grasa en los extremos (puntas) tanto del vibrador como del pick-up. Tanto el vibrador como el pick-up son libres para moverse en el montaje y solamente se ajustan el vibrador y el pick-up hasta que hagan contacto con los extremos del espécimen. Los apoyos deben ser ajustados usando los tornillos de sujeción.

Se selecciona el rango de frecuencia de interés, para especímenes de concreto este estará generalmente en un rango de 1 kHz a 10 kHz dependiendo de las dimensiones del espécimen. Se ajusta el control del voltaje de salida para una lectura de alrededor de 4 volt y aumentar ligeramente la ganancia del amplificador partiendo de cero.

Comenzando del final de bajas frecuencias del rango rotar el anillo interno del control de frecuencia y al mismo tiempo ir observando el medidor de entrada. En la frecuencia fundamental de resonancia el desplazamiento de los extremos del espécimen será un máximo indicado por un pico en el medidor, con esto se determina el valor de la frecuencia de resonancia. Por último solo basta aplicar la siguiente fórmula y así determinar el módulo de elasticidad dinámico.

$$ED = 4n^2L^2p10^{-12}$$

Donde:

ED = Módulo de elasticidad dinámico.

n = Frecuencia de resonancia longitudinal (en hz).

L = Longitud del espécimen (en mm).

p = Densidad del espécimen en (kg/m³).



Figura 4.24. Sonómetro comercial para determinar frecuencias de resonancia.

4.5.3 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 resistómetro.

- **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 resistómetro, 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 resistómetro, 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 (cm²).

L = Longitud del espécimen (cm²).

Como no existe ninguna norma que indique algún rango de valores para este parámetro, solo se hace una comparación con la clasificación que indica el manual de control.

Riesgo de corrosión (K ohms- cm)	
P > 200	Poco riesgo
200 > P > 10	Riesgo moderado
P < 10	Alto riesgo

Tabla 4.22. Comparación de riesgo a la corrosión en función de la resistividad eléctrica.



Figura 4.25. Resistómetro utilizado para la prueba de resistividad eléctrica.

4.6 Pruebas destructivas.

4.6.1 Resistencia a la compresión simple en cilindros.

Compresión simple: es una carga axial concéntrica que se le aplica al cilindro de concreto.

Esta prueba tiene como utilidad práctica, mantener un control de calidad del concreto, es decir, verificar la resistencia real y compararla con la resistencia de proyecto.

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

Equipo:

- Flexómetro para medir el diámetro real del cilindro.
- Máquina hidráulica.

Procedimiento:

1. Teniendo ya preparado el cilindro después de haber tomado sus medidas y cabeceado, se coloca en la máquina limpiando perfectamente las superficies de apoyo, se centra verticalmente el espécimen con la platina.

2. Se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que no se aplique carga, si no que apenas queden rosando las caras.
3. Se regresa la maquina a ceros y se comienza a aplicar la carga a una velocidad constante. Durante la primera mitad de la carga esperada la velocidad puede variar, pero esto considerando que la carga no se debe de retirar por ningún motivo después de ya haber sido cargado el cilindro.
4. Se continúa la carga del espécimen hasta la falla, se registra la capacidad de carga y se observa el tipo de falla que presentó el cilindro.

Cálculo:

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

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

Donde:

P = Carga de ruptura (en kg).

A = Área de la sección transversal del espécimen (en cm²).

σ = Esfuerzo que resiste el espécimen (en kg/cm²).

Conociendo y registrando su edad se determina su porcentaje de resistencia respecto a la resistencia de proyecto de la siguiente forma:

$$\% \text{ resistencia} = \frac{\sigma}{\sigma_p} * 100$$

Donde:

σ = resistencia real a cierta edad en días (en kg/cm²).

σ_p = resistencia de proyecto (en kg/cm²).

Este porcentaje de resistencia calculado se compara con la cura de resistencia del concreto respecto a la edad en días y se verifica si está dentro de las especificaciones.



Figura 4.26. Cilindro de prueba.

4.6.2 Resistencia a la flexión en vigas.

Objetivo: conocer el procedimiento de ensaye para determinar la resistencia a flexión del **concreto en vigas moldeadas en el laboratorio o en la obra.**

Equipo:

- Máquina de prueba
- Accesorios para la flexión.
- Flexómetro.

Procedimiento:

1. El espécimen debe de voltearse sobre uno de sus lados, respecto a la posición original en la que fue colado, se marcara con un crayón la posición en la que tendrán que ir los cuatro apoyos, se centran los apoyos inferiores, y los apoyos

superiores se deben de poner en contacto con la cara superior sobre las marcas que delimitan el tercio central del espécimen. Si no se tiene un buen contacto con los apoyos se deberá pulir la superficie de tal manera que quede bien apoyado el espécimen.

2. La carga se deberá aplicar de manera uniforme y de manera que no produzca impacto, procurando que la velocidad de aplicación de la carga no exceda los $10\text{kg}/\text{cm}^2/\text{min}$.

Cálculos:

Si la ruptura se produce en el tercio medio de la viga, la resistencia a tensión por flexión (módulo de ruptura) del concreto se calculará con:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Si la ruptura ocurre fuera del tercio medio de la viga en no más del 5% del claro, la resistencia a tensión por flexión (módulo de ruptura) del concreto se calculará con:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde:

R= Módulo de ruptura (en kg/cm^2).

P = Carga de ruptura (en kg).

L = Claro (en cm).

b = Ancho promedio (en cm)

d = Peralte promedio (en cm).

a = Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano (en cm).

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en más del 5% del claro, los resultados se deben descartar.

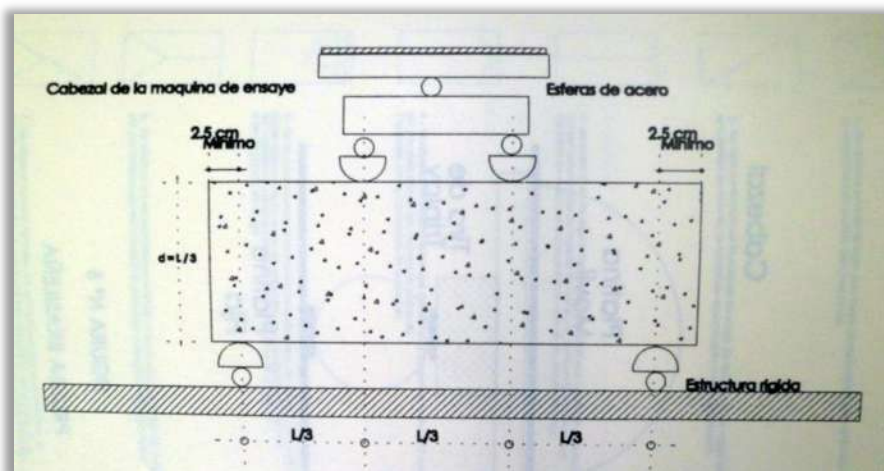


Figura 4.27. Esquema adecuado para pruebas de flexión.



Figura 4.28. Viga de concreto instalada para ser probada por flexión.

CAPITULO 5. Diseño de Mezclas.

Dentro de los diseños de mezclas de concreto existen métodos muy aceptables de proporcionamientos, como el Método del ACI (American Concrete Institute) o el método de las curvas de Abrahams, por ejemplo. Para este trabajo de investigación se optó por utilizar el método del ACI.

Para el diseño de las mezclas necesarias para este proyecto de investigación es de gran importancia tener como referencia una mezcla base que tomamos como muestra “Testigo”, esto es una mezcla de concreto ordinario elaborado a base de cemento, grava, arena y agua.

El objetivo principal de esta investigación es observar el comportamiento que toma el concreto al emplearle el aditivo CRISOTAN R-5 y determinar las propiedades que este le da al concreto terminado, haciendo comparaciones entre la muestra “testigo” y las diferentes mezclas con las 5 arenas en estudio.

Es muy importante mencionar que, tomando en cuenta que se evaluarán estos comportamientos para 5 diferentes arenas, y que se busca hacer una comparación del comportamiento del aditivo entre estas 5 arenas que se encuentran dentro de la región del municipio de Puruándiro, Michoacán, se hizo un tanto tedioso y complejo el proceso de experimentación, y para la explicación del cálculo del proporcionamiento base solamente se hace una vez.

5.1 Proporcionamiento de las muestras base (Método del ACI).

Como ya se mencionó anteriormente, en este proyecto se utilizó el método del ACI, y los cálculos se realizaron con la ayuda de Microsoft Excel.

El adecuado proporcionamiento de los componentes del concreto dan a este la resistencia, durabilidad, comportamiento, consistencia, trabajabilidad y otras

propiedades que se necesitan en determinada construcción y en determinadas condiciones de trabajo y exposición de este, además con el óptimo proporcionamiento se logrará evitar las principales anomalías en el concreto fresco y endurecido como la segregación, exudación, fisuramiento por contracción plástica y secado entre otras [17].

Antes de comenzar a hacer la descripción del método es importante mencionar de qué manera, con ayuda de Microsoft Excel, se facilitó el análisis tomando en cuenta los siguientes aspectos para un mejor entendimiento:

Datos	
Resultados	
Datos del Método	

- De color verde se muestran los espacios donde es necesario introducir datos de los materiales o de diseño.
- De color rosado se muestran los espacios donde el método nos arroja resultados, existe formulación y no se debe modificar nada en esos espacios.
- De color azul se muestran las tablas y especificaciones que el propio método nos menciona, de las cuales tomaremos valores necesarios como se describe.

A continuación se describe detalladamente el método paso a paso y se va describiendo cada uno de ellos [17]:

Paso 1. Elección del revenimiento.

El revenimiento es un parámetro necesario dependiendo del tipo de construcción en la que vaya a ser utilizado el concreto. En este caso es una investigación más enfocada en las propiedades que pueda desarrollar el aditivo CRISOTAN R-5 al ser aplicado como adición en un concreto ordinario, además de que se busca que el concreto sea fluido para una mejor trabajabilidad.

En este caso se seleccionó un revenimiento de 12cm.

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

*Pueden incrementarse en 2.5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado

Tabla 5.1 Revenimientos recomendados.

Paso 2. Obtención del agua de mezclado y contenido de aire.

Para la obtención del agua de mezclado se tiene la siguiente tabla, en donde se debe hacer coincidir la fila correspondiente al revenimiento de diseño (anteriormente mencionado), y la columna correspondiente al tamaño máximo del agregado o grava (TMG) y de esta manera se obtiene el agua de mezclado en kg/m^3 .

El TMG es un criterio que depende directamente de la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa o del espacio libre entre varillas. Por consideraciones económicas siempre es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se desarrolle una trabajabilidad adecuada en el concreto.

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado								
Agua, kg/m ³ 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 exposicion								
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

Tabla 5.2. Agua para mezclado y contenido de aire.

Se observa que en esta tabla no viene especificada la cantidad de agua necesaria para un concreto con revenimiento de 12cm, por lo que se hizo una interpolación. Tomando en cuenta los valores que están entre los revenimientos de 10cm y 15cm, se interpoló como sigue:

Interpolación	
Revenimiento	Agua (kg/m ³)
10	205
12	209.4
15	216

Tabla 5.3. Interpolación para determinar el agua de mezclado para revenimiento de 12cm.

Así se obtiene que para producir 1m³ de concreto con las características establecidas es necesario 209.4 kg de agua.

De esta misma tabla anterior (Tabla 5.2) se determina un 2% de aire atrapado accidentalmente, que se queda por la simple acción del mezclado o por la manipulación del concreto.

Paso 3. Obtención de la relación agua-cemento

Es importante mencionar que para este estudio el concreto se diseñó con el $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y no con el fcr , 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.

En caso de que no se tengan estas condiciones controladas, el fcr se calcula como sigue:

El valor del fcr , estará dado por el mayor valor obtenido de las siguientes expresiones:

$$fcr = f'c + 1.28 (\sigma_c)$$

$$fcr = f'c + 2.52 (\sigma_c) - 35$$

En las expresiones anteriores, σ_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 30 parejas de cilindros que representen un concreto cuya resistencia no difiera en más de 70 kg/cm^2 . En caso de que no se cuente con los antecedentes anteriormente descritos, se puede utilizar la siguiente tabla:

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

Tabla 5.4. Elección de la desviación estándar cuando no se tienen antecedentes.

Sustituyendo este valor en las ecuaciones anteriores:

$$Fcr = 250 + 1.28 (35) \rightarrow fcr = 294.8 \text{ kg/cm}^2$$

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

Por tanto, el valor de diseño sería **$f_{cr} = 303.2 \text{ kg/cm}^2$**

Considerando lo anterior se diseña con el f'_c . Para obtener esta relación es necesario conocer la resistencia de diseño a la que se quiere llegar. Para este caso se buscó una mezcla con $f'_c=250 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.

Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto		
Relación agua/cemento por peso		
Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm^2	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

Tabla 5.5. Relación agua/cemento.

De igual manera, se observa que la resistencia de diseño que se busca no se encuentra establecida, por lo que nuevamente se hizo una interpolación:

Interpolación	
f'_c	A/C
210	0.68
250	0.6171429
280	0.57

Tabla 5.6. Interpolación para determinar la relación agua/cemento.

Paso 4. Cálculo del contenido de cemento.

Con los valores de las cantidades de agua y de la relación agua/cemento se obtiene la cantidad necesaria de cemento con una simple operación:

$$\text{Cemento (kg)} = \frac{\text{Agua}}{\text{Relación} \frac{\text{agua}}{\text{cemento}}} = \frac{209.4}{0.617} = 339.38 \text{ kg}$$

Agua (kg/m ³) =	209.4
Relación a/c =	0.617
Cemento (kg) =	339.3841167

Paso 5. Determinación del agregado grueso.

Para hacer la estimación de la cantidad de agregado grueso, esta depende del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena.

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

Tabla 5.7. Estimación de la cantidad de agregado grueso.

Nuevamente se tuvo que hacer una interpolación puesto que el volumen de agregado grueso no estaba definido para el Módulo de finura obtenido que fue de 2.95.

Interpolación	
MF	Vol. Agregado grueso
3	0.6
2.95	0.61
2.8	0.62

Tabla 5.8. Interpolación para determinar el volumen de agregado grueso.

Paso 6. Cálculo del contenido de grava en peso.

Con el valor obtenido de Volumen de agregado grueso se obtuvo la cantidad de grava necesaria simplemente multiplicando el volumen de agregado grueso por el P.V.S.V. de la grava:

$$\text{Grava en peso} = (\text{Vol. agregado grueso}) * (\text{P.V.S.V. grava})$$

$$\text{Grava en peso} = 0.61 * 1709 = 1042.49 \text{ kg}$$

Paso 7. Cálculo del contenido de arena en peso.

Hasta este paso ya solo falta conocer la cantidad de arena en peso, todos los demás pesos ya se han obtenido. El método plantea una forma fácil de calcular el peso de la arena, y este es manejando las cantidades en relación a su volumen. Multiplicando cada peso obtenido por su correspondiente densidad se obtuvo el volumen:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso}}{\text{Densidad}} = \frac{339.384 \text{ kg}}{3.15} = 107.74 \text{ lts}$$

Este cálculo se hace para todos los materiales. Después se hace una sumatoria entre todos y tomando en cuenta que solo falta el volumen de la arena, este se obtiene con la siguiente expresión:

$$\text{Volumen arena} = 1000 - \Sigma \text{volumenes} = 1000 - 784.18$$

$$\text{Volumen arena} = 215.82 \text{ lts}$$

Con el dato del volumen de la arena ahora simplemente se multiplica este por el valor de su densidad (obtenido en laboratorio):

$$\text{Peso arena} = \text{Volumen arena} * \text{Densidad arena} = 215.82 * 2.48$$

Peso arena = 535.24 kg

Materiales	Peso (kg)	Da	Volumen (lts)
Cemento	339.384	3.15	107.74
Arena	535.24	2.48	215.82
Grava	1042.490	2.332	447.04
Agua	209.400	1	209.40
Vol. de aire	---	---	20.00
	2126.513		1000

Tabla 5.9. Cálculo en Microsoft Excel para obtener el peso de la arena.

Con lo anterior se determinó el peso que tiene el concreto terminado realizado con arena de “Chamacuero” por metro cúbico, que es igual a 2126 kg aproximadamente. Este proporcionamiento es un proporcionamiento base, del cual se deben hacer ajustes por humedad y absorción tanto de la arena como de la grava.

