



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**TEMA: Caracterización del Concreto Hidráulico con Emulsión
a Base de Poliestireno**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA CIVIL**

**PRESENTA:
PIC. MAYBELIN CAROLINA GARCÍA CHIQUITO**

**ASESOR:
DR. HUGO LUIS CHAVEZ GARCÍA**

**COASESORES:
ING. ARTURO ZALAPA DAMIÁN
ING. ELIZABETH CONTRERAS MARIN
ING. RAMÓN ANTÓNIO FIGUEROA CARRANZA**

Morelia Michoacán, diciembre de 2015

Contenido

INDICE DE ILUSTRACIONES	5
INDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
Introducción	9
1 MARCO TEORICO	10
1.1 CONCRETO	10
1.1.1 Reseña Histórica	10
1.2 CONCRETO REFORZADO	12
1.2.1 Concreto pre-esforzado	13
1.3 CEMENTO	14
1.3.1 Manufactura del cemento Portland	15
1.3.2 Composición química	18
1.3.3 Hidratación del cemento	19
1.3.4 Tipos de cemento	21
1.4 AGREGADO PETREO	23
1.4.1 Agregado Natural	24
1.4.1.1 Propiedades Químicas	28
1.4.1.2 Propiedades Físicas	28
1.4.1.3 Propiedades mecánicas	29
1.4.1.4 Masa específica relativa	30
1.4.1.5 Masa Volumétrica	31
1.4.1.6 Absorción	31
1.4.1.7 Densidad	32
1.5 AGUA	33
1.6 ADITIVOS	36

1.6.1 Concepto de Aditivo y sus funciones	36
1.6.2 Funciones de los aditivos	36
1.6.3 Tipos de aditivos	37
1.6.4 Emulsiones	39
1.6.5 Fluidificante	39
1.7 EMULSIÓN FABRICADA A PARTIR DE POLIESTIRENO EXPANDIDO DE REÚSO.	40
1.7.1 Definición	40
1.7.2 Antecedente	40
1.7.3 Poliestireno	42
1.7.3.1 Propiedades y aplicaciones	42
1.7.3.2 Resistencia química	43
1.7.4 Solventes Orgánicos	43
1.7.5 Características de la Emulsión fabricada con Poliestireno Expandido de reúso	44
1.7.5.1 Densidad	44
1.7.5.2 Viscosidad	45
1.8 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS	46
1.8.1 Velocidad de pulso Ultrasónico	46
1.8.2 Resistividad	50
1.9 PRUEBAS DESTRUCTIVAS	51
1.9.1 Resistencia a la compresión	51
1.9.1.1 Preparación y acondicionamiento de la muestra	51
1.9.2 Prueba de Point Load	52
1.10 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO	54
1.10.1 Revenimiento	54
2 METODOLOGIA	57
2.1 Caracterización de los materiales	57
2.1.1 Grava	57
2.1.2 ARENA	65
2.2 ELABORACION DE CILINDROS	68

2.2.1 Revenimiento	70
2.2.2 Fabricación de cilindros	71
2.2.3 Cabeceado de cilindros	73
2.3 Compresión	74
2.4 Resistividad	76
2.5 Velocidad de Pulso	77
3 RESULTADOS	78
3.1 Granulometría en gravas y arenas	78
3.2 Absorción	86
3.3 Densidad	86
3.4 Masa volumétrica seca suelta	87
3.5 Masa volumétrica seca varillada	87
3.6 Compresión en cilindros	88
3.7 Resistividad eléctrica	90
3.8 Velocidad de pulso ultrasónico	94
4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
4.1 Resistividad	96
4.2 Velocidad de Pulso Ultrasónico	97
5 CONCLUSIÓN	98
BIBLIOGRAFÍA	99

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIG 1.- PROCESO DE MANUFACTURA DEL CEMENTO	17
FIG 2.-DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS (RAMÍREZ, 2015)	41
FIG 3.-GENERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS (RAMÍREZ, 2015)	42
FIG 4.-MEDICIÓN DE DENSIDAD (RAMÍREZ, 2015)	44
FIG 5.-VISCOSÍMETRO BROOKFIELD DV-II+PRO. (RAMÍREZ, 2015)	45
FIG 6.-DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO DE PRUEBA DE VELOCIDAD DE PULSO (MALHOTRA & CARINO , 2004)	49
FIG 7.-CONFIGURACIONES PARA MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE PULSO, A) MÉTODO DIRECTO, B) MÉTODO SEMIDIRECTO, C) MÉTODO INDIRECTO O DE SUPERFICIE. (MALHOTRA & CARINO , 2004)	50
FIG 8.- EQUIPO DE MEDICIÓN DE DENSIDAD	62
FIG 9.-MOLDES CILINDRICOS DE 15X30	68
FIG 10.- REVOLTURA DEL AGREGADO PÉTREO	69
FIG 11.-ADICIÓN DEL CEMENTO CON LOS AGREGADOS	69
FIG 12.-REVOLTURA CON AGUA	69
FIG 13.-REVOLTURA DE LOS MATERIALES CON EL AGUA	69
FIG 14.-ADICIÓN DE LA EMULSIÓN	69
FIG 15.-ADICIÓN DEL FLUIDIFICANTE EN AGUA	69
FIG 16.-DISOLUCIÓN DEL FLUIDIFICANTE	70
FIG 17.-EMULSIÓN	70
FIG 18.-LLENADO DEL CONO	71
FIG 19.-GOLPES CON LA VARILLA PUNTA DE BALA	71
FIG 20.-ENRASE DEL CONO	71
FIG 21.-LEVANTAMIENTO DEL CONO	71
FIG 22.-MEDICIÓN DEL REVENIMIENTO	71
FIG 23.-PREPARACIÓN DE LOS MOLDES PARA CILINDROS DE 15X30	72
FIG 24.-LLENADO EN CAPAS DE LOS MOLDES	72
FIG 25.-VARRILLADO	72
FIG 26.-GOLPES CON EL MAZO	73
FIG 27.- CILINDROS YA TERMINADOS	73
FIG 28.-DECIMBRADO DESPUES DE 24 HRS.	73
FIG 29.-CABECEO DE CILINDROS	74
FIG 30.-RESULTADO DE LA COMPRESIÓN	76
FIG 31.- PRUEBA DE COMPRESIÓN	76
FIG 32.-PARÁMETROS QUE DEBE CUMPLIR LA ROCA DE ACUERDO A LA NORMA. (NAVARRETE SERAS, 2012)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIG 33.-DATOS QUE SE INTRODUCEN EN EL MANÓMETRO DIGITAL. (NAVARRETE SERAS, 2012)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIG 34.-BOTON ESC DE FONDO GRIS CON CIRCUNFERENCIA AMARILLA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.-COMPONENTES EN EL CEMENTO PORTLAN	18
TABLA 2.-FAMILIA DE ROCAS	27
TABLA 3.-CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS	38
TABLA 4.- VISCOSIDAD DE LA EMULSIÓN	45
TABLA 5 CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO SEGÚN SU VELOCIDAD ULTRASÓNICA	48
TABLA 6 FACTORES DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ	52
TABLA 7.-TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	58
TABLA 8.-LÍMITES DE GRANULOMETRÍA PARA MATERIAL FINO	65