5.1.1 Ajuste por humedad y absorción.

Estos ajustes son indispensables cuando se tienen obras en donde las mezclas de concreto se realizan en el sitio o en la misma obra; tanto la arena como la grava tienen las propiedades de humedad y absorción, y estas varían dependiendo de factores como, el cuidado que se tenga para el almacenamiento del material, el clima, entre tantos factores. Es muy importante tener el conocimiento de la humedad que presenta estos agregados y así dosificar la cantidad de agua adecuada para un proporcionamiento dado.

Considerando que este trabajo de investigación se realizó bajo condiciones de laboratorio, el material previamente a ser utilizado se puso a secar, extendiéndolo sobre una superficie expuesta al calor del sol; una vez que el material estaba completamente seco se guardó en costales y estos se almacenaron en lugares donde

no estuvieran expuestos a humedad por lluvia ni accidental, cuidando de alguna forma que las propiedades del material no cambiaran para, en su tiempo, ser utilizados.



Figura 5.1. Secado para posterior almacenamiento de arenas.

Teniendo en consideración esto, para agilizar los trabajos y para disminuir un error por tener que hacer ajustes cada vez que se realizara una mezcla, a los proporcionamientos base únicamente se le hicieron ajustes por absorción ya que cada arena presentaba diferentes propiedades de absorción, y los proporcionamientos reales para cada arena quedaron de la siguiente forma (sin aditivo):

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	-25.22	1034.36
Agua	209.4				50.835	260.23
	2099.16					2099.16

Tabla 5.10. Ajuste de proporcionamiento para arena "Santa Clara (Negra)".

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 5.11. Ajuste de proporcionamiento para arena "Santa Clara (Roja)".

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 5.12. Ajuste de proporcionamiento para arena "Chamacuero".

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 5.13. Ajuste de proporcionamiento para arena "El Armadillo".

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

Tabla 5.14. Ajuste de proporcionamiento para arena "Janamuato".

CAPITULO 6. Experimentación con mezclas.

En esta parte de la experimentación el objetivo se planteó en dos etapas:

- En la primera etapa, teniendo los proporcionamientos base, primeramente se manipularon los mismos, haciendo variaciones tanto en la relación agua – cemento (0.55 y 0.45) como en el aditivo, agregando* un porcentaje de este en base al peso del cemento (0.36%, 0.50% y 0.66%).
- En la segunda etapa ya teniendo los resultados anteriores, se procedió a hacer variaciones, disminuyendo porcentajes de cemento (5% y 10%) y bajando la relación grava–arena (1.8 y 1.4).

Nota: Cabe señalar que para la primera etapa de la experimentación únicamente se realizaron mezclas con la arena correspondiente al banco “Chamacuero”, esto porque fue la arena que presentó mejores características físicas; además de la disposición de tiempo y por la gran cantidad de material que se hubiese ocupado hacer análisis con todas las arenas.

Para apreciar los resultados se hizo uso de tablas comparativas, así como de gráficas que a continuación se muestran. (Las gráficas se muestran en el capítulo siguiente).

* El aditivo se empleó como adición y no como sustitución.

6.1 Primera etapa. Relación agua-cemento y porcentaje de aditivo óptimos.

La primera etapa contempló, adicionarle a las mezclas base unos porcentajes de aditivo (como adición no como sustitución), como el 0.36%, 0.50% y 0.66% en relación al peso del cemento, además de bajar la relación agua cemento a relaciones de 0.55 y 0.45, y comparar los resultados a diferentes edades (6hrs, 1, 3, 7, 14 y 28

días). Lo anterior se hizo como experimentación para encontrar un porcentaje óptimo de aditivo y una relación agua/cemento adecuada que mantuviera un buen revenimiento, que la mezcla mantuviera una buena consistencia, reducir las cantidades de cemento y que no afectara en la resistencia de diseño, inclusive mejorarla en lo posible.

Las mezclas que se realizaron fueron:

- Rel. A/C = 0.55 y 0.36% aditivo.
- Rel. A/C = 0.45 y 0.36% aditivo.
- Rel. A/C = 0.45 y 0.50% aditivo.
- Rel. A/C = 0.45 y 0.66% aditivo.

6.1.1. Proporcionamientos primera etapa.

Con este proporcionamiento se realizaron especímenes para las edades desde 6hrs hasta 28 días (6hrs, 1, 3, 7, 14 28 días). El motivo de analizar desde la edad temprana de 6hrs es para evaluar del aditivo su característica como “acelerante de resistencia” y verificar si da esta propiedad al concreto.

Proporcionamiento arena “Chamacuero”				Rel. A/C = 0.55 0.36% Aditivo
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Bajando Rel. A/C (kg)	0.36% aditivo (kg)	Proporcionamiento real (kg)
Cemento	339.38	339.38	339.38	339.38
Arena	535.24	535.24	535.24	535.24
Grava	1042.49	1042.49	1042.49	1042.49
Agua	209.4	186.66	186.66	186.66
Aditivo	0.00	0.00	1.22	1.22
Rel A/C	0.62	0.55		0.55

Tabla 6.1. Proporcionamiento Rel. A/C=0.55 y 0.36% de aditivo.

Al evaluar los especímenes de la mezcla anterior y ser probados a compresión se observó que a la edad de 6hrs aún no han fraguado, el concreto sigue fresco y

muy débil a compresión, por lo que se decidió eliminar las pruebas a 6hrs concluyendo que el aditivo no da la propiedad de resistencias rápidas. En las siguientes figuras se muestra como el concreto aún está muy fresco, inclusive quedan las marcas de cuando se estuvo manipulando.

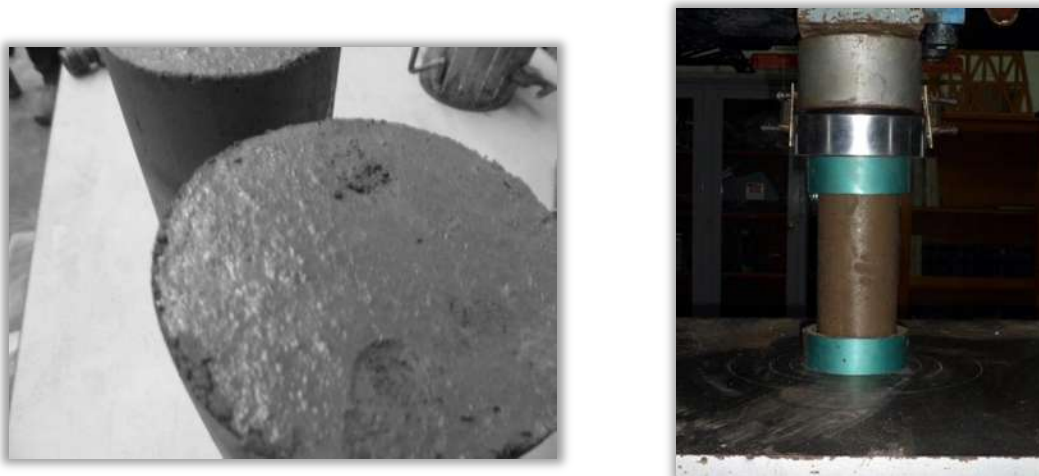


Figura 6.1 Muestras de concreto a las 6hrs de haberse colado.

A continuación se muestran los demás proporcionamientos que se realizaron como primera etapa.

Con estos proporcionamientos se realizaron especímenes de prueba para las edades desde 1día hasta 28 días (1, 3, 7, 14 y 28 días); se eliminaron las pruebas a 6hrs por el motivo que se explicó antes.

Proporcionamiento arena "Chamacuero"				Rel. A/C = 0.45 0.36% Aditivo
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Bajando Rel. A/C (kg)	0.36% aditivo (kg)	Proporcionamiento real (kg)
Cemento	339.38	339.38	339.38	339.38
Arena	535.24	535.24	535.24	535.24
Grava	1042.49	1042.49	1042.49	1042.49
Agua	209.4	152.72	152.72	152.72
Aditivo	0.00	0.00	1.22	1.22
Rel A/C	0.62	0.45		0.45

Tabla 6.2. Proporcionamiento Rel. A/C=0.45 y 0.36% de aditivo.

Proporcionamiento arena "Chamacuero"				Rel. A/C = 0.45 0.50% Aditivo
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Bajando Rel. A/C (kg)	0.36% aditivo (kg)	Proporcionamiento real (kg)
Cemento	339.38	339.38	339.38	339.38
Arena	535.24	535.24	535.24	535.24
Grava	1042.49	1042.49	1042.49	1042.49
Agua	209.4	152.72	152.72	152.72
Aditivo	0.00	0.00	1.70	1.70
Rel A/C	0.62	0.45		0.45

Tabla 6.3. Proporcionamiento Rel. A/C=0.45 y 0.50% de aditivo.

Proporcionamiento arena "Chamacuero"				Rel. A/C = 0.45 0.66% Aditivo
Materiales	Proporcionamiento base (kg)	Bajando Rel. A/C (kg)	0.36% aditivo (kg)	Proporcionamiento real (kg)
Cemento	339.38	339.38	339.38	339.38
Arena	535.24	535.24	535.24	535.24
Grava	1042.49	1042.49	1042.49	1042.49
Agua	209.4	152.72	152.72	152.72
Aditivo	0.00	0.00	2.24	2.24
Rel A/C	0.62	0.45		0.45

Tabla 6.4. Proporcionamiento Rel. A/C=0.45 y 0.66% de aditivo.

6.1.2. Resistencias a compresión primera etapa.*

Resistencia a la compresión			Rev= 19.5				Aditivo: 0.36% Rel. A/C = 0.55	
			6hrs	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
CILINDRO	1	Kg/cm ²	1.75	25.46	127.96	182.07	206.9	275.34
	2	Kg/cm ²	1.97	22.92	117.14	178.89	187.8	281.7
	3	Kg/cm ²	2.07	23.33	130.51	194.17	208.49	256.23
Promedio		Kg/cm ²	1.93	23.90	125.20	185.04	201.06	271.09

Tabla 6.5. Resistencia a compresión Aditivo 0.36% y Rel. A/C=0.55.

Resistencia a la compresión			Rev= 9 cm			Aditivo: 0.36% Rel. A/C = 0.45	
			1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
CILINDRO	1	Kg/cm ²	35.65	236.19	218.04	222.18	324.67
	2	Kg/cm ²	39.95	269.29	292.84	313.85	291.25
	3	Kg/cm ²	35.97	200.53	267.38	294.75	321.49
Promedio		Kg/cm ²	37.19	235.34	259.42	276.93	312.47

Tabla 6.6. Resistencia a compresión Aditivo 0.36% y Rel. A/C=0.45.

Resistencia a la compresión			Rev= 13 cm			Aditivo: 0.50% Rel. A/C = 0.45	
			1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
CILINDRO	1	Kg/cm ²	42.33	217.72	300.48	300.8	371.3
	2	Kg/cm ²	43.29	219	299.21	308.76	380.27
	3	Kg/cm ²	-	-	293.48	331.04	385.43
Promedio		Kg/cm ²	42.81	218.36	297.72	313.53	379.00

Tabla 6.7. Resistencia a compresión Aditivo 0.50% y Rel. A/C=0.45.

Resistencia a la compresión			Rev= 14.5 cm			Aditivo: 0.66% Rel. A/C = 0.45	
			1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
CILINDRO	1	Kg/cm ²	39.95	181.44	262.29	318.31	402.81
	2	Kg/cm ²	35.33	205.63	278.2	351.73	407.64
	3	Kg/cm ²	35.97	222.82	291.57	318.31	396.13
Promedio		Kg/cm ²	37.08	203.30	277.35	329.45	402.19

Tabla 6.8. Resistencia a compresión Aditivo 0.66% y Rel. A/C=0.45.

*Las gráficas de esta primera etapa se muestran en el capítulo siguiente.
(Capítulo 7. Resultados, subcapítulo 7.4).

Analizando los resultados anteriores se optó por tomar la mezcla realizada con una Relación $A/C=0.45$ y un 0.50% de aditivo, esto tomando en cuenta las resistencias alcanzadas a los 28 días (aproximadamente 380 kg/cm^2) con lo cual nos permitía seguir la experimentación al poder manipular la mezcla para fabricar concretos que desarrollen resistencias cercanas a la de diseño (250 kg/cm^2), además de que presentó un Revenimiento de 13cm que es muy apropiado (12cm de diseño) tomando en cuenta que es para concretos premezclados y las características físicas de la mezcla antes de fraguar son muy óptimas.

6.2 Segunda etapa. Reducción de cemento y de la relación grava-arena.

Como anteriormente se explicó, para seguir con esta segunda etapa del proyecto se tomó como base al proporcionamiento realizado con 0.50% de aditivo y una relación agua-cemento de 0.45 puesto que fue el que mejores resultados presentó para seguir experimentando.

Con estas características se realizaron proporcionamientos con cada tipo de arena, que a continuación se muestran en tablas.

Considerando que las resistencias desarrolladas por los especímenes realizados con 0.50% de aditivo y relación agua-cemento de 0.45 (mezcla seleccionada) fueron superiores a la resistencia de diseño en un 52% aproximadamente, se decidió hacer variaciones en esta mezcla para comparar los resultados:

- Disminuyendo 5% de cemento.
- Disminuyendo 10% de cemento.
- Bajando las relaciones G/A a 1.8.
- Bajando las relaciones G/A a 1.4.

Es importante mencionar que originalmente o cada proporcionamiento base tenía diferente relación grava-arena por el hecho de estar hechos con diferentes arenas, y todos se ajustaron a las relaciones de 1.8 y 1.4, independientemente de cual fuera su relación.

Proporcionamientos arena "Santa Clara (Negra)"

Santa Clara (Negra)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 5% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	322.41					322.41
Arena	490.79	490.79	0	0	5.22	-25.62	465.17
Grava	1059.58	1059.58	0	0	2.38	-25.22	1034.36
Agua	209.40	145.09				50.84	195.92
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45					
----------	------	------	--	--	--	--	--

Tabla 6.9. Proporcionamiento "Santa Clara (Negra)" reduciendo 5% de cemento.

Santa Clara (Negra)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 10% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	305.45					305.45
Arena	490.79	490.79	0	0	5.22	-25.62	465.17
Grava	1059.58	1059.58	0	0	2.38	-25.22	1034.36
Agua	209.40	137.45				50.84	188.29
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45					
----------	------	------	--	--	--	--	--

Tabla 6.10. Proporcionamiento "Santa Clara (Negra)" reduciendo 10% de cemento.

Santa Clara (Negra)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.8	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	490.79	553.71	0	0	5.22	-28.90	524.80
Grava	1059.58	996.67	0	0	2.38	-23.72	972.95
Agua	209.40	152.72				52.62	205.35
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.16	1.8					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.11. Proporcionamiento "Santa Clara (Negra)" bajando relación G/A=1.8.

Santa Clara (Negra)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.4	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	490.79	645.99	0	0	5.22	-33.72	612.27
Grava	1059.58	904.38	0	0	2.38	-21.52	882.86
Agua	209.40	152.72				55.24	207.97
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.16	1.4					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.12. Proporcionamiento "Santa Clara (Negra) bajando relación G/A=1.4.

Proporcionamientos arena "Santa Clara (Roja)"

Santa Clara (Roja)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 5% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	322.41					322.41
Arena	439.23	439.23	0	0	9.32	-40.94	398.30
Grava	1093.76	1093.76	0	0	2.38	-26.03	1067.73
Agua	209.40	145.09				66.97	212.05
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45
----------	------	------

Tabla 6.13. Proporcionamiento "Santa Clara (Roja)" reduciendo 5% de cemento.

Santa Clara (Roja)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 10% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	305.45					305.45
Arena	439.23	439.23	0	0	9.32	-40.94	398.30
Grava	1093.76	1093.76	0	0	2.38	-26.03	1067.73
Agua	209.40	137.45				66.97	204.42
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45
----------	------	------

Tabla 6.14. Proporcionamiento "Santa Clara (Roja)" reduciendo 10% de cemento.

Santa Clara (Roja)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.8	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	439.23	547.50	0	0	9.32	-51.03	496.47
Grava	1093.76	985.50	0	0	2.38	-23.45	962.04
Agua	209.40	152.72				74.48	227.20
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.49	1.8					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.15. Proporcionamiento "Santa Clara (Roja)" bajando relación G/A=1.8.

Santa Clara (Roja)							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.4	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	439.23	638.75	0	0	9.32	-59.53	579.22
Grava	1093.76	894.25	0	0	2.38	-21.28	872.96
Agua	209.40	152.72				80.81	233.54
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.49	1.4					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.16. Proporcionamiento "Santa Clara (Roja)" bajando relación G/A=1.4.

Proporcionamientos arena "Chamacuero"

Chamacuero							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 5% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	322.41					322.41
Arena	535.24	535.24	0	0	3.18	-17.02	518.22
Grava	1042.49	1042.49	0	0	2.38	-24.81	1017.68
Agua	209.40	145.08				41.83	186.92
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45
----------	------	------

Tabla 6.17. Proporcionamiento "Chamacuero" reduciendo 5% de cemento.

Chamacuero							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 10% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	305.45					305.45
Arena	535.24	535.24	0	0	3.18	-17.02	518.22
Grava	1042.49	1042.49	0	0	2.38	-24.81	1017.68
Agua	209.40	137.45				41.83	179.28
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45
----------	------	------

Tabla 6.18. Proporcionamiento "Chamacuero" reduciendo 10% de cemento.

Chamacuero							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.8	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	535.24	563.48	0	0	3.18	-17.92	545.56
Grava	1042.49	1014.26	0	0	2.38	-24.14	990.12
Agua	209.40	152.72				42.06	194.78
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	1.95	1.8					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.19. Proporcionamiento "Chamacuero" bajando relación G/A=1.8.

Chamacuero							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.4	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	535.24	657.39	0	0	3.18	-20.90	636.48
Grava	1042.49	920.34	0	0	2.38	-21.90	898.44
Agua	209.40	152.72				42.81	195.53
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	1.95	1.4					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.20. Proporcionamiento "Chamacuero" bajando relación G/A=1.4.

Proporcionamientos arena “El Armadillo”

El Armadillo							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 5% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	322.41					322.41
Arena	434.58	434.58	0	0	5.89	-25.60	408.98
Grava	1093.76	1093.76	0	0	2.38	-26.03	1067.73
Agua	209.4	145.08				51.63	196.71
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45
----------	------	------

Tabla 6.21. Proporcionamiento “El Armadillo” reduciendo 5% de cemento.

El Armadillo							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 10% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	305.45					305.45
Arena	434.58	434.58	0	0	5.89	-25.60	408.98
Grava	1093.76	1093.76	0	0	2.38	-26.03	1067.73
Agua	209.4	137.45				51.63	189.08
Aditivo	1.697	1.697					1.697

Rel. A/C	0.62	0.45
----------	------	------

Tabla 6.22. Proporcionamiento “El Armadillo” reduciendo 10% de cemento.

El Armadillo							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.8	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	434.58	545.84	0	0	5.89	-32.15	513.69
Grava	1093.76	982.50	0	0	2.38	-23.38	959.12
Agua	209.4	152.72				55.53	208.25
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.52	1.8					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.23. Proporcionamiento "El Armadillo" bajando relación G/A=1.8.

El Armadillo							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.4	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	434.58	636.81	0	0	5.89	-37.51	599.30
Grava	1093.76	891.53	0	0	2.38	-21.22	870.31
Agua	209.4	152.72				58.73	211.45
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.52	1.4					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.24. Proporcionamiento "El Armadillo" bajando relación G/A=1.4.

Proporcionamientos arena "Janamuato"

Janamuato							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 5% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	322.41					322.41
Arena	401	401.00	0	0	5.89	-23.62	377.38
Grava	1127.94	1127.94	0	0	2.38	-26.84	1101.10
Agua	209.4	145.08				50.46	195.55
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.25. Proporcionamiento "Janamuato" reduciendo 5% de cemento.

Janamuato							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Disminuyendo 10% cemento	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	305.45					305.45
Arena	401	401.00	0	0	5.89	-23.62	377.38
Grava	1127.94	1127.94	0	0	2.38	-26.84	1101.10
Agua	209.4	137.45				50.46	187.92
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.26. Proporcionamiento "Janamuato" reduciendo 10% de cemento.

Janamuato							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.8	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	401	546.05	0	0	5.89	-32.16	513.89
Grava	1127.94	982.89	0	0	2.38	-23.39	959.50
Agua	209.4	152.72				55.56	208.28
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.81	1.8					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.27. Proporcionamiento “Janamuato” bajando relación G/A=1.8.

Janamuato							
Material	Proporcionamiento Base (kg)	Ajustando Rel. G/A=1.4	Humedad		Absorción		Proporcionamiento Real (kg)
			%	kg	%	kg	
Cemento	339.38	339.38					339.38
Arena	401	637.06	0	0	5.89	-37.52	599.54
Grava	1127.94	891.88	0	0	2.38	-21.23	870.65
Agua	209.4	152.72				58.75	211.47
Aditivo	1.697	1.697					1.697
Rel. G/A	2.81	1.4					
Rel. A/C	0.62	0.45					

Tabla 6.28. Proporcionamiento “Janamuato” bajando relación G/A=1.4.

CAPITULO 7. Resultados.

En este capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron en este estudio dentro de la experimentación: resumen de caracterización física de los materiales, caracterización química de las arenas, y resultados de pruebas no destructivas y compresión en cilindros, y resultados de las pruebas a flexión en vigas.

7.1 Caracterización física de los materiales.

	PVSS (kg/m ³)	PVSV (kg/m ³)	Absorción (%)	Densidad (kg/m ³)	Equivalente de arena (%)	Módulo de finura (Adim.)	Colorimetría* (Adim.)
Sta. Clara (N)	1.176	1.26	5.22	2.354	91.33	2.65	Color 1
Sta. Clara (R.)	1.045	1.083	9.32	2.266	91.55	2.57	Color 2
Chamacuero	1.264	1.322	3.18	2.48	97.61	2.91	Color 1
El Armadillo	1.095	1.133	5.89	2.24	90.37	2.6	Color 1
Janamuato	1.129	1.243	7.39	2.238	86.48	2.3	Color 1-2
Grava Tlazazalca	1.601	1.709	2.385	2.692			

Tabla 7.1. Resumen de caracterización física.

**La colorimetría se mide en una escala del 1 al 4, y esta representa si en la arena hay ausencia o presencia de materia orgánica, respectivamente. Si el color resultante excede del amarillo paja (color No. 3), la arena tiene exceso de materia orgánica y no es apta para elaborar concreto.*

7.2 Caracterización química de las arenas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	TOTAL
	%											
Santa Clara (N)	55.03	1.23	17.844	8.244	0.12	4.557	5.746	3.691	1.529	0.375	1.04	99.379
Santa 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	4.313	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 7.2. Análisis de fluorescencia de rayos X (FRX) de las diferentes arenas.

	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm													
Santa Clara (N)	29	606	549	24	192	15	140	155	34	83	124	97	<3	8
Santa 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

Tabla 7.3. Análisis de partes por millón (PPM).

7.3 Pruebas no destructivas (cilindros)

7.3.1 Especímenes con arena “Santa Clara (Negra)”

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Santa Clara (N)		Disminuyendo 5% cemento			
							Calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.657	0.20	0.00785	51.27	913.33	1622	3902.78	Bueno	35.85	Moderado
14	3.673	0.20	0.00785	48.67	1300	1874	4110.02	Bueno	51.03	Moderado
28	3.661	0.20	0.00785	47.76	1733.33	1167	4187.68	Bueno	68.03	Moderado
50	3.672	0.20	0.00785	49.00	2566.67	1295	4081.98	Bueno	100.74	Moderado

Tabla 7.4. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (N) disminuyendo 5% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Santa Clara (N)		Disminuyendo 10% cemento			
							Calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.641	0.20	0.00785	49.66	813.33	1235	4027.43	Bueno	31.92	Moderado
14	3.627	0.20	0.00785	48.24	1030	1511	4146.08	Bueno	40.43	Moderado
28	3.635	0.20	0.00785	48.84	1533.33	1226	4095.48	Bueno	60.18	Moderado
50	3.652	0.20	0.00785	47.20	2300	1176	4237.78	Bueno	90.28	Moderado

Tabla 7.5. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (N) disminuyendo 10% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Santa Clara (N)				Bajando la rel. G/A=1.8	
							Calculados					
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)			
7	3.628	0.20	0.00785	48.87	946.67	1210	4093.24	Bueno	37.16	Moderado		
14	3.615	0.20	0.00785	49.93	1126.67	1699	4006.33	Bueno	44.22	Moderado		
28	3.641	0.20	0.00785	48.22	1733.33	1366	4148.07	Bueno	68.03	Moderado		
50	3.611	0.20	0.00785	48.64	2466.67	1346	4112.78	Bueno	96.82	Moderado		

Tabla 7.6. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (N) con Rel. G/A=1.8.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Santa Clara (N)				Bajando la rel. G/A=1.4	
							Calculados					
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)			
7	3.603	0.20	0.00785	50.85	743.33	1328	3933.85	Bueno	29.18	Moderado		
14	3.581	0.20	0.00785	49.28	813.33	1251	4058.88	Bueno	31.92	Moderado		
28	3.631	0.20	0.00785	49.76	1800	1237	4019.36	Bueno	70.65	Moderado		
50	3.617	0.20	0.00785	49.14	2366.67	1202	4070.30	Bueno	92.89	Moderado		

Tabla 7.7. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (N) con Rel. G/A=1.4.

7.3.2 Especímenes con arena “Santa Clara (Roja)”

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Santa Clara (R.)		Disminuyendo 5% cemento			
							Calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.583	0.20	0.00785	51.45	946.67	1163	3887.54	Bueno	37.16	Moderado
14	3.572	0.20	0.00785	49.89	1060	1245	4010.24	Bueno	41.61	Moderado
28	3.572	0.20	0.00785	49.09	1633.33	1267	4073.99	Bueno	64.11	Moderado
50	3.570	0.20	0.00785	50.79	2566.67	1253	3938.02	Bueno	100.74	Moderado

Tabla 7.8. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (R.) disminuyendo 5% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Santa Clara (R.)		Disminuyendo 10% cemento			
							Datos calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Area del espécimen (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.570	0.20	0.00785	49.66	866.67	1213	4027.43	Bueno	34.02	Moderado
14	3.584	0.20	0.00785	48.24	930	1276	4146.08	Bueno	36.50	Moderado
28	3.591	0.20	0.00785	48.84	1333.33	1258	4095.48	Bueno	52.33	Moderado
50	3.578	0.20	0.00785	47.20	2060	1195	4237.78	Bueno	80.86	Moderado

Tabla 7.9. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (R.) disminuyendo 10% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Santa Clara (R.)		Bajando la rel. G/A=1.8			
							Datos calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Area del espécimen (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.563	0.20	0.00785	48.87	893.33	1311	4061.73	Bueno	35.06	Moderado
14	3.585	0.20	0.00785	49.93	1133.33	1348	4003.75	Bueno	44.48	Moderado
28	3.599	0.20	0.00785	48.22	1366.67	1252	3958.41	Bueno	53.64	Moderado
50	3.578	0.20	0.00785	48.64	2166.67	1186	4143.20	Bueno	85.04	Moderado

Tabla 7.10. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (R.) con Rel. G/A=1.8.

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Santa Clara (R.)		Bajando la rel. G/A=1.4			
							Datos calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Area del espécimen (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.574	0.20	0.00785	50.85	733.33	1296	3947.65	Bueno	28.78	Moderado
14	3.593	0.20	0.00785	49.28	943.33	1327	4076.13	Bueno	37.03	Moderado
28	3.591	0.20	0.00785	49.76	1266.67	1301	4008.74	Bueno	49.72	Moderado
50	3.585	0.20	0.00785	49.14	1900	1279	4056.92	Bueno	74.58	Moderado

Tabla 7.11. Resumen PND a especímenes con arena Santa Clara (R.) con Rel. G/A=1.4.

7.3.3 Especímenes con arena “Chamacuero”

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Chamacuero				Disminuyendo 5% cemento	
											Calculados	
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)			
7	3.667	0.20	0.00785	49.09	773.33	1188	4097.36	Bueno	30.35	Moderado		
14	3.635	0.20	0.00785	50.17	960	1251	4082.36	Bueno	37.68	Moderado		
28	3.686	0.20	0.00785	51.34	1600	1403	4180.10	Bueno	62.80	Moderado		
50	3.653	0.20	0.00785	48.97	2333.33	1339	4278.44	Bueno	91.58	Moderado		

Tabla 7.12. Resumen PND a especímenes con arena Chamacuero disminuyendo 5% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Chamacuero				Disminuyendo 10% cemento	
											Calculados	
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)			
7	3.672	0.20	0.00785	48.33	1166.67	1128	3980.97	Bueno	45.79	Moderado		
14	3.672	0.20	0.00785	48.72	1433.33	1236	4081.67	Bueno	56.26	Moderado		
28	3.672	0.20	0.00785	51.13	1966.67	1317	4205.34	Bueno	77.19	Moderado		
50	3.673	0.20	0.00785	50.11	2766.67	1235	4304.33	Bueno	108.59	Moderado		

Tabla 7.13. Resumen PND a especímenes con arena Chamacuero disminuyendo 10% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas Chamacuero							Bajando la rel. G/A=1.8			
							Calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.655	0.20	0.00785	47.97	856.67	1219	4063.98	Bueno	33.62	Moderado
14	3.682	0.20	0.00785	47.75	1233.33	1338	4113.09	Bueno	48.41	Moderado
28	3.678	0.20	0.00785	50.97	1833.33	1320	4118.64	Bueno	71.96	Moderado
50	3.666	0.20	0.00785	49.93	2666.67	1271	4125.40	Bueno	104.67	Moderado

Tabla 7.14. Resumen PND a especímenes con arena Chamacuero con Rel. G/A=1.8.

Resultados promedio de pruebas no destructivas Chamacuero							Bajando la rel. G/A=1.4			
							Calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.556	0.20	0.00785	50.21	700	1212	3903.17	Bueno	27.48	Moderado
14	3.546	0.20	0.00785	50.69	1066.67	1358	3964.74	Bueno	41.87	Moderado
28	3.556	0.20	0.00785	53.15	1533.33	1206	4050.94	Bueno	60.18	Moderado
50	3.554	0.20	0.00785	51.94	2166.67	1188	4060.63	Bueno	85.04	Moderado

Tabla 7.15. Resumen PND a especímenes con arena Chamacuero con Rel. G/A=1.4.

7.3.4 Especímenes con arena “El Armadillo”

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Disminuyendo 5% cemento			
							Calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.630	0.20	0.00785	49.09	766.67	1283	4073.88	Bueno	30.09	Moderado
14	3.602	0.20	0.00785	50.17	1133.33	1167	3987.14	Bueno	44.48	Moderado
28	3.619	0.20	0.00785	51.34	1633.33	1242	3896.79	Bueno	64.11	Moderado
50	3.624	0.20	0.00785	48.96	2533.33	1457	4084.56	Bueno	99.43	Moderado

Tabla 7.16. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo disminuyendo 5% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Disminuyendo 10% cemento			
							Calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.616	0.20	0.00785	48.33	1026.67	1341	4138.21	Bueno	40.30	Moderado
14	3.621	0.20	0.00785	48.72	1133.33	1354	4105.17	Bueno	44.48	Moderado
28	3.591	0.20	0.00785	51.13	1800	1339	3912.73	Bueno	70.65	Moderado
50	3.628	0.20	0.00785	50.11	2300	1080	3991.75	Bueno	90.28	Moderado

Tabla 7.17. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo disminuyendo 10% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							El Armadillo				Bajando la rel. G/A=1.8	
							Calculados					
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)			
7	3.619	0.20	0.00785	47.97	896.67	1399	4169.32	Bueno	35.19	Moderado		
14	3.607	0.20	0.00785	47.75	1010	1150	4188.32	Bueno	39.64	Moderado		
28	3.658	0.20	0.00785	50.97	1933.33	1229	3925.03	Bueno	75.88	Moderado		
50	3.621	0.20	0.00785	49.93	2066.67	1178	4007.03	Bueno	81.12	Moderado		

Tabla 7.18. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo con Rel. G/A=1.8.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							El Armadillo				Bajando la rel. G/A=1.4	
							Calculados					
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área de la sección (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)			
7	3.487	0.20	0.00785	50.21	630	1322	3983.53	Bueno	24.73	Moderado		
14	3.518	0.20	0.00785	50.69	963.33	1258	3946.13	Bueno	37.81	Moderado		
28	3.483	0.20	0.00785	53.15	1700	1248	3763.74	Bueno	66.73	Moderado		
50	3.502	0.20	0.00785	51.94	1866.67	1222	3850.69	Bueno	73.27	Moderado		

Tabla 7.19. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo con Rel. G/A=1.4.