Resumen

En la siguiente investigación se realizó para obtener las características de un concreto que cuenta con agregados naturales también adicionando Emulsión a base de Poliestireno que mejorara la trabajabilidad de concreto, disminuirá la porosidad.

Se realizan pruebas de resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico y compresión, haciendo la comparativa de los resultados obtenidos con los de la bibliografía para corroborar la calidad del concreto.

También se utilizó un aditivo fluidificante para realizar la comparación entre la fluidez de la mezcla con emulsión y este fluidificante obtenido también de estos especímenes resultados de velocidad de pulso ultrasónico, resistividad y compresión.

Palabras Clave: Emulsión, Aditivos, Concreto, Fluidificante, Velocidad de Pulso.

ABSTRACT

The following investigation was performed to obtain the characteristics of a concrete natural aggregate has also adding polystyrene-based emulsion that improves the workability of concrete, decrease porosity.

Electrical resistivity tests, ultrasonic pulse velocity and compression are performed by comparison of results with those of the literature to substantiate the quality of concrete.

A fluidizing admixture was also used for comparison between the fluidity of the mixture and the fluidizing emulsion obtained from these specimens also results ultrasonic pulse velocity, resistivity and compression.

Introducción

En la ingeniería civil constantemente se está innovando en cuanto a los materiales de construcción, con la finalidad de obtener un buen desempeño de estos y garantizar una optimización de los recursos.

Las pruebas presentadas a continuación se realizaron con la finalidad de comprobar la calidad y obtener caracterización de un concreto adicionado con emulsión a base de poliestireno en 2 porcentajes 1% y 2%, los especímenes de este trabajo se realizan con agregados naturales tanto el testigo como los adicionados con aditivo. Además de la adición de una emulsión base poliestireno también se trabajó con un fluidificante que se presenta en polvo Crisota R-5.

Las pruebas que se llevan a cabo a parte de las necesarias para la caracterización de agregados son Velocidad de Pulso Ultrasónico, Resistividad y Compresión

1 MARCO TEORICO

1.1 CONCRETO

1.1.1 Reseña Histórica

En Grecia y Roma se produjeron morteros hechos a base de pasta de caliza calcinada (cal viva) y agua, a la cual se adicionaba arena, para unir las estructuras de piedra y ladrillo. Posteriormente a esta mezcla se incorporaron piedra triturada, tejas rotas o ladrillo, dando origen al primer concreto de la historia.

Durante mucho tiempo se estuvo incorporando a la mezcla diferentes tipos de agregados hasta que se descubrió que el agregado (arena) aportaba importantes propiedades a la resistencia de la mezcla, además que tenía mayor duración en aguas saladas o dulces.

Los griegos emplearon una toba volcánica extraída de la isla de Santorin y los romanos usaron un material similar que se encuentra en gran cantidad alrededor de la bahía de Nápoles, el cual fue conocido como cemento puzolánico debido a que se le encontró por primera vez en las cercanías del pueblo de Puzzuoli, cerca del Vesubio.

Durante el siglo XII se mejoró la calidad y se observó que era debido a la perfecta calcinación de la cal y del uso de algún material similar en propiedades a las tobas volcánicas. Durante los siglos posteriores los avances fueron pocos hasta el punto de que sólo llegó a producirse un mortero débil hecho únicamente de cal y arena.

Con los avances realizados en morteros se abre paso a la creación de muchos cementos hidráulicos y a partir de ese momento comienza el desarrollo del concreto. En 1824 el constructor Joseph Aspdin, de Inglaterra, calcino en un horno una mezcla de tres partes de piedra caliza por una de arcilla, la cual molió y pulverizó, obteniendo la patente del cemento Portland.

El desarrollo del concreto propiamente dicho como material de construcción, empezó hacia principios del siglo pasado poco después de la obtención de la patente del “Cemento Portland” y posteriormente se afianzó con la invención del concreto armado que se atribuye al jardinero paisiense Jack Monier, quien, hacia el año de 1861, fabricó un jarrón de mortero de cemento, reforzado con un enrejado de alambre. Este material se vino a conocer como ferro cemento, un siglo más tarde.

Posteriormente, en manos de los ingenieros y de múltiples investigadores, la tecnología del concreto nació en los albores del presente siglo y alcanzó paralelamente al estudio del concreto reforzado la importancia trascendental que tiene en la técnica constructiva de la civilización industrializada que hoy conocemos. Por tal motivo, es llamado la piedra del siglo XX. (Guzmán, 1986)

El concreto en esencia es una mezcla de productos pétreos con un medio cementante. Generalmente este medio es un producto que reacciona con agua. Pero hoy en día tenemos diferentes tipos de cementantes, agregados y aditivos los cuales pueden cambiar propiedades del concreto, tal ejemplo de otros productos de cemento son: cemento con puzolanas, cenizas, micro silicatos, aditivos, agregados reciclados, polímeros, fibras entre otros.