7.3.5 Especímenes con arena “Janamuato”

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Janamuato		Disminuyendo 5% cemento			
							Datos calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área del espécimen (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.667	0.20	0.00785	48.21	836.67	1305	3983.27	Bueno	32.84	Moderado
14	3.635	0.20	0.00785	48.56	1113.33	1593	4118.62	Bueno	43.70	Moderado
28	3.686	0.20	0.00785	49.34	1866.67	1367	4053.51	Bueno	73.27	Moderado
50	3.653	0.20	0.00785	49.03	2200	1286	4013.65	Bueno	86.35	Moderado

Tabla 7.20. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo disminuyendo 5% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas					Janamuato		Disminuyendo 10% cemento			
							Datos calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área del espécimen (m²)	Tiempo* (µs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.672	0.20	0.00785	47.87	903.33	1253	3931.59	Bueno	35.46	Moderado
14	3.672	0.20	0.00785	47.98	1296.67	1462	4001.60	Bueno	50.89	Moderado
28	3.672	0.20	0.00785	48.56	1773.33	1413	3955.70	Bueno	69.60	Moderado
50	3.673	0.20	0.00785	48.21	2026.67	1257	3905.49	Bueno	79.55	Moderado

Tabla 7.21. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo disminuyendo 10% de cemento.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Bajando la rel. G/A=1.8			
							Datos calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Área del espécimen (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.655	0.20	0.00785	46.78	953.33	1287	3942.44	Bueno	37.42	Moderado
14	3.682	0.20	0.00785	47.34	1226.67	1472	4078.30	Bueno	48.15	Moderado
28	3.678	0.20	0.00785	47.96	1830	1317	4084.97	Bueno	71.83	Moderado
50	3.666	0.20	0.00785	47.67	2396.67	1298	4042.85	Bueno	94.07	Moderado

Tabla 7.22. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo con Rel. G/A=1.8.

Resultados promedio de pruebas no destructivas							Bajando la rel. G/A=1.4			
							Datos calculados			
Edad de prueba (días)	Peso* (kg)	Longitud (m)	Area del espécimen (m ²)	Tiempo* (μs)	Resistencia (ohms)	Resonancia (hz)	Velocidad ultrasónica (m/seg)		Resistividad (ohms-m)	
7	3.556	0.20	0.00785	49.86	700	1259	4011.23	Bueno	27.48	Moderado
14	3.546	0.20	0.00785	50.69	936.67	1387	3945.55	Bueno	36.76	Moderado
28	3.556	0.20	0.00785	52.13	1940	1340	3836.56	Bueno	76.15	Moderado
50	3.554	0.20	0.00785	51.83	2136.67	1273	3858.77	Bueno	83.86	Moderado

Tabla 7.23. Resumen PND a especímenes con arena El Armadillo con Rel. G/A=1.4.

Disminuyendo 5% de cemento

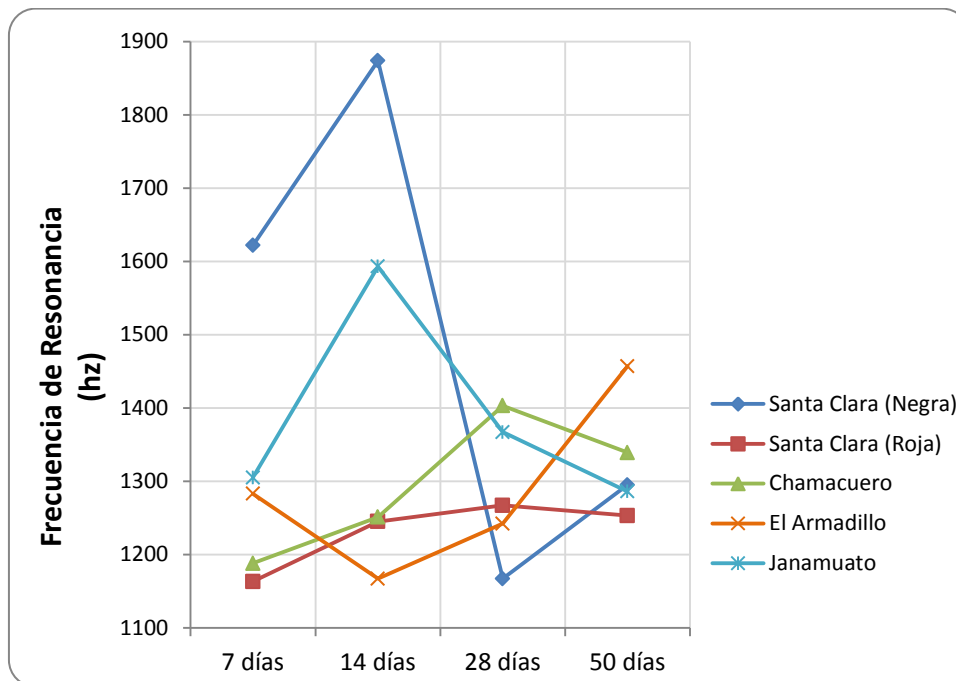


Figura 7.1 Grafica de valores promedio de Resonancia Magnética.

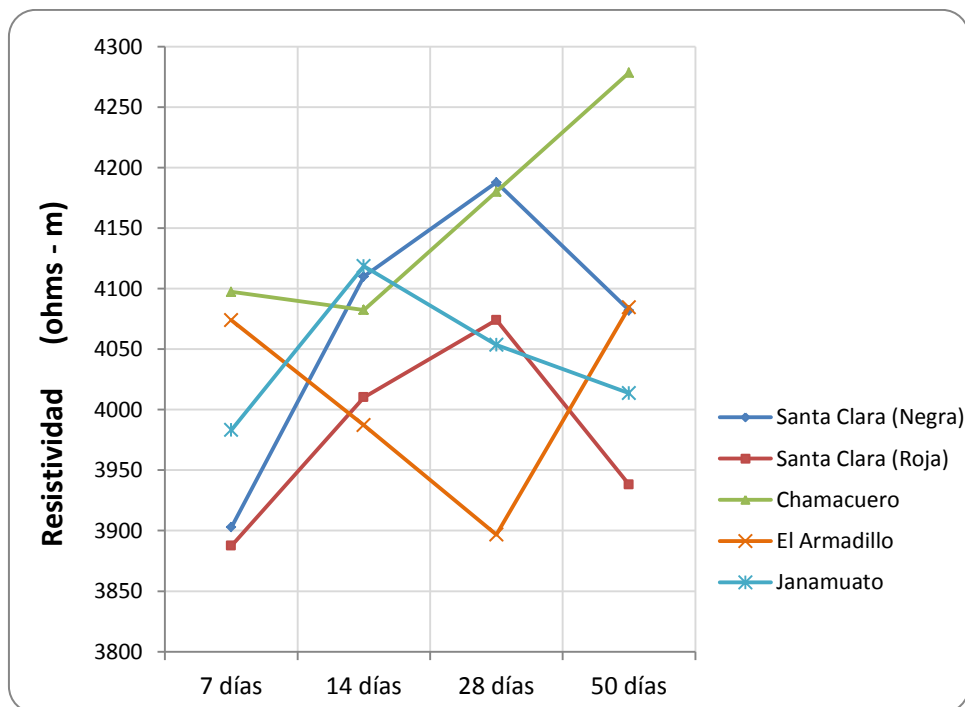


Figura 7.2 Grafica de valores promedio de Resistividad.

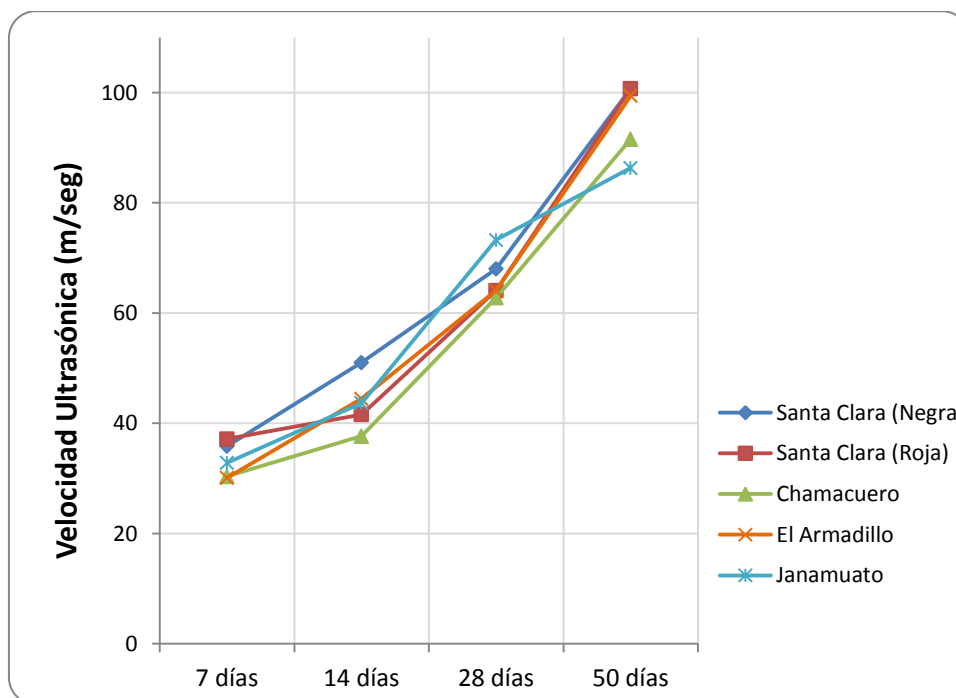


Figura 7.3 Grafica de valores promedio de Velocidad Ultrasonica.

Disminuyendo 10% de cemento

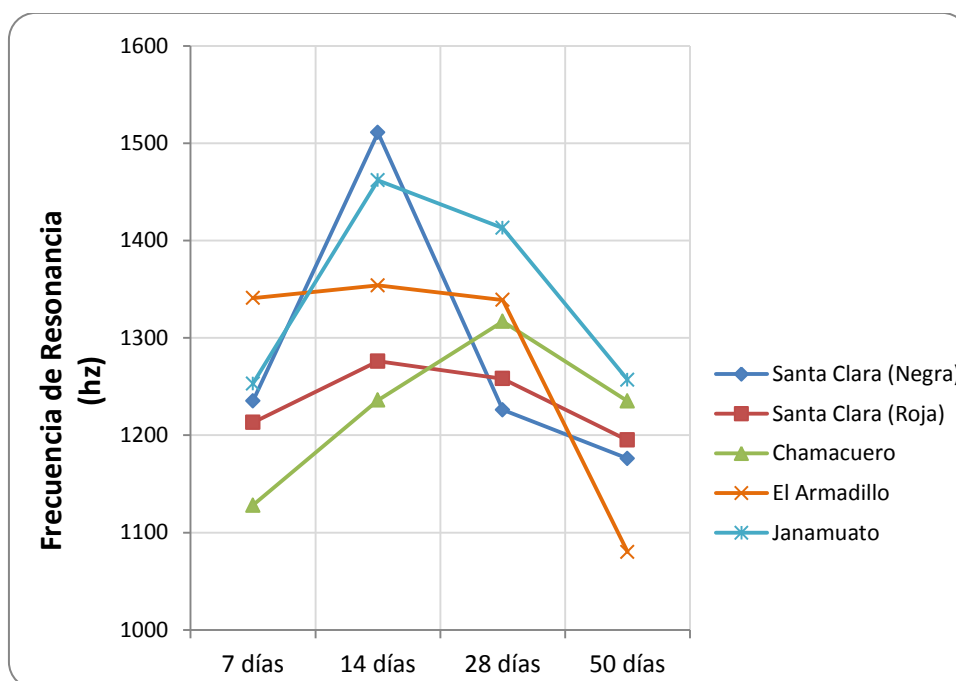


Figura 7.4 Grafica de valores promedio de Resonancia Magnética.

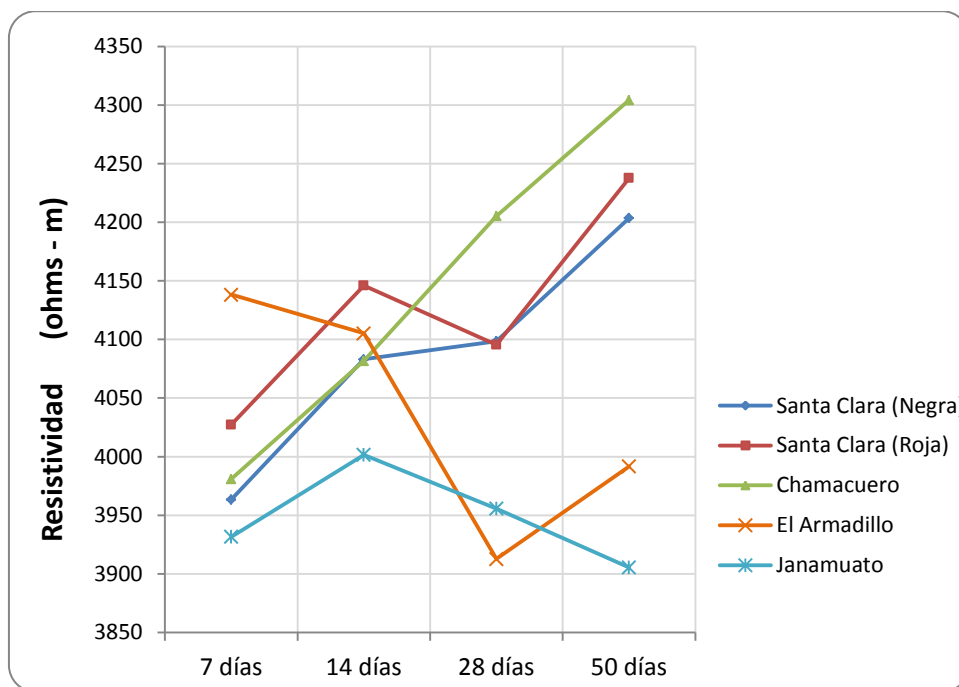


Figura 7.5 Grafica de valores promedio de Resistividad.

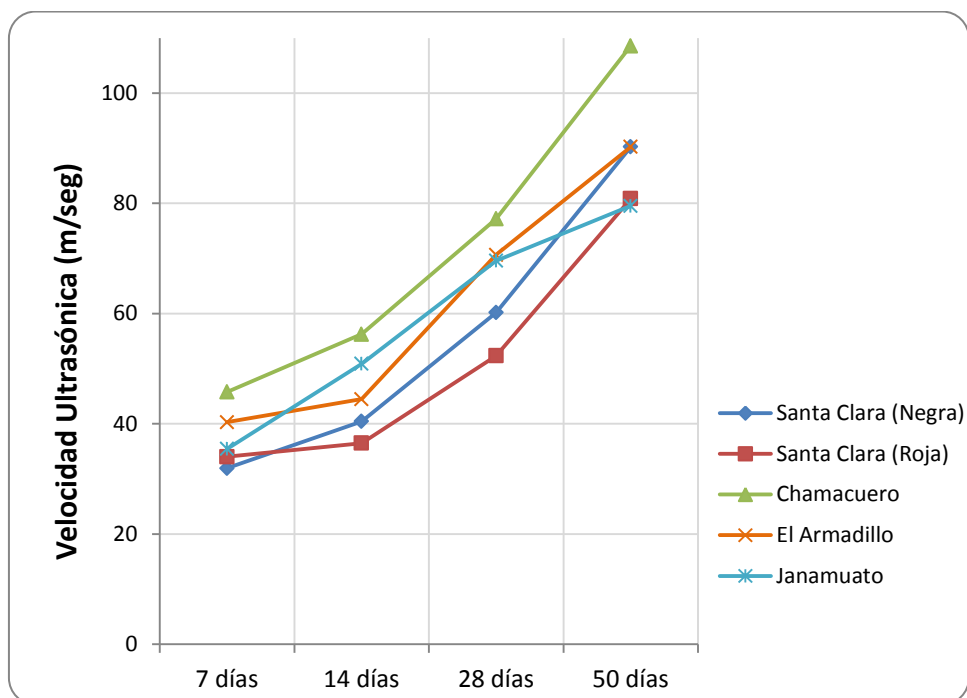


Figura 7.6 Grafica de valores promedio de Velocidad Ultrasonica.

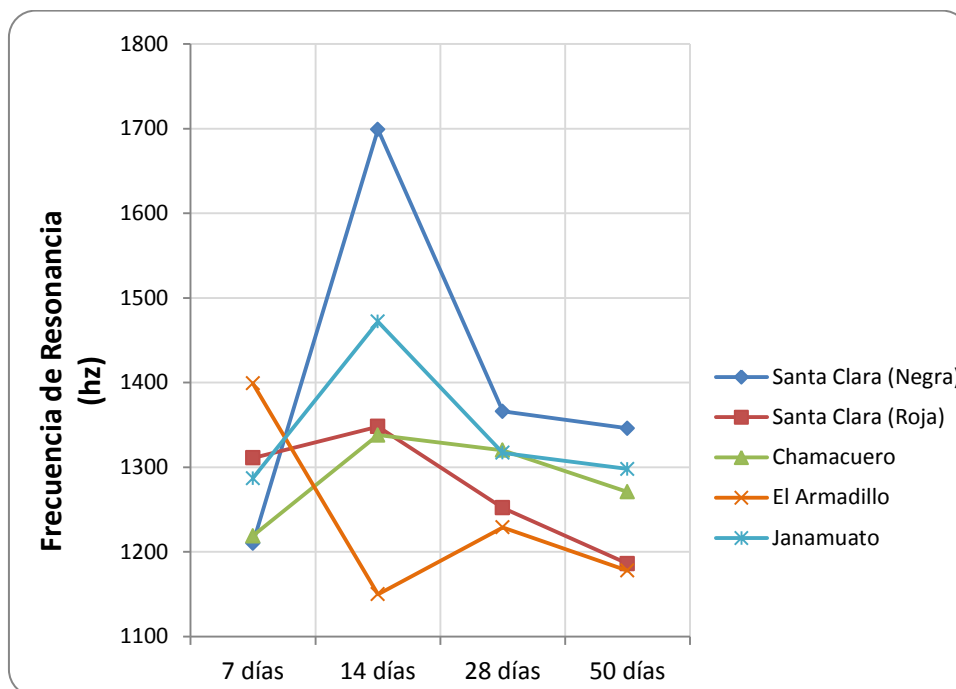
Rel. G/A = 1.8

Figura 7.7 Grafica de valores promedio de Resonancia Magnética.

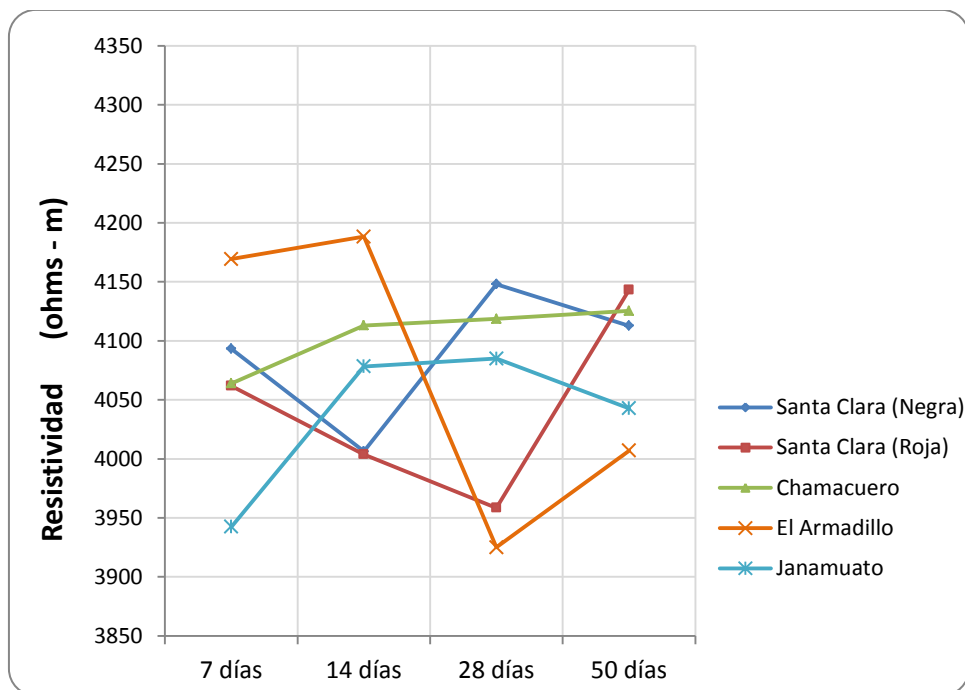


Figura 7.8 Grafica de valores promedio de Resistividad.

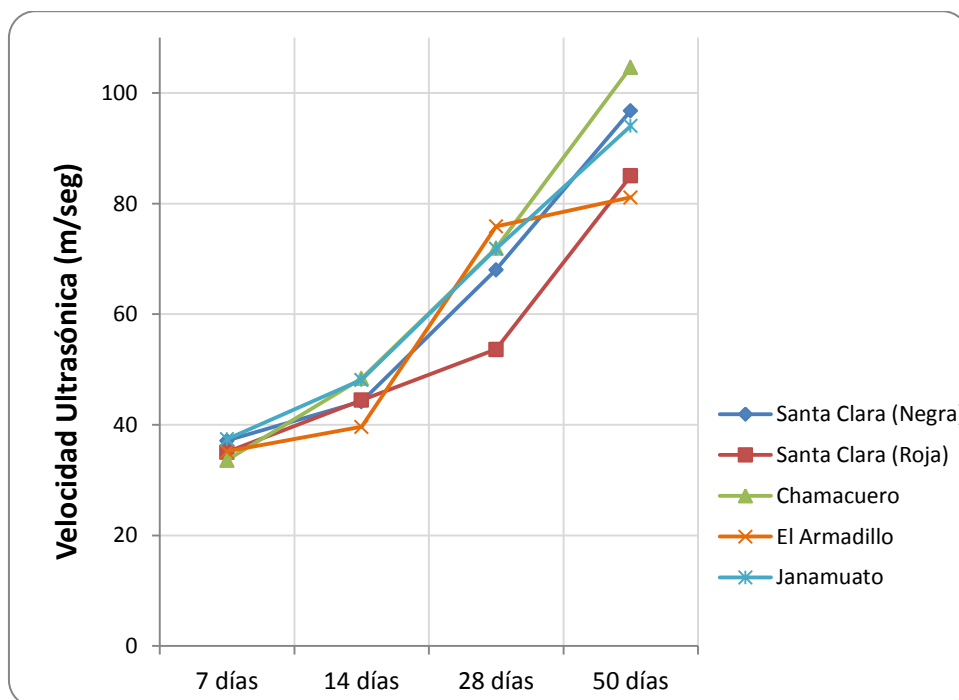


Figura 7.9 Grafica de valores promedio de Velocidad Ultrasónica.

Rel. $G/A = 1.4$

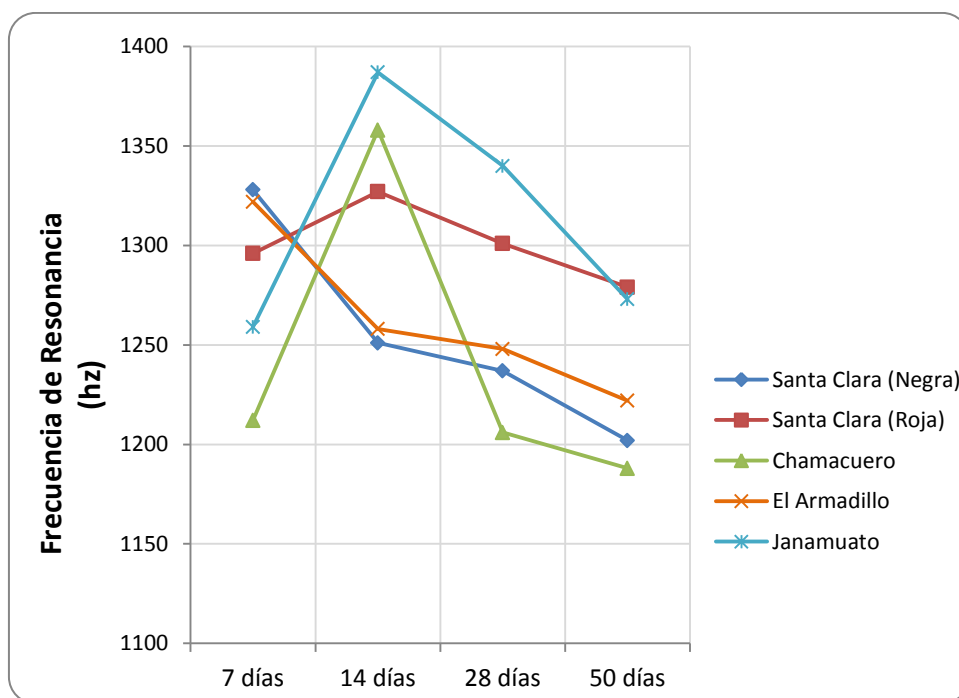


Figura 7.10 Grafica de valores promedio de Resonancia Magnética.

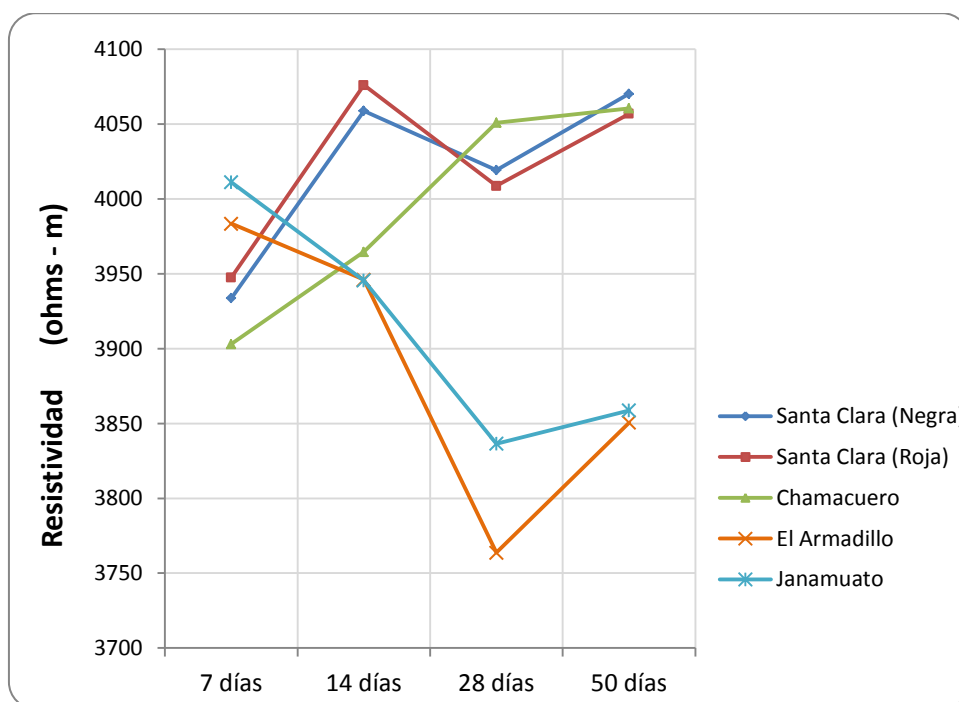


Figura 7.11 Grafica de valores promedio de Resistividad.

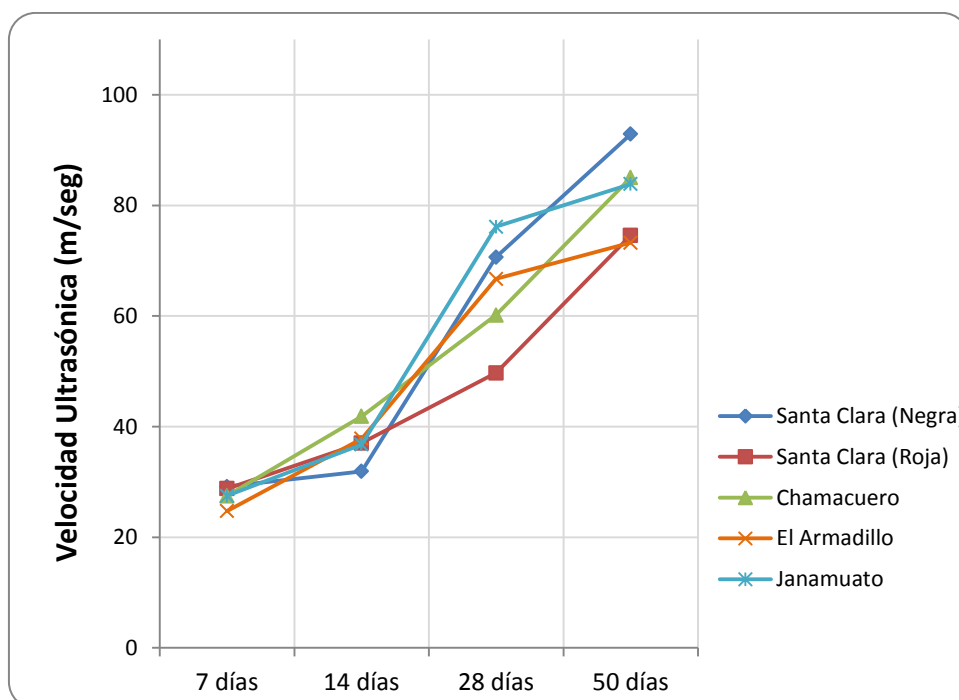


Figura 7.12 Grafica de valores promedio de Velocidad Ultrasonica.

7.4 Graficas de resistencia a compresión de la primera etapa (diferentes mezclas)

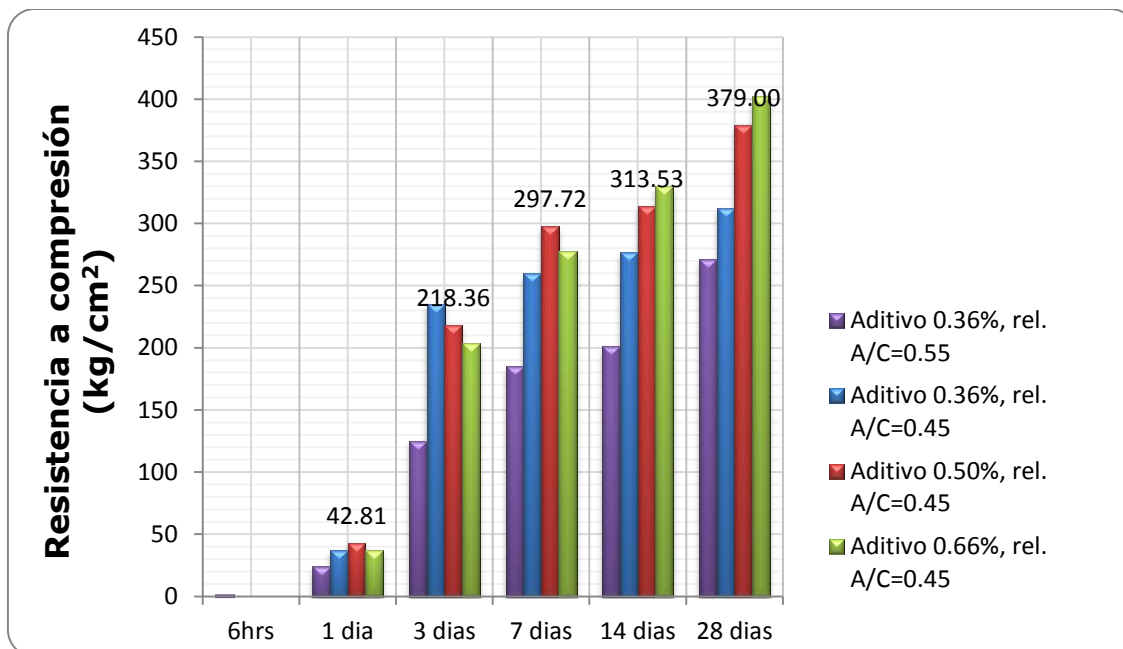


Figura 7.13. Resultados de resistencia a compresión para las 4 diferentes experimentaciones previas (primera etapa).