El concreto consiste en dos fases: hidratación de la pasta del cemento y el agregado, y como resultado, las propiedades del concreto son definidas por las propiedades de estas dos fases y también por la presencia de las interfaces que se crean entre estas dos.

Según diversas fuentes, el concreto se puede definir de la forma siguiente:

El concreto puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento Pórtland Hidráulico), un material de relleno (agregados), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión (Instituto del Concreto, 1997).

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua (Panarese, 1992)

1.2 CONCRETO REFORZADO

El crédito de la inmersión del acero en el concreto le corresponde a Lambot en 1855 para barcos de ferro-cemento, a Monier en el año de 1867 y a Hennebique en 1897 quien construyo el primer marco de acero reforzado.

En estos días, el concreto hidráulico y el acero son los dos materiales estructurales más utilizados. Las propiedades mecánicas inherentes de cada uno, permiten utilizarlos juntos como complemento o por separado según las necesidades propias del proyecto. En combinación, la resistencia al esfuerzo de compresión (del concreto) y la resistencia al esfuerzo de tensión (del acero) permite crear muchas estructuras con diferente estilo y funcionalidad: casas, carreteras, puentes, edificios, etc.

Estudiándolos por separado, el acero es manufacturado en sofisticadas plantas de producción y con estándares de calidad muy altos; sus propiedades son determinadas en un laboratorio y respaldadas por un certificado de producción. Quien elabora el acero necesita cumplir con un estándar de calidad y quien construye con el acero sólo necesita asegurarse de utilizar el grado de acero correcto y de la correcta colocación del mismo en obra.

La empresa que manufactura el cemento también otorga una garantía de manera similar que la fábrica de acero de acuerdo al tipo cemento elegido para la obra, por lo que esto es difícilmente la causa de una falla estructural del concreto.

El concreto es un material que trabaja adecuadamente cuando estará sujeto a cargas de compresión, pero una vez que decidimos utilizarlo en un elemento estructural que no solo tendrá fuerzas a compresión sino también a tensión, es necesario emplear acero de refuerzo para darle mayor ductilidad a las estructuras.

La efectividad del concreto reforzado como un material estructural depende de lo siguiente:

- 1.-La interacción que existe entre acero y concreto que permite que trabajen como un material compuesto.
- 2.-Las características que tiene el concreto para inhibir la corrosión en el acero
- 3.-El coeficiente de movimiento térmico sea similar entre el acero y el concreto.

Los mecanismos y causas de fallas que puede haber en el este concreto pueden ser por causa de los materiales utilizados. Se considera que hay mecanismos de fallas como lo son: fragilidad, ductilidad, fatiga, deslizamiento, inestabilidad o corrosión.

El concreto por si solo es propenso a grietas eventualmente a las de fallas por fatiga debido a los ciclos de carga y descarga. Si el concreto es reforzado o pretensado con acero entonces las propiedades de fatiga del acero tienden a controlar el rendimiento estructural.

1.2.1 Concreto pre-esforzado

Se le llama pre-esforzado al concreto que cuenta con acero embebido usualmente en forma de alambres, cables o barras, y que a estos son sometidos a una tensión alta, la cual se equilibrara con esfuerzos de compresión en el concreto después del endurecimiento. EL pre-esfuerzo reduce de manera significativa las deflexiones y las grietas de flexión para cargas normales, y de esta manera permite la utilización efectiva de materiales de alta resistencia. El concreto pre-esforzado ha extendido significativamente el rango de luces posibles del concreto estructural y los tipos de estructuras para los cuales es adecuado. (Nilson, 2001)

1.3 CEMENTO

Los antiguos Romanos probablemente fueron los primeros en usar el concreto. Una palabra de origen latín- basado en cemento hidráulico, que es un material que endurece bajo el agua. El cemento Romano entro en desuso, y esto fue solo en 1824 con el cemento moderno, conocido como cemento Portland y fue patentado por Joseph Aspdin.

A Aspdin se le reconoce como el actual inventor del cemento Portland, aunque su método de fabricación fue conservado con mucho secreto. Su patente fue escrita en forma tan confusa y oscura, que nadie fue capaz de limitar a pesar de los esfuerzos hechos.

Únicamente hasta 1845, el inglés Isaac Johnson logró con éxito perfeccionar y fabricar este producto quemando una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del Clinker, el cual después de pulverizado obteniendo un compuesto fuertemente cementante. Johnson encontró que la temperatura de calcinación debía elevarse hasta el máximo que pudiera lograrse con los métodos de ese tiempo y describió sus experimentos más explícitamente que Aspdin.

Cemento Portland es el nombre dado a un cemento obtenido por una mezcla de calcáreos y arcillas, u otros sílice, alúmina, y óxido de hierro, horneados a altas temperaturas hasta obtener como resultado el Clinker.

El cemento utilizado en construcción es un producto artificial, puesto que se hace por la fusión parcial de una mezcla de materiales naturales. La mezcla usual para fabricar cemento consiste en caliza (que proporcional el CaCO_3 necesario), arcilla o pizarra arcillosa (que proporcionan las cantidades necesarias de sílice y alúmina) y una pequeña cantidad de óxido de hierro. El producto (conocido con el nombre de Clinker) obtenido al calentar esa mezcla, se muele finalmente para lograr ese polvo gris amorfo tan familiar para todos los ingenieros.

Las calizas empleadas pueden variar mucho en dureza, textura y composición química, pero el magnesio, la sílice libre y el azufre son constituyentes que hay que evitar. Las arcillas utilizadas son a menudo impuras pero es preciso que no contengan cantos o partículas sólidas libres. (Ruiz Vázquez, 2014)

1.3.1 Manufactura del cemento Portland

Por la definición del Cemento Portland podemos decir que principalmente es una combinación de materiales calcáreos como lo son la piedra caliza y la tiza, también de sílice y alúmina encontradas como arcilla o esquisto. El proceso de manufactura consiste principalmente en moler estos materiales hasta obtener un polvo fino, mezclándolos cuidadosamente en proporciones predeterminadas y después hornear a temperaturas cerca de los 1400°C y los materiales sintetizados y parcialmente fusionados en el Clinker. El Clinker es enfriado y molido a un fino polvo, con algunas adiciones de yeso, y el producto resultante es el cemento Portland comercial.

De manera más detallada y completa se hace mención de los pasos de elaboración:

1.-Explotación de materias primas: este procedimiento se hace de acuerdo a las normas y parámetros convencionales. Dependiendo de la dureza de los materiales se usan explosivos y trituración posterior, en otros casos el simple arrastre es suficiente. Una vez extraídos los materiales de las respectivas canteras, se lleva a un proceso de trituración primaria para obtener tamaños máximos de 1". Los materiales que no requieran trituración se llevan a un lugar de almacenamiento (Instituto del Concreto, 1997)

2.-Dosificación, molienda y homogenización de materias primas: las materias primas seleccionadas se trituran, muelen y dosifican de tal manera que la mezcla resultante tenga la composición química deseada. Se puede utilizar un proceso seco o húmedo. En el proceso seco, la molienda y el mezclado se realizan con materiales secos. En el proceso húmedo, las operaciones de molienda y de mezclado se efectúan con los materiales en forma de lechada. (Panarese, 1992)

3.-Clinkerización: Luego del mezclado, la materia prima molida se alimenta por el extremo superior de un horno, pasa a una velocidad que se controla por medio de la pendiente y la velocidad rotacional del horno. En el extremo inferior del horno el combustible para calcinar es inyectado; donde las temperaturas de 1 420 °C a 1 650 °C transforman químicamente a la materia prima en clinker de cemento, que tiene la forma de pelotillas negro-grisáceas de 12 mm de diámetro. (Panarese, 1992)

4.-Enfriamiento: el material transformado en clínker debe ser enfriado rápidamente a 70°C para garantizar que el cemento fabricado, después de fraguado, no presente cambio de volumen.

5-Molienda de Clínker, adiciones de yeso: en este proceso se transforma el clínker en polvo y se agregan las adiciones (puzolanas o escoria de alto horno). Luego se introduce el yeso, se muele tan finamente que casi en su totalidad logra pasar la malla No. 200 y así se hace obtiene el cemento Pórtland propiamente dicho. El yeso es indispensable para controlar el endurecimiento del cemento una vez entra en contacto con el agua, porque cuando su cantidad es muy baja el endurecimiento puede ocurrir de manera instantánea.

6.-Empaque y distribución: el cemento resultante del molino se transporta en forma mecánica o neumática a silos de almacenamiento y posteriormente se empaca en bultos. También se puede descargar directamente en carros cisternas para su distribución a granel. (Panarese, 1992)

FABRICACION DEL CEMENTO

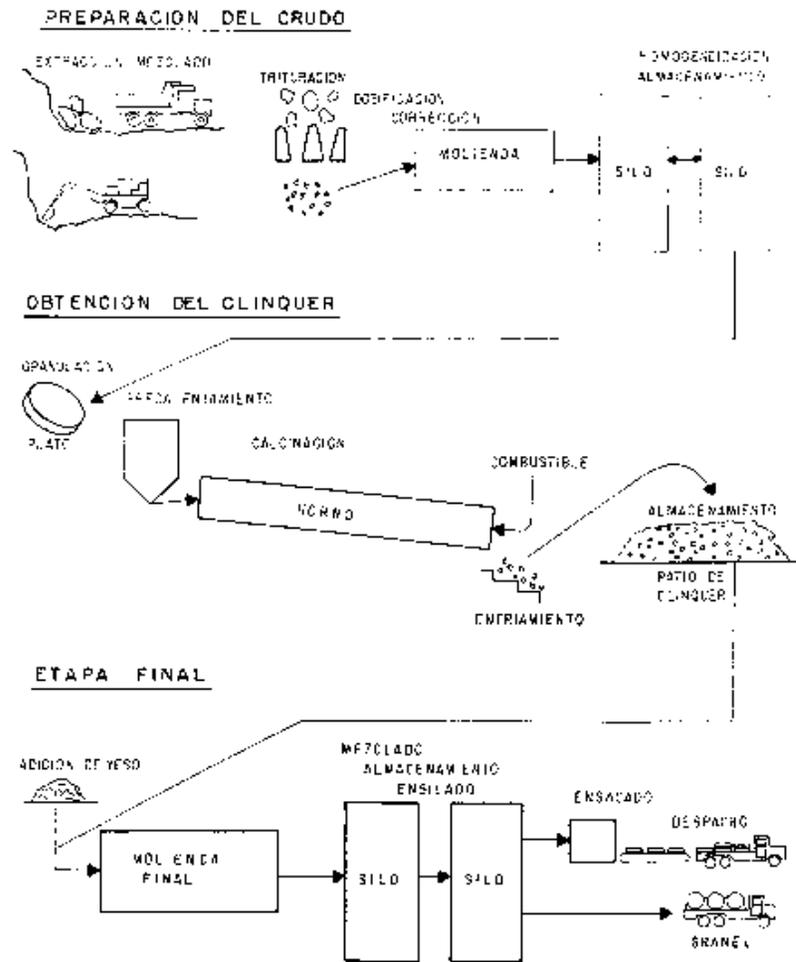


Fig 1.- Proceso de manufactura del cemento

1.3.2 Composición química

Como sabemos, las materias primarias utilizadas en la fabricación de cemento portland consiste principalmente de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos compuestos interactúan en el horno rotatorio de producción, para formar una serie de productos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal no combinada, que no ha tenido suficiente tiempo para reaccionar.