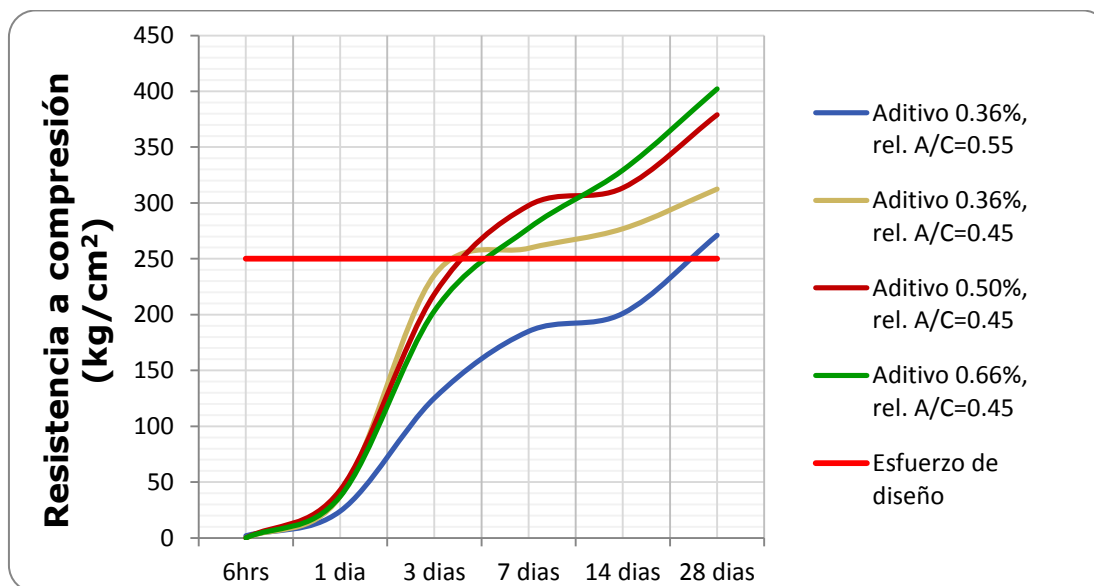


Figura 7.14. Resultados de resistencia a compresión para las 4 diferentes experimentaciones, comparados contra el esfuerzo de diseño.

Como se observa en la figura 7.1 todas las mezclas previas para experimentación cumplieron con el esfuerzo de diseño el cual es de 250 kg/cm^2 , pero anteriormente se mencionó el motivo de selección.

Se tomó la decisión de seleccionar la mezcla realizada con un 50% de aditivo y una relación agua/cemento de 0.45 puesto que cumplía con las características esperadas para poder continuar con la experimentación, las cuales son un buen revenimiento considerando concreto premezclado, que originalmente se diseñó para 12cm, y esta mezcla seleccionada presentó un revenimiento de 13cm. El esfuerzo que se presentó a los 28 días fue de 379 kg/cm^2 lo cual equivale a un 51.6% más de esfuerzo, y con esto permitía hacer manipulaciones a lo proporcionamientos, que se muestran en el subcapítulo siguiente.

7.5 Resistencia a compresión de la segunda etapa

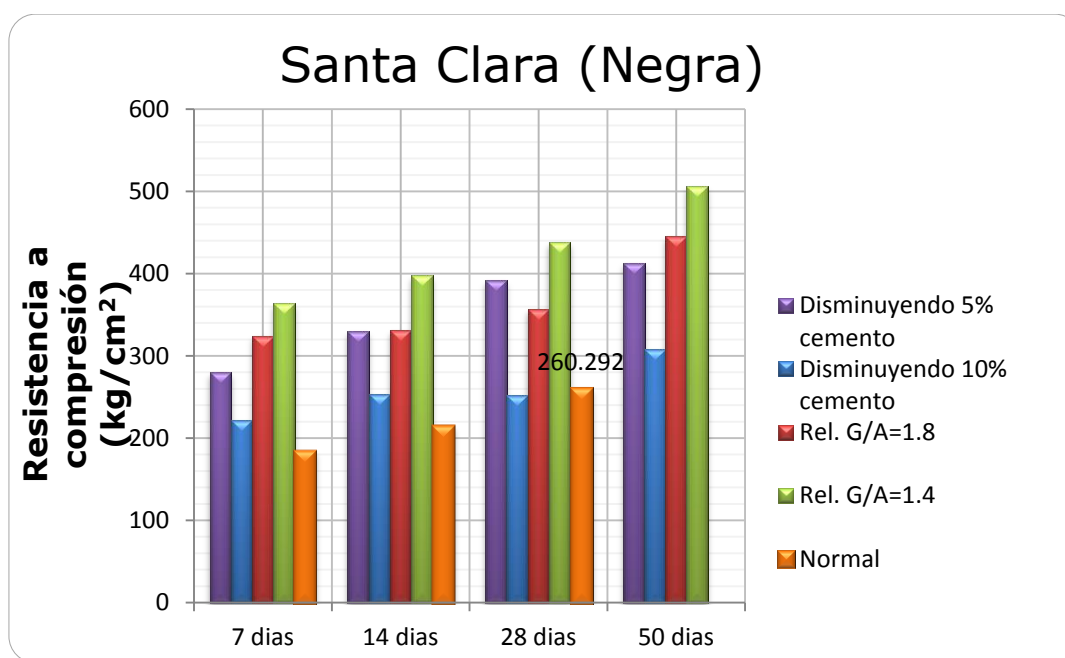


Figura 7.15. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con arena Santa Clara (Negra) con respecto a una mezcla normal (ACI).

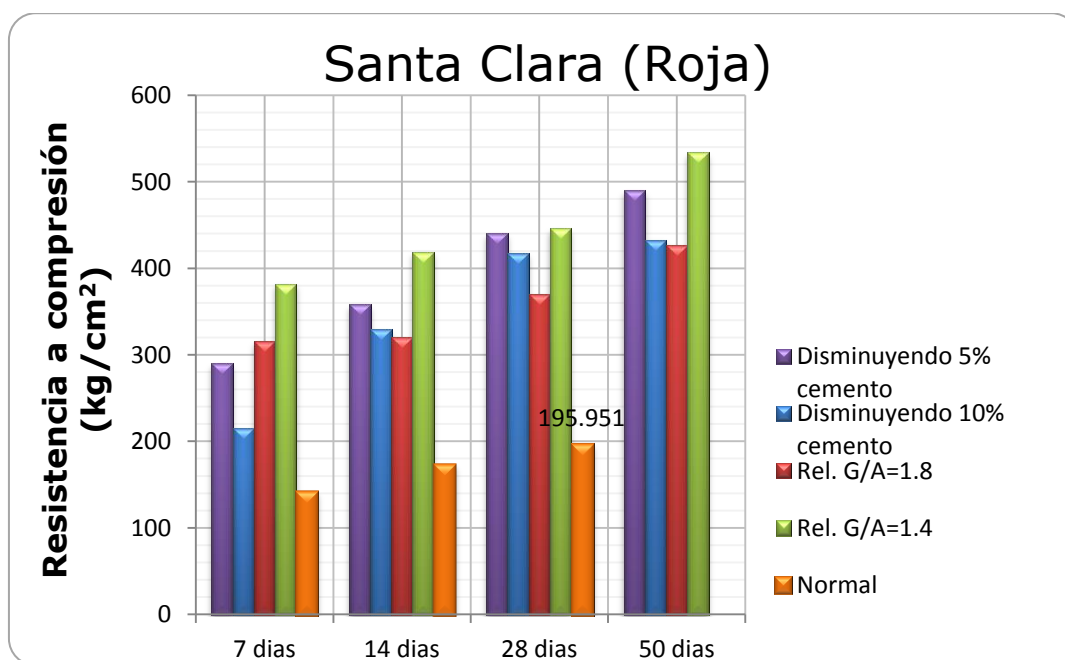


Figura 7.16. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con arena Santa Clara (Roja) con respecto a una mezcla normal (ACI).

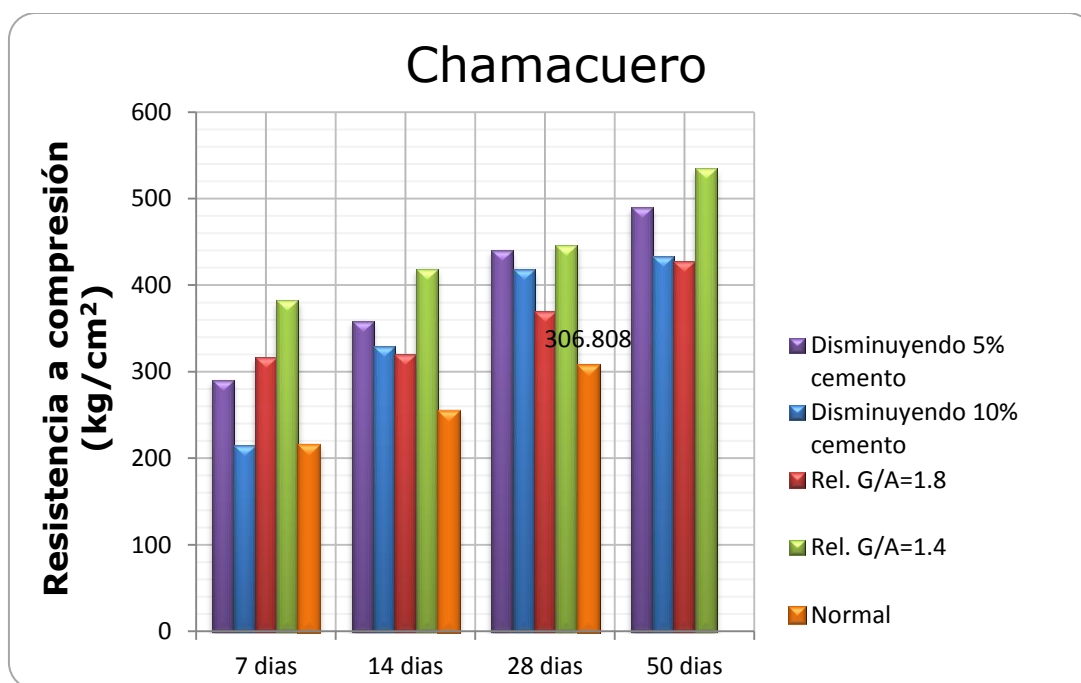


Figura 7.17. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con arena Chamacuero con respecto a una mezcla normal (ACI).

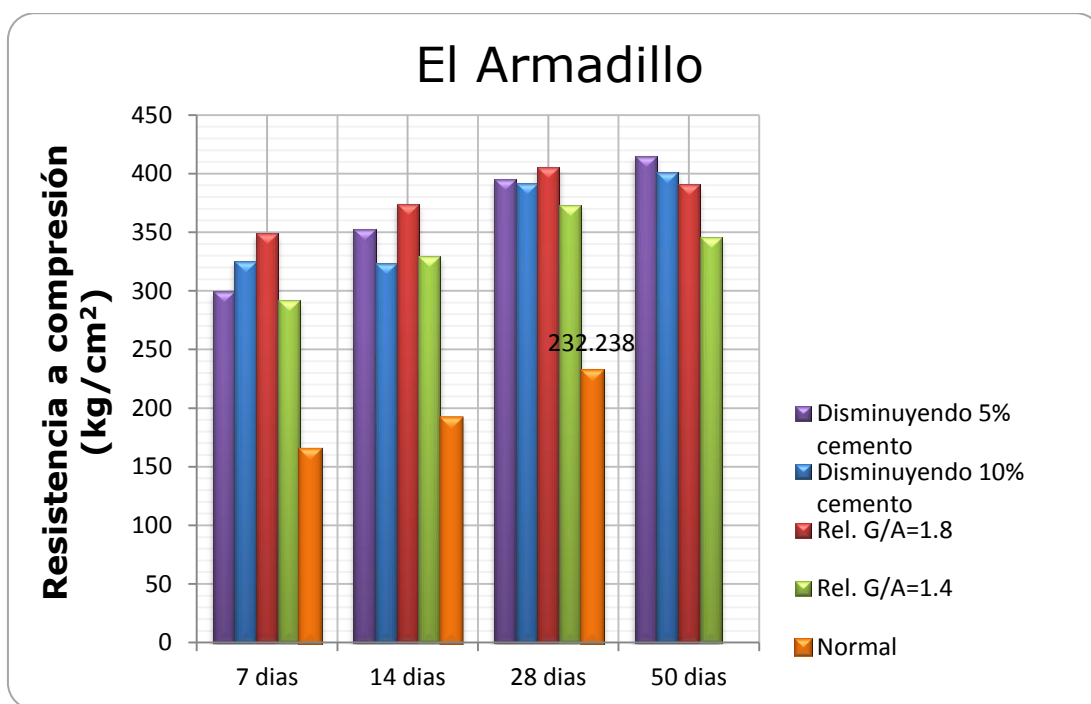


Figura 7.18. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con arena El Armadillo con respecto a una mezcla normal (ACI).

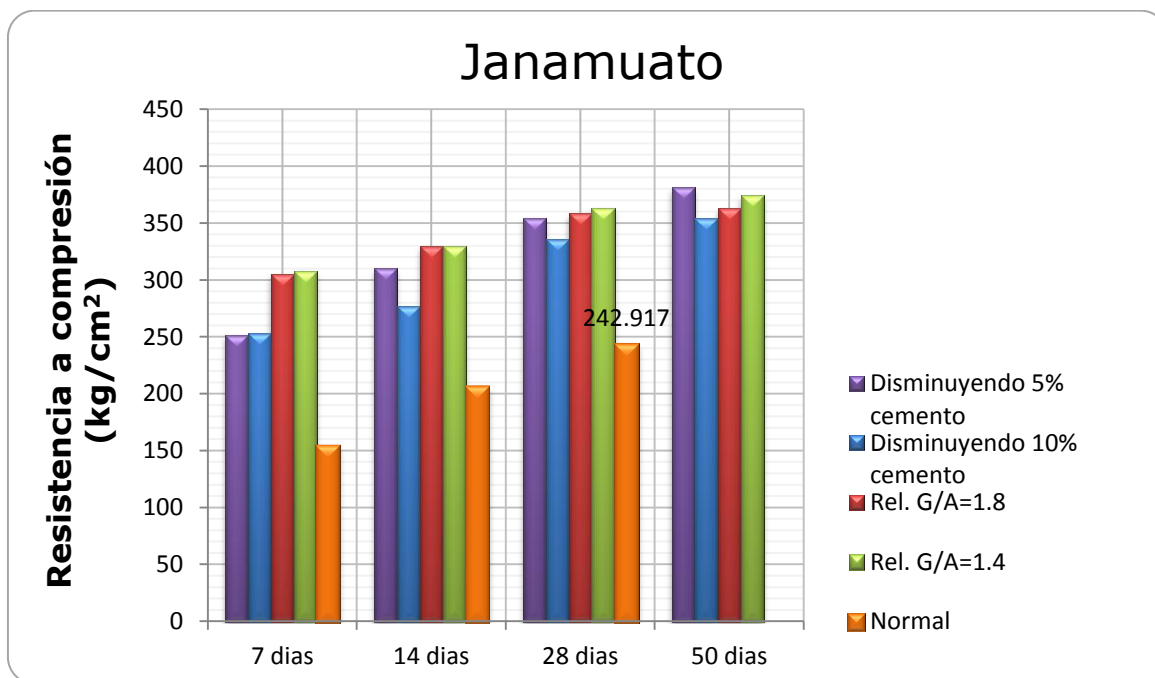


Figura 7.19. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con arena Janamuato con respecto a una mezcla normal (ACI).

Comparación de resistencias disminuyendo 10% cemento (kg/cm ²)					
Arena	7 días	14 días	28 días		50 días
			(kg/cm ²)	% resistencia	
Santa Clara (Negra)	279.5	330.2	392.0	156.81	412.8
Santa Clara (Roja)	248.5	268.3	329.0	131.60	338.0
Chamacuero	290.3	358.7	440.2	176.08	490.2
El Armadillo	299.6	352.8	395.2	158.07	415.1
Janamuato	251.72	310.29	354.52	141.81	381.19

Tabla 7.24. Resistencias a compresión disminuyendo 5% de cemento.

Comparación de resistencias disminuyendo 10% cemento (kg/cm ²)					
Arena	7 días	14 días	28 días		50 días
			(kg/cm ²)	% resistencia	
Santa Clara (Negra)	221.8	252.7	251.5	100.60	308.0
Santa Clara (Roja)	200.9	239.5	282.2	112.88	315.6
Chamacuero	215.2	329.3	418.1	167.23	432.9
El Armadillo	325.7	323.7	391.9	156.76	401.7
Janamuato	252.73	276.86	335.46	134.19	353.92

Tabla 7.25. Resistencias a compresión disminuyendo 10% de cemento.

Comparación de resistencias con Rel. G/A = 1.8 (kg/cm ²)					
Arena	7 días	14 días	28 días		50 días
			(kg/cm ²)	% resistencia	
Santa Clara (Negra)	324.2	331.0	356.3	142.50	445.7
Santa Clara (Roja)	290.8	298.4	327.0	130.80	341.8
Chamacuero	316.1	320.3	370.1	148.05	426.9
El Armadillo	349.1	374.2	405.3	162.13	390.8
Janamuato	305.17	329.70	358.46	143.38	362.61

Tabla 7.26. Resistencias a compresión bajando la Rel. G/A = 1.8.

Comparación de resistencias con Rel. G/A = 1.4 (kg/cm ²)					
Arena	7 días	14 días	28 días		50 días
			(kg/cm ²)	% resistencia	
Santa Clara (Negra)	363.5	397.3	437.6	175.03	506.0
Santa Clara (Roja)	329.5	347.4	372.5	148.99	398.1
Chamacuero	382.1	418.9	445.9	178.37	534.4
El Armadillo	291.9	329.9	373.3	149.31	346.3
Janamuato	307.86	329.69	363.35	145.34	374.44

Tabla 7.27. Resistencias a compresión bajando la Rel. G/A = 1.4.

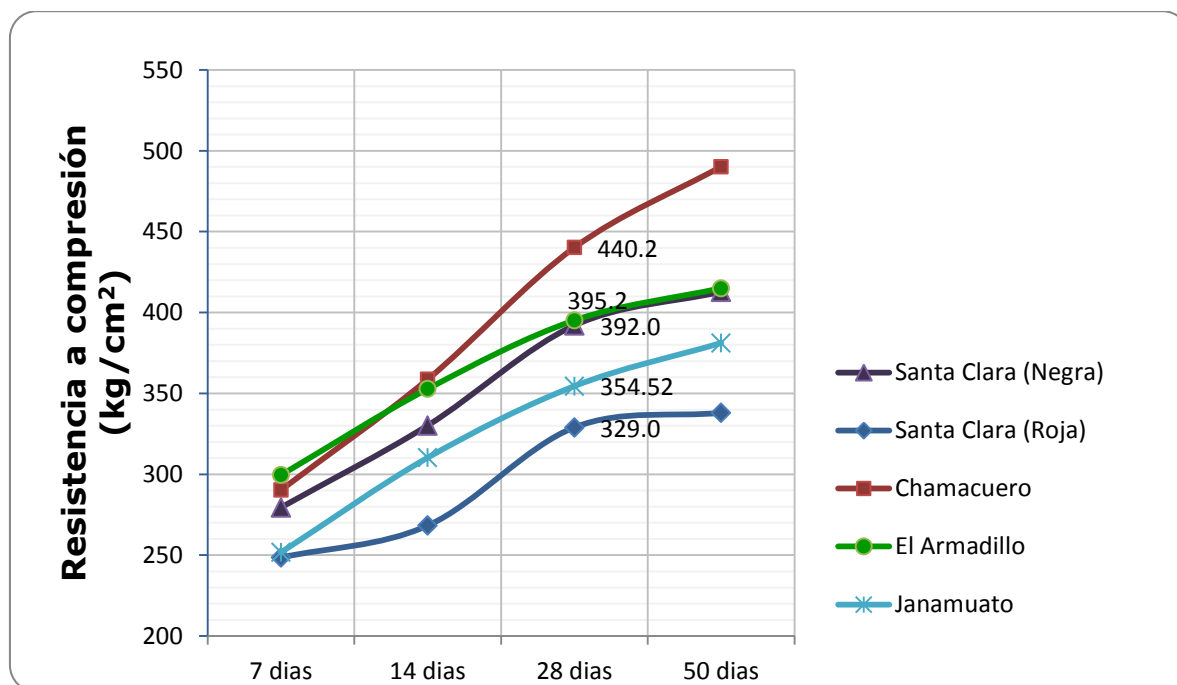


Figura 7.20. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con diferentes arenas, disminuyendo 5% de cemento.

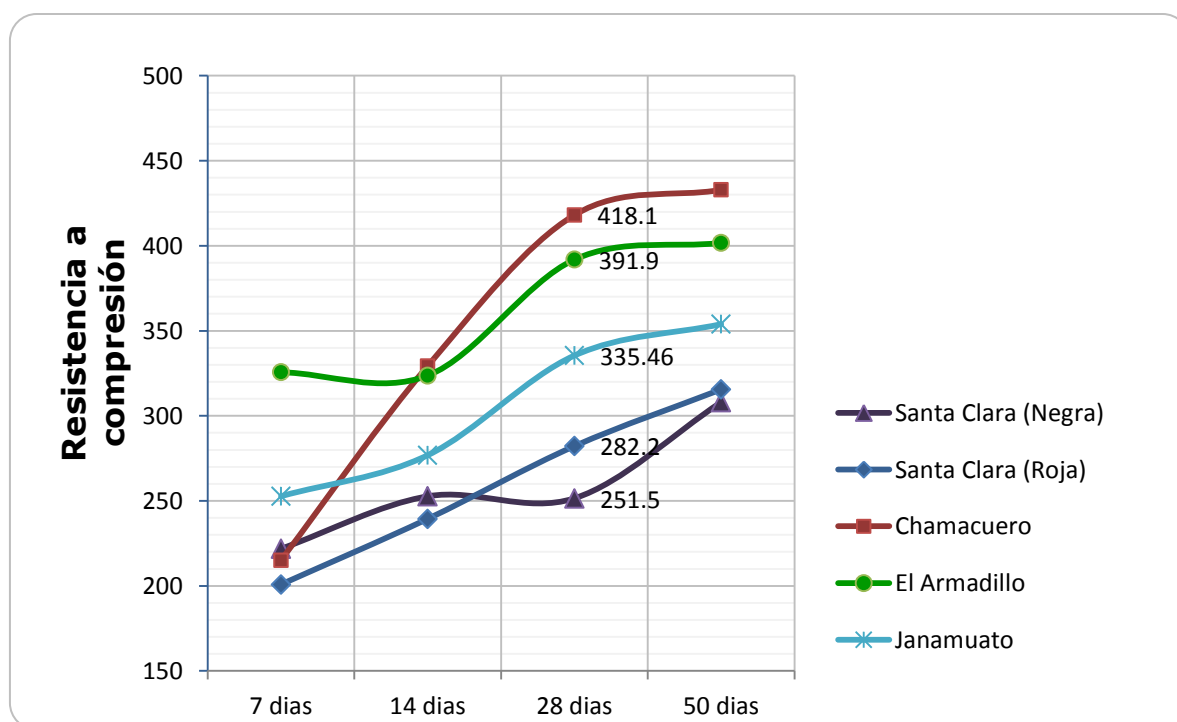


Figura 7.21. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con diferentes arenas, disminuyendo 10% de cemento.

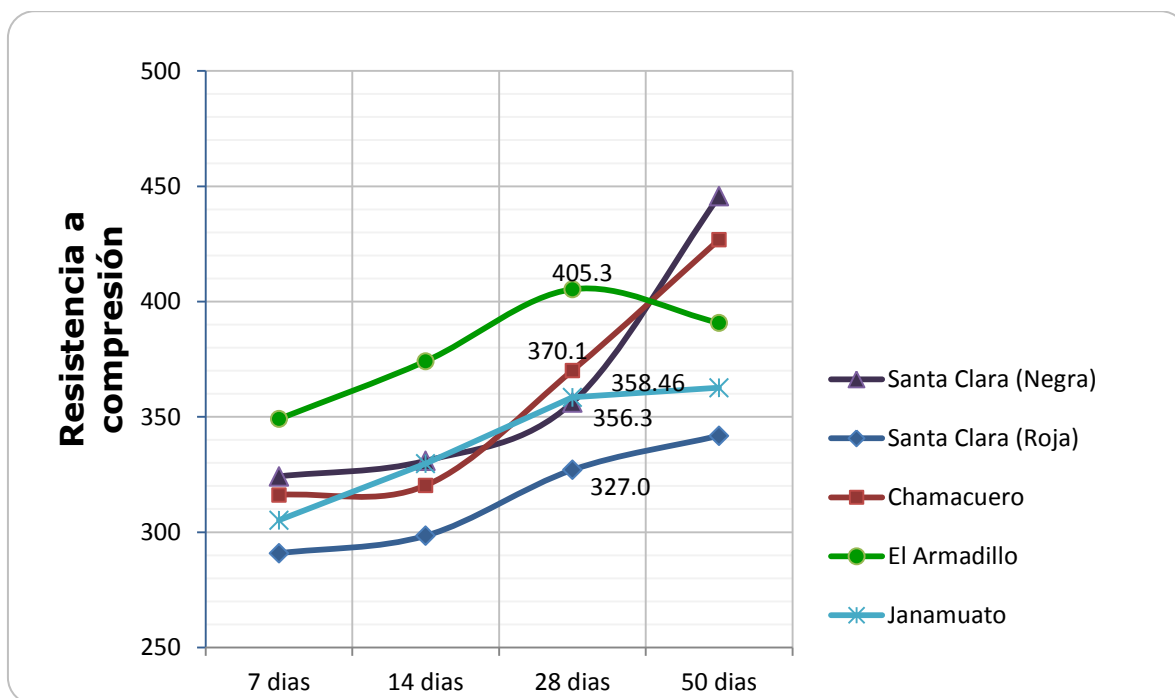


Figura 7.22. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con diferentes arenas, bajando la relación grava/arena a 1.8.

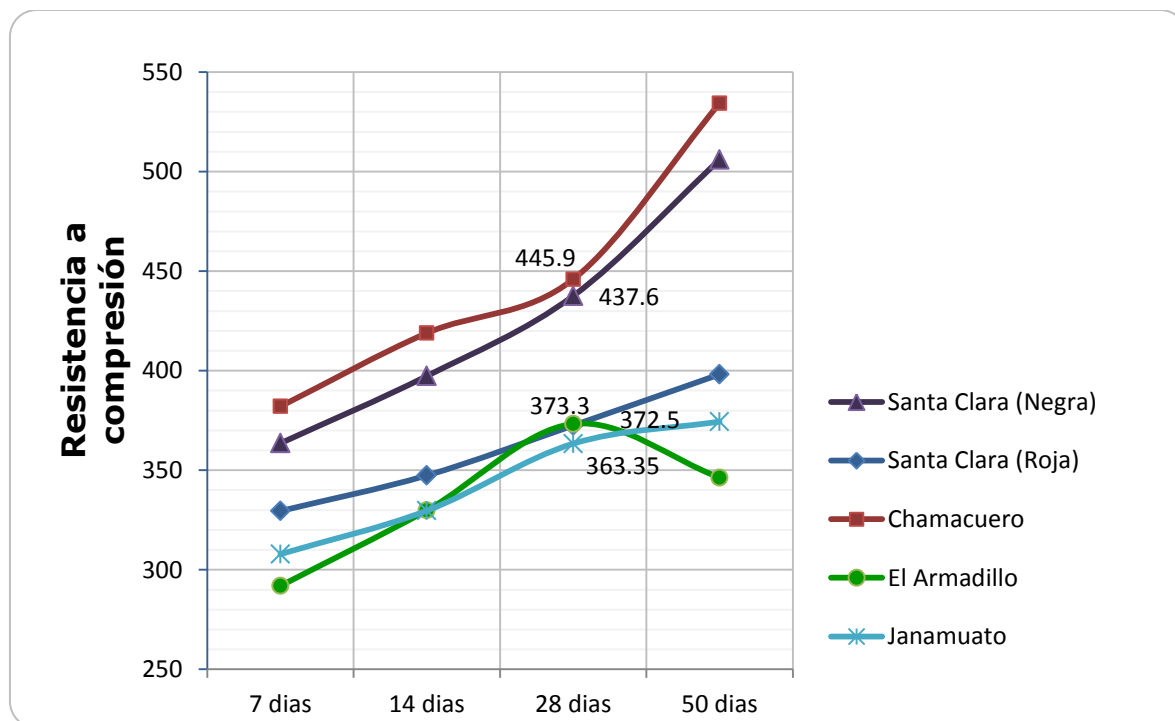


Figura 7.23. Comparación de resistencias a compresión en cilindros con diferentes arenas, bajando la relación grava/arena a 1.4.

7.6 Resistencia a tensión por flexión del concreto (vigas)

Módulo de Ruptura arena Santa Clara (Negra)					
Disminuyendo 5% cemento					
Edades (días)	Ancho promedio (cm)	Peralte promedio (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)
14	15	15	60	2543.33	45.21
28	15	15	60	3003.33	53.39
Disminuyendo 10% cemento					
14	15	15	60	2380	42.31
28	15	15	60	2570	45.69
Bajando la rel. G/A=1.8					
14	15	15	60	3056.67	54.34
28	15	15	60	3230	57.42
Bajando la rel. G/A=1.4					
14	15	15	60	2760	49.07
28	15	15	60	2806.67	49.90

Tabla 7.28. Resumen de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto para las diferentes mezclas con la arena Santa Clara (Negra).

Módulo de Ruptura arena Santa Clara (Roja)					
Disminuyendo 5% cemento					
Edades (días)	Ancho promedio (cm)	Peralte promedio (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)
14	15	15	60	2003.33	35.61
28	15	15	60	2683.33	47.70
Disminuyendo 10% cemento					
14	15	15	60	1853.33	32.95
28	15	15	60	2056.67	36.56
Bajando la rel. G/A=1.8					
14	15	15	60	2370	42.13
28	15	15	60	2586.67	45.99
Bajando la rel. G/A=1.4					
14	15	15	60	2586.67	45.99
28	15	15	60	2740	48.71

Tabla 7.29. Resumen de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto para las diferentes mezclas con la arena Santa Clara (Roja).

Módulo de Ruptura arena Chamacuero					
Disminuyendo 5% cemento					
Edades (días)	Ancho promedio (cm)	Peralte promedio (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)
14	15	15	60	2896.67	51.50
28	15	15	60	3993.33	70.99
Disminuyendo 10% cemento					
14	15	15	60	3260	57.96
28	15	15	60	3270	58.13
Bajando la rel. G/A=1.8					
14	15	15	60	2883.33	51.26
28	15	15	60	3370	59.91
Bajando la rel. G/A=1.4					
14	15	15	60	3566.67	63.41
28	15	15	60	3453.33	61.39

Tabla 7.30. Resumen de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto para las diferentes mezclas con la arena Chamacuero.

Módulo de Ruptura arena El Armadillo					
Disminuyendo 5% cemento					
Edades (días)	Ancho promedio (cm)	Peralte promedio (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)
14	15	15	60	3276.67	58.25
28	15	15	60	3583.33	63.70
Disminuyendo 10% cemento					
14	15	15	60	2584.67	45.95
28	15	15	60	3230	57.42
Bajando la rel. G/A=1.8					
14	15	15	60	3146.67	55.94
28	15	15	60	4046.67	71.94
Bajando la rel. G/A=1.4					
14	15	15	60	3493.33	62.10
28	15	15	60	3546.67	63.05

Tabla 7.31. Resumen de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto para las diferentes mezclas con la arena El Armadillo.