En la química del cemento, las formulas se expresan a menudo con la suma de óxidos; así, el silicato tricálcico (Ca_3SiO_5) puede escribirse en la forma $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Esta forma no implica, por supuesto, que los óxidos constituyentes tengan una existencia independiente dentro de la estructura del compuesto. En general, se emplean abreviaturas para las formulas químicas de los óxidos más frecuentes, como C para CaO y S para SiO_2 . El silicato tricálcico Ca_3SiO_5 ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) se transforma así en C_3S . Este sistema se usa con frecuencia.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, en la siguiente tabla podemos ver como es la abreviatura de cada uno de los componentes del cemento.

Nombre del componente	Composición	abreviación
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S
aluminato Tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Tabla 1.-componentes en el cemento Portlan

Es importante saber y entender que función tiene cada uno de los componentes anteriores.

Los silicatos, C_3S y C_2S : son los más importantes, son responsables de la hidratación de la pasta del cemento. En realidad, los silicatos en cemento no son componentes puros, pero cuentan con una cantidad menor de óxidos en solución sólida. Estos óxidos tienen efectos significativos en el proceso atómico, en la forma de los cristales, y las propiedades hidráulicas de los silicatos. (A.M. NEVILLE, 1987)

La presencia de C_3A es despreciable: este compuesto tiene una pequeña contribución podría decirse que casi nula en la fuerza que obtiene el cemento, excepto en edades

tempranas y cuando la pasta dura es atacada por sulfatos, la formación de calcio sulfuro aluminato puede causar desruptión. De cualquier manera el C_3A es beneficioso en el proceso de manufactura del cemento para combinar con facilidad los limos y silicatos). (A.M. NEVILLE, 1987)

El C_3A : Podríamos decir que tiene una contribución muy pequeña en la resistencia del cemento, cuando actúa este compuesto es en edades tempranas y cuando la pasta ya endurecida es atacada por sulfatos, la formación de sulfuro aluminato (sulfo-aluminato) de calcio (estringita) puede causar desruptión. De cualquier manera el C_3A es beneficioso en la manufactura del cemento para facilitar la combinación de limos y silicatos.

El C_4AF : también se presenta en el cemento en cantidades pequeñas, y en comparación con los otros tres componentes, su efecto no es significativo; este componente reacciona con gypsum para formar calcio sulfoferrite y la presencia de este puede acelerar la hidratación de los silicatos. (A.M. NEVILLE, 1987)

La cantidad de yeso al Clinker es crucial, y dependiente del contenido de C_3A y el contenido de álcali del cemento. Incrementando el grado de finura del cemento tiene el efecto de aumentar la cantidad de C_3A disponible en edades tempranas y esto plantea la exigencia de yeso. El contenido de yeso óptimo es determinado en base a la generación de calor en la hidratación. (A.M. NEVILLE, 1987)

Otros compuestos que son parte del cemento son MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O , Y Na_2O ; estos usualmente son un pequeño porcentaje de todo lo que es la masa de cemento. Dos de estos componentes son de interés, los óxidos de sodio y potasio Na_2O y K_2O , conocidos como álcalis. Se les ha encontrado que tienen reacción con algunos agregados, la producción de álcali-agregado causa disgregación del concreto.

1.3.3 Hidratación del cemento

Anteriormente se dio una amplia explicación de lo que es el cemento y sus principales componentes. El resultado obtenido de la combinación de varios compuestos es un polvo fino con características específicas según sus componentes, sin embargo en la práctica el cemento como lo obtenemos en polvo no nos es de gran utilidad y necesitamos mezclarlo con agua para crear una pasta.

La combinación del cemento y agua forma productos de hidratación o hidratantes, que con el tiempo forman una firme y dura masa.

La propuesta de Le chatelier y Williamson implica una constante disolución y precipitación de los productos hidratados a partir de una solución sobresaturada por un aumento de temperatura producido porque la hidratación es una reacción exotérmica. (científicas, consejo superior de investigaciones, s.f.).

Como comienza tempranamente, los dos silicatos de calcio son los componentes cementosos del cemento, la forma de hidratación es más rápida que después.

Una vez que tenemos conocimiento de los compuestos que tiene el cemento y la característica que aporta en la mezcla, podemos hablar de las fases que se forman y la aportación que hacen en esta pasta cementante.

Los silicatos de calcio cuentan con pequeñas impurezas de algunos óxidos presentes en el Clinker. Estas impurezas tienen un efecto de fuerza en las propiedades de los silicatos hidratados. La impureza C_3S es conocida como alita y la impureza C_2S como belita. (A.M. NEVILLE, 1987).

El contenido de estas dos suma aproximadamente de 70 a 80% del cemento. . Se supone que de manera aproximada, el C_3S aporta una resistencia a corto y mediano plazo (contribución al desarrollo de la resistencia durante las primeras cuatro semanas) y el C_2S a mediano y largo plazo (contribución al desarrollo de la resistencia de la cuarta semana en adelante).

Sin embargo en este proceso de hidratación contamos con otras 2 fases que son aluminato y ferrito. A continuación se describen las 4 fases más importantes del proceso:

- **Halita, con alto contenido de C_3S :** es la fase principal de la mayoría de los clínters Portland, y de ella dependen en buena parte las características de desarrollo de resistencia mecánica. Reacciona rápidamente con el agua, endurece en corto tiempo y tiene alto calor de hidratación, de tal manera, que afecta el tiempo de fraguado y la resistencia inicial
- **Belita, a base de C_2S :** es usualmente la segunda fase en importancia del clínter. Su componente principal (C_2S) reacciona lentamente con el agua, con un consecuente

bajo calor de hidratación y una contribución al desarrollo de la resistencia a partir de siete días.

- **Aluminato, rica en C_3A :** este compuesto no es puro, sino más bien una solución sólida de C_3A con algo de impurezas de SiO_2 y MgO que reacciona de manera rápida con agua, contribuye con calor alto de hidratación y a una alta resistencia inicial. Además, confiere al concreto propiedades indeseables, como cambios volumétricos y poca resistencia a la acción de los sulfatos razón por la cual su contenido se limita entre 5 y 15% según el tipo de cemento (Instituto del Concreto, 1997)
- **Ferrita C_4AF , solución sólida compuesta por ferritos y aluminatos de calcio:** este componente está presente en pequeñas cantidades en el cemento y en comparación con los otros tres componentes, no influye en forma significativa en su comportamiento, colaborando escasamente a la resistencia del concreto, siendo relativamente inactivo, pero es útil al facilitar la fusión durante el calcinamiento del clinker. (A.M. NEVILLE, 1987)

1.3.4 Tipos de cemento

En México hay seis tipos de cemento, según la norma NMX-C-414-ONNCCE-2010, los cuales se presentan a continuación:

- CPO. Cemento Portland Ordinario, el cual puede tener hasta 5% de adición de materiales tales como escoria, puzolanas, humo de sílice o caliza;
- CPP. Cemento Portland Puzolánico, que posee del 6% al 50% de material puzolánico, con relación a la masa total de cemento;
- CPEG. Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno, el cual tiene del 6% al 60% de escoria;
- CPC. Cemento Portland Compuesto, se compone de clinker, yeso y dos o más adiciones. Las adiciones pueden componer del 6% al 35% de escoria, del 6% al 35% de material puzolánico, del 1% al 10% de humo de sílice y del 6% al 35% de

caliza. Independientemente del tipo y cantidad de material adicionado, la cantidad de clínker e yeso debe ser del 50% al 94%.

- CPS. Cemento Portland con Humo de Sílice, que recibe del 1% al 10% de humo de sílice;
- CEG. Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno, el cual tiene una cantidad de escoria que varía del 61% al 80%.

Además, estos cementos pueden presentar características especiales, tales como:

- RS. Resistente a los Sulfatos.
- BRA. Baja Reactividad Alkali agregado.
- BCH. Bajo Calor de Hidratación.
- B. Blanco.

Esta norma también clasifica a los cementos por su resistencia a la compresión.

- 20. Presentan una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 20 MPa.
- 30. Presenta una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 30 MPa.
- 30 R. Presenta una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 30 MPa., y debe presentar una resistencia a compresión de 20 MPa a los 3 días de edad.
- 40. Presentan una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 40 MPa.
- 40 R. Presenta una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 40 MPa., y debe presentar una resistencia a compresión de 30 MPa a los 3 días de edad.

Los cementos se designan por uno de los 6 tipos de cementos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial. Por ejemplo, un Cemento Portland Compuesto de clase 30 con resistencia especificada a 3 días y resistencia a los sulfatos, se identifica como:

Cemento CPC 30 R RS

1.4 AGREGADO PETREO

Los agregados pétreos son un componente indispensable y de gran importancia en el concreto, gracias a las propiedades que le aportan. Existen diferentes tipos de agregado pétreo, más que nada depende de la región donde se localice y características como: el estado físico y composición química.

La variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. Y puesto que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras.

Se estima que aproximadamente tres cuartos del volumen del concreto es ocupado por el agregado (A.M. NEVILLE, 1987). El agregado pétreo no solo se limita a dar fuerza a la masa o mezcla de concreto sino también tiene un efecto sobre la durabilidad y la estructura en cómo se forma esta mezcla.

El agregado puede tener diferente procedencia, ya sea depósitos naturales o por trituración de alguna roca. En cuanto a depósitos naturales nos referimos a la extracción de en los bancos, ríos, playas, etc. que dependiendo de la ubicación el agregado tendrá diferentes características. También existe la posibilidad de utilizar un agregado reciclado, su procedencia puede ser de las construcciones demolidas, ya que los trozos de concreto pueden mandarse a triturar y se obtiene un agregado del tamaño deseado, las características de este agregado pueden ser muy variables y totalmente diferentes a un agregado natural.

Una de las clasificaciones según el tipo de agregado es:

- Agregados Naturales. Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.
- Agregados de Trituración. Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera ó de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.
- Agregados Artificiales. Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

- Agregados Marginales. Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

1.4.1 Agregado Natural

Los agregados naturales se forman a partir de procesos naturales como la abrasión y el intemperismo. Las siguientes propiedades dependen de la roca de origen: químicas, composición mineralógica, clasificación petrográfica, gravedad específica, dureza, estabilidad física y química, tipo de estructura, color, etc.

La existencia de diferentes tipos de agregados es muy extensa por lo que se tiene en la tabla 1 la siguiente información sobre el origen, características físicas distintivas y su influencia en el concreto cuando son utilizadas como agregado.

Los agregados naturales se clasifican generalmente en finos y gruesos. Un agregado fino o arena es cualquier material que pasa la Malla No. 4, es decir, un tamiz con cuatro aberturas por pulgada lineal. El material más grueso que no pasa por esta malla se clasifica como agregado grueso o grava. El tamaño máximo del agregado grueso para concreto reforzado está controlado por la facilidad con que éste debe entrar en los espacios entre barras de refuerzo. La norma ASTM C33-03 “Standard specification for concrete aggregates” presenta los requisitos para agregados de buena calidad.

La opción más común en la fabricación de concreto de buena calidad es obtener agregados en al menos dos grupos de tamaño; la división principal se hace entre agregado fino, llamado a menudo arena, y agregado grueso, conocido como grava. (Neville, 1999)

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Texturas	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto
Ígneas	Plutónicas	Granito	Cuarzo, feldespatos, micas y plagioclase.	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos	Fácilmente intemperisable en clima tropical, intemperismo esferoidal

Sedimentarias		Diorita	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	
		Gabro	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Alto peso específico
	Volcánicas piroclásticas	Riolita	Cuarzo, feldespato, plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Domos flujos de lava	Altamente reactiva con los álcalis del cemento.
		Andesita	Plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Derrames de lava	
		Basalto	P1, V Y M	Afanítica vesicular	Derrames de lava	Alta resistencia a la compresión, porosa y resistente a la abrasión.
		Tobas	Variable	Porfídica	Pseudoestratificada	Dependiendo de la mineralogía pueden ser reactivas y algunas son muy deleznable.
	Clásticas	Conglomerado	Fragmentos de roca y matriz	Fragmentos redondeados 2mm de diámetro	Estratificación gruesa, lentes rellenos de cauces, masiva	
		Arenisca	Qz, Pk, p1 y fragmentos de roca	Fragmentos 2mm a 1/16 mm de diámetro	Estratificación masiva lentes	Puede contener cementante sílice que es reactivo con los álcalis del cemento.

		Lutita	Materiales arcillosos	Fragmentos 1/6 mm de diámetro	Laminaciones masivas	Puede presentar fisibilidad, baja resistencia a la compresión, puede hidratarse a través de los materiales arcillosos.
Sedimentarias	No clásticas	Caliza	Calcita	Cristalina	Estratificación masiva	Altamente soluble
		Marga	Calcita y minerales arcillosos	Cristalina	Estratificación	Sus minerales arcillosos puede hidratarse fácilmente
		Dolomita	Calcita y dolomita	Cristalina	Estratificación masiva	Sus componentes mineralógicos pueden provocar la reacción álcali-carbonato (a través de la desdolomitación)
		Yeso	Yeso anhidrita	Cristalina	Vetas y lentes	Muy ligero, baja resistencia a la abrasión
		Carbón	Carbón	Criptocristalina	Mantos, vetas, lentes	Ligero, deleznable y/o frágil, produce problemas durante la hidratación del cemento Portland
Meta	Foliadas	Pizarra pilita	Qz, micas, clorita,	Foliada de grano fino	Foliación	Deleznable

		sericita			
	Esquisto	Micas, Fk, Clorita Qz, calcita y feldespatos	Foliada de grano medio	Foliación	A veces muy deleznable
	Gneiss	Qz, feldespatos ferromagnesia nos	Foliada de grano grueso	Foliación masiva	
No Foliadas	Hornfels	Mica, granate, Px cuarzo, feldespatos	Afanítica	Masiva	Puede presentar sílice del tipo reactivo con el álcali del cemento
	Cuarcita	Qz, feldespatos sillimanita	Granoblást ica	Masiva	Demhornfles
	Mármol skarn	Calcita, Px y AN	Granoblást ica	Masiva	

Tabla 2.-Familia de rocas

Por las anteriores características de la familia de rocas nos damos cuenta de que son diferentes las propiedades y por lo tanto aportaran diferentes características al concreto.

También existe un punto de vista más general y practico en el que los agregados se clasifican en 3 grupos, agregados calizos, agregados silicios y agregados ígneos y metamórficos. Los cuales se describen a continuación:

- a) **Agregados Calizos.** La roca caliza es muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, su carácter es básico, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes cementantes.
- b) **Agregados Silíceos.** Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en todas las capas de los firmes. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se

separan por cribado y a partir de ellas por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes cementantes, sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno.

- c) **Agregados Ígneos y Metamórficos.** Son materiales que por sus características resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura. Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes cementantes.

1.4.1.1 Propiedades Químicas

Las exigencias químicas que se deben solicitar a los agregados para evitar su reacción en la masa del concreto, son las de evitar sustancias presentes agresivas y componentes geológicos o mineralógicos agresivos, entre los cuales el más frecuente parece ser la sílice activa.

- **Epitaxia:** esta es la única reacción química favorable de los agregados conocidos hasta el momento. Da mejor adherencia entre ciertos agregados calizos y la pasta de cemento, a medida que transcurre el tiempo.
- **Reacción álcali-agregado:** la sílice activa, presente en algunos agregados, reacciona con los álcalis del cemento produciendo expansiones, destrucción de la masa y pérdida de características resistente. (Instituto del Concreto, 1997)

1.4.1.2 Propiedades Físicas

Las propiedades físicas son muy importantes ya que están más relacionadas a la resistencia que tendrá nuestra masa de concreto una vez que ya este seca.

- **Granulometría:** es la composición, en porcentaje, de los diversos tamaños de agregados en una muestra. Esta proporción se suele indicar, de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en masa, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición.

- **Porosidad y absorción:** cuanto más poroso es, menos resistencia mecánica tiene, por lo tanto, cuanto menor sea la absorción, es más compacto y de mejor calidad.

- **Masa unitaria:** la relación entre la masa del material que cabe en un determinado recipiente y el volumen de éste, da una cifra llamada masa unitaria. La masa unitaria compacta es otro buen índice para conocer la calidad del agregado, puesto que cuanto mejor sea la granulometría mayor es el valor numérico de la masa [Instituto del Concreto, 1997].

- **Forma:** La forma de los agregados es una característica importante ya que afecta a la trabajabilidad del concreto, esta forma depende del tipo de roca que lo originó, ya que para ciertas piedras resulta determinante el sistema de clivaje, las posibles instrucciones en la roca y su estado de meteorización.

1.4.1.3 Propiedades mecánicas

- **Dureza:** propiedad que depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia del agregado. En la elaboración de concretos sometidos a elevadas tasas de desgaste por roce o abrasión, como aplicaciones en pavimentos o revestimientos de canales, la dureza del agregado grueso es una propiedad decisiva para la selección de los materiales.

- **Resistencia:** el agregado grueso, en mayor medida que el fino, va a resultar relacionado con el comportamiento de las resistencias del concreto, por su aporte en tamaños de grano dentro de la masa de la mezcla. En tal sentido, una de las posibilidades de ruptura de la masa es por medio del agregado grueso (las otras son por la pasta y por la interface de contacto entre pasta y agregado). De esta manera, la resistencia de los agregados cobra

importancia y se debe buscar que éste nunca falle antes que la pasta de cemento endurezca. La falla a través del agregado grueso se produce bien sea porque tiene una estructura pobre entre los granos que constituyen las partículas o porque previamente se le han inducido fallas a sus partículas durante el proceso de explotación (especialmente cuando éste se hace por voladura) o por un inadecuado proceso de trituración. Adicionalmente, cuando se aumenta la adherencia por la forma o textura superficial del agregado al buscar una alta resistencia del concreto, también aumenta el riesgo de que las partículas del agregado fallen antes de la pasta de cemento endurecida.

- **Tenacidad o resistencia a la falla por impacto:** es una propiedad que depende de la roca de origen y se debe tener en cuenta ya que tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles ante las cargas de impacto, se puede alterar su granulometría y también disminuir la calidad del concreto que con ellos se elabore.
- **Adherencia:** es la interacción que existe en la zona de contacto agregado-pasta, la cual es producida por fuerzas de origen físico-químico. Entre más adherencia se logre entre la pasta de cemento endurecida y los agregados, mayor será la resistencia del concreto. La adherencia depende de la calidad de la pasta de cemento y, en gran medida, del tamaño, forma, rigidez y textura de las partículas del agregado, especialmente cuando se trata de resistencia a flexión. Hoy en día, no se conoce ningún método que permita medir la buena o mala adherencia de los agregados, pero es claro que aumenta con la rugosidad superficial de las partículas. (Instituto del Concreto, 1997)

1.4.1.4 Masa específica relativa

La masa específica relativa de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Normalmente no se usa como una medida de calidad de agregado, aunque algunos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado por congelación-deshielo presentan baja gravedad específica. (Kosmatka, 2004)

1.4.1.5 Masa Volumétrica

La masa volumétrica de los agregados es aquella que resulta de la cantidad de masa que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario conocido. Ésta depende de que como sea compactado el material y de la distribución y forma de las partículas. Si se tienen una gran número de partículas de aproximadamente el mismo tamaño, la relación de vacíos será mayor que en una muestra en la que se distribuyan de una manera uniforme los tamaños de las partículas. Por ejemplo, si se tienen partículas grandes habrá espacios relativamente grandes entre ellas, pero si también se cuenta con partículas pequeñas, éstas llenarán dichos espacios, teniendo así una densidad aparente mayor.

La masa volumétrica aproximada de agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/m³

1.4.1.6 Absorción

La absorción que presentan los agregados pétreos es una de las propiedades que más influencia tiene en la elaboración de la mezcla del concreto, ya que afecta a la cantidad de agua a utilizar. Si los agregados presentan humedad o capacidad de absorber agua, la mezcla deberá ser modificada para que la cantidad de agua se ajuste para así mantener la relación de agua-cemento con la que se hizo el diseño.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción que varían de 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre generalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un contenido máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%. (Kosmatka, 2004)

Existen cuatro condiciones de humedad (ilustración 2) que se pueden presentar en los agregados:

- Secado al horno. Ocurre cuando se pone a secar el agregado en un horno hasta que la cantidad de agua contenida en éste desaparezca, con lo que se obtendrá un agregado con masa constante y totalmente absorbente.
- Secado al aire. Se presenta cuando la superficie del agregado se encuentra seca, esto debido a la exposición del material al aire seco, con lo cual, el agua contenida en algunos poros se evapora, dando así la capacidad de absorber cierta cantidad de humedad al agregado.
- Saturado con superficie seca. Ocurre cuando los poros del agregado se encuentran completamente saturados, con lo cual, el material no absorbe ni cede agua al concreto.
- Húmedos. Se presentan cuando el agregado tiene un exceso de humedad sobre la superficie, a lo que se le conoce como agua libre.

1.4.1.7 Densidad

Es la masa de las partículas del agregado secas totalmente por la unidad de volumen de las mismas partículas, incluyendo el volumen de poros permeable e impermeable en las partículas, pero sin incluir huecos entre partículas. (ASTM, 2004)

Una de las propiedades de los sólidos, así como de los líquidos e incluso la de los gases es la medida del grado de compactación de un material: su densidad.

La densidad es una medida de cuanto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es decir la cantidad de masa por unidad de volumen.

La densidad del mortero varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad.

La prueba de densidad se le aplica a los especímenes cúbicos de cada material por cada porcentaje.

1.5 AGUA

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

Se puede emplear el agua dudosa en concreto, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, se aconseja que los cubos de mortero preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento. (Steven H. Kostmatka, 2004)

En el caso del concreto reforzado, el agua de mar incrementa el riesgo de corrosión del refuerzo, especialmente en los lugares tropicales. La corrosión ha sido observada en estructuras expuestas a aires húmedos, cuando la cobertura del refuerzo es inadecuada o el concreto no es suficientemente denso. Cuando el concreto reforzado se encuentra permanentemente en agua, ya sea agua salada o dulce, el uso de agua de mar no es permitido en las mezclas de concreto.

La norma NMX-C-122-ONNCCE-2004 clasifica al agua por su acción agresiva en la elaboración y curado del concreto. A continuación se describe la forma en la que actúan:

- Agua pura. Es agresiva por su acción disolvente e hidrolizante sobre los productos cálcicos del concreto.
- Agua ácida natural. Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre (CO_2) y/o ácidos húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del concreto.
- Agua fuertemente salina. Cuando esta agua contiene fuerte concentración de ciertas sales, éstas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la

saturación. Como agua de mezclado, su acción sobre la cal, es que interrumpe las reacciones de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, puede ejercer acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

- Agua alcalina. Esta produce hidrólisis alcalina de ciertos compuestos del cemento por los cationes alcalinos y pueden ser nocivas para los cementos Portland, 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.
- Agua sulfatada. Esta agua puede considerarse la más agresiva, 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 esta agua propicia 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.
- Agua clorurada. Esta agua en general debe considerarse agresiva puesto que la solubilidad de la cal y el yeso en ella es mayor que en el agua pura, y en particular este efecto se incrementa en el agua fuertemente clorurada, 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.
- Agua magnesiana. El agua magnesiana que contiene sulfato de magnesio, es la más agresiva por la gran solubilidad de éste y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble.
- Agua de mar. La acción del agua de mar es muy compleja, se parece a la del agua selenitosa natural y aunque su contenido de sulfatos es superior al de ésta