Módulo de Ruptura arena Janamuato					
Disminuyendo 5% cemento					
Edades (días)	Ancho promedio (cm)	Peralte promedio (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)
14	15	15	60	2136.67	37.99
28	15	15	60	2860	50.84
Disminuyendo 10% cemento					
14	15	15	60	2093.33	37.21
28	15	15	60	2743.33	48.77
Bajando la rel. G/A=1.8					
14	15	15	60	2326.67	41.36
28	15	15	60	2916.67	51.85
Bajando la rel. G/A=1.4					
14	15	15	60	2283.33	40.59
28	15	15	60	3016.67	53.63

Tabla 7.32. Resumen de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto para las diferentes mezclas con la arena Janamuato.

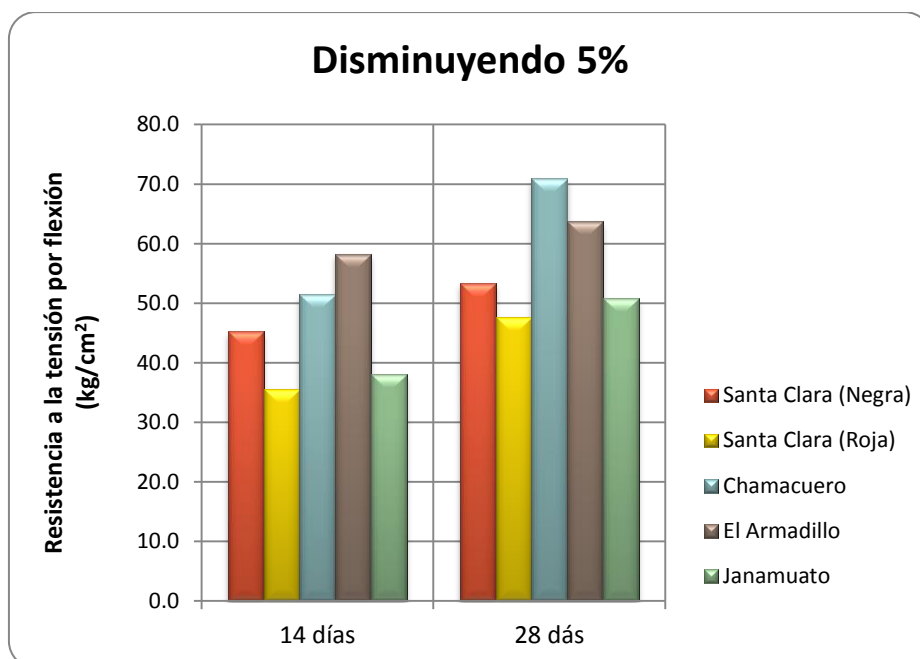


Figura 7.24. Comparación de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto con diferentes arenas, disminuyendo 5% de cemento.

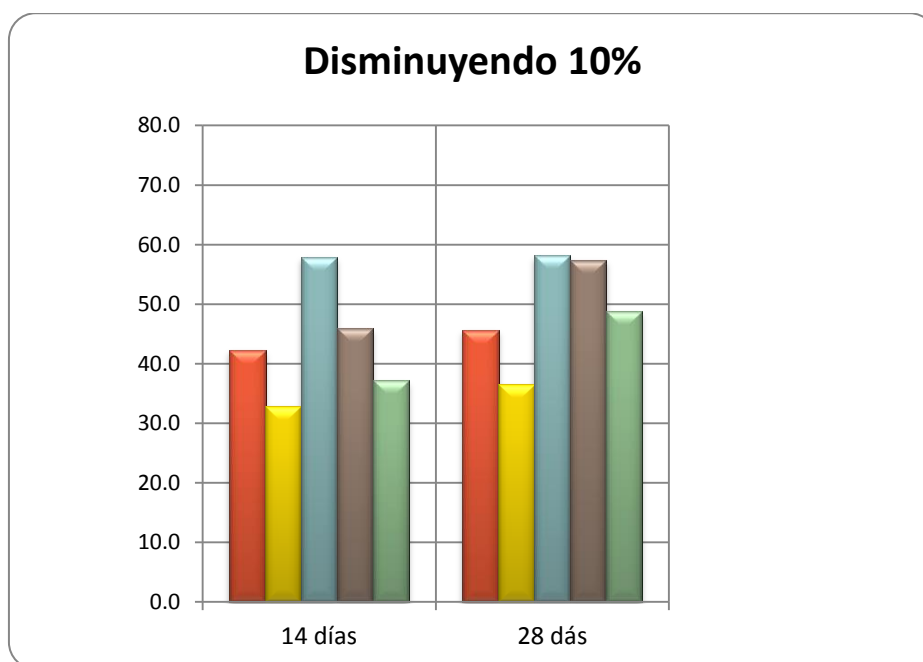


Figura 7.25. Comparación de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto con diferentes arenas, disminuyendo 10% de cemento.

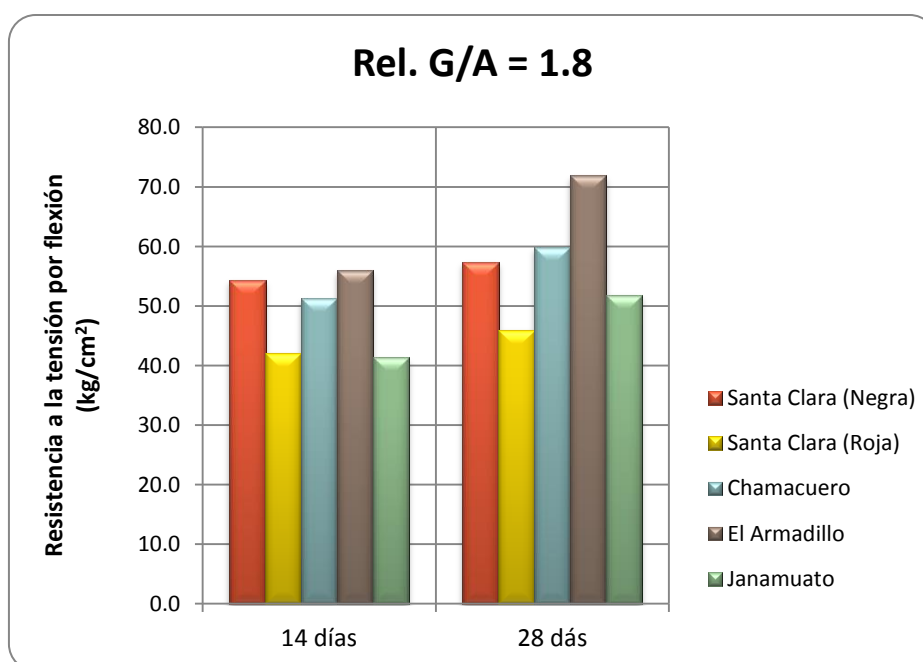


Figura 7.26. Comparación de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto con diferentes arenas, con relación grava/arena de 1.8.

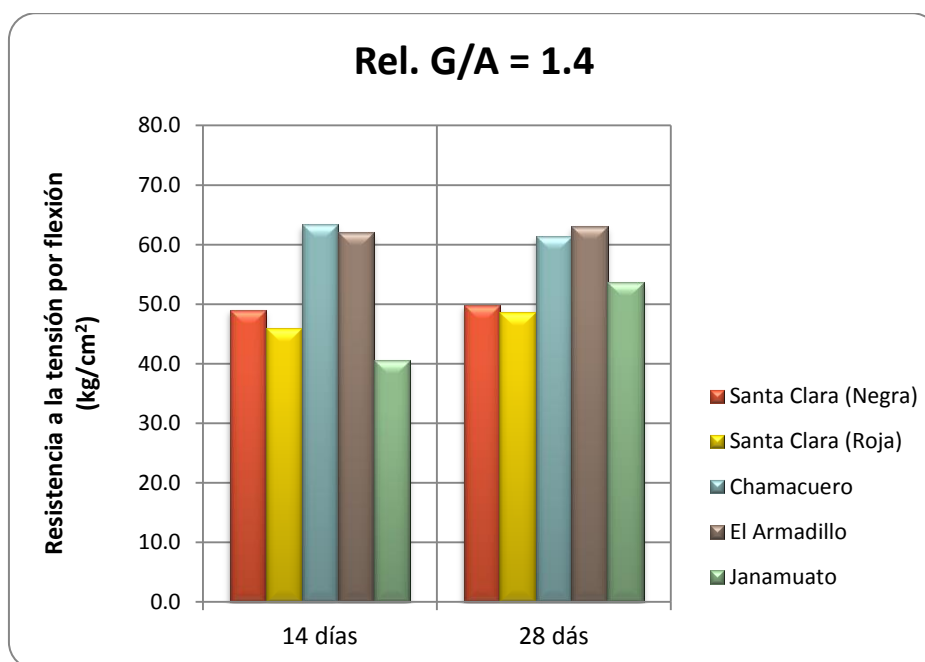


Figura 7.27. Comparación de resistencias a tensión por flexión en vigas de concreto con diferentes arenas, con relación grava/arena de 1.8.

CAPITULO 8. Discusión de los Resultados.

El objetivo principal de esta investigación fue hacer una evaluación y comparación del desempeño de un aditivo antiaglomerante en las propiedades tanto física, química y mecánica de concreto premezclado elaborado con 5 arenas provenientes de la región del municipio de Puruándiro, Michoacán.

Estas arenas se obtuvieron directamente de los bancos de material antes mencionados, conservando las características propias del sitio.

De igual manera la grava se extrajo del banco de material “Tlazazalca” del municipio de Tlazazalca, Michoacán. Se optó por utilizar esta grava puesto que presenta características adecuadas para fabricar concretos fuertes y durables, es una grava triturada lo cual presenta más dureza de sus partículas, mayor densidad y menor absorción, esto comparado con las características que presentan las gravas volcánicas, lo cual la hace un muy buen agregado grueso para la elaboración de concreto.

Haciendo una comparación de los resultados obtenidos para las arenas en cuanto a sus propiedades físicas, se observa que en cuanto a **Absorción**, la arena que arrojó mejores resultados fue la muestra de “Chamacuero” con un 3.18%; contrariamente la muestra de “Santa Clara (Roja)” arrojó un resultado de 9.32%. En cuanto a **Densidad**, nuevamente la arena “Chamacuero” arrojó el mejor resultado siendo este de 2.48 gr/cm^3 y con la menor densidad se tiene la muestra de “Janamuato” con 2.23 gr/cm^3 .

Tomando en cuenta únicamente estos resultados anteriores nos podemos dar una idea de la calidad de los materiales. Por ejemplo, una muestra con absorción baja y con densidad alta, nos indica materiales muy consistentes, con partículas más densas y duras, con menor grado de alteración y estos resultados son los que se buscan. Por tanto, una muestra con resultados bajos de absorción y alta densidad es un muy buen candidato para fabricar concretos resistentes.

En cuanto a **colorimetría** todas las arenas están dentro de lo óptimo. Se buscan materiales que no contengan finos solubles o materia orgánica, ya que esta

reduce las propiedades mecánicas del concreto terminado, inclusive dentro de esta materia orgánica puede haber materiales minerales que reaccionen negativamente con el acero de refuerzo, y esto se busca prevenir con esta prueba. Todas las muestras cumplieron en cuanto a ausencia de materia orgánica, lo cual nos permitió seguir evaluando sus propiedades y seguir con la investigación.

Para la elaboración de las mezclas de concreto siempre se utilizó una revolvedora eléctrica con capacidad para un bulto de cemento y el agua utilizada fue agua potable proveniente de la red municipal, manteniendo condiciones de laboratorio y evitando contaminar el concreto con otras aguas de procedencia desconocida. Se hicieron proporcionamientos base con el método del ACI (American Concrete Institute) y con estos se procedió a la experimentación con las mezclas.

Anteriormente se mencionó que la experimentación se dividió en dos etapas: la primera etapa consistió en hacer diferentes mezclas a las cuales se le variaron tanto la cantidad de aditivo como la relación agua/cemento, y después de ser evaluados a compresión determinar que mezcla se comportó de mejor manera. En el capítulo anterior se explicó detalladamente este proceso, dando como mejor resultado la mezcla elaborada con un 0.50% de aditivo y una Relación A/C=0.45.

En estas variaciones se buscaba que el concreto tuviera una buena consistencia (unión entre las partículas gruesas y finas con la pasta de cemento), cuidando el revenimiento que estuviera entre las 12cm (diseño) o más, esto para cuidar y mantener un margen y poder seguir experimentando las mezclas en la siguiente etapa.

	Revenimiento (cm)	Observaciones	Compresión 28 días (kg/cm ²)
Aditivo: 0.36% Rel. A/C=0.55	19.5	Por su alto revenimiento no había buena unión entre las partículas y la pasta (fig. 8.1). Resistencias bajas.	271.09
Aditivo: 0.36% Rel. A/C=0.45	9	El revenimiento no cumple para seguir la experimentación.	312.47
Aditivo: 0.50% Rel. A/C=0.45	13	A pesar de que era una mezcla relativamente fluida, era una mezcla con mucho material grueso. Resistencia buena.	379.0
Aditivo: 0.66% Rel. A/C=0.45	14.5	Mucho material grueso, mezcla fluida (propiedad del aditivo) pero muy dura*.	402.19

Tabla 8.1. Resumen primera etapa.



Figura 8.1. Ausencia de unión entre partículas.

*El termino duro se menciona de esa manera puesto que el aditivo tiene la propiedad de superplastificante lo cual hacia la mezcla fluida y esto se refleja en los revenimientos, pero en cambio las mezclas son difícil de manipular y esto se notaba a la hora de colar los especímenes, y al ser desmoldados presentaban muchos huecos (aire atrapado) producto de lo difícil de ser manipulada.

En la Figura 8.1 se observa por un lado el agregado grueso y por otro la pasa, y este fue un motivo para descartar de seguir experimentando con mezclas con 0.36% de aditivo y Rel. A/C=0.55.

Los resultados de la mezcla seleccionada nos daban márgenes para seguir manipulándola, y ese fue el motivo de selección.

Una vez seleccionada la mezcla adecuada para seguir la experimentación se procedió con la segunda etapa que consistió en hacer disminuciones en la cantidad de cemento (5% y 10%) y bajando las relaciones grava/arena (a 1.8 y 1.4).

CAPITULO 9. 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), presenta 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.), presenta 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.

CAPITULO 9. Referencias Bibliográficas.

- [1] <http://www.profesorenlinea.cl/geografiagr/Geosfera.htm> (visitada: Abril del 2013)
- [2] http://es.wikipedia.org/wiki/Roca_ígne (visitada: Abril del 2013)
- [3] https://es.wikipedia.org/wiki/Roca_sedimentaria (visitada: Abril del 2013)
- [4] http://es.wikipedia.org/wiki/Roca_metamórfica (visitada: Abril del 2013)
- [5] <http://www.uclm.es> (visitada: Abril del 2013)
- [6] H.Kosmatka, S. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association.
- [7] Braja M. Das., 2001, “Fundamentos de Ingeniería geotécnica”, Editorial THOMSON LEARNING.
- [8] <https://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>
- [9] Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Maestría en Ingeniería Cerámica. Curso de Cementos.
- [10] Norma Mexicana NMX-C-414-2005-ONNCCE. Industria de la construcción - cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba.
- [11] Norma Mexicana NMX-C-122-1982 Industria de la Construcción. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial - agua para concreto.
- [12] Manual de Prácticas del Laboratorio de Concreto. “Análisis de materiales”. Segunda edición. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- [13] Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Unidad de Microrregiones <http://www.microrregiones.gob.mx>
- [14] Norma Mexicana NMX-C-156-ONNCCE-2010. Industria de la construcción. Concreto Hidráulico. Determinación del revenimiento en el concreto fresco.
- [15] Norma Mexicana NMX-C-159-ONNCCE-2004. Industria de la construcción. Concreto Hidráulico. Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.

- [16] ASTM C1231/C1231M-00e1 Normativa para el uso de capas no adheridas en la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido.
- [17] Diseño de Mezclas de Concreto Método del ACI.
- [18] Gobierno del estado de Michoacán, Secretaria de planeación y desarrollo estatal, (2006) Carpeta municipal de Puruándiro.
- [19] Whitehurst, E. A., 1966, Evaluation of Concrete Properties from Sonic Test, ACI Monograph 2, American Concrete Institute, Detroit, MI, p. 94.
- [20] Malhotra V. M., 1985, Nondestructive methods for testing concrete, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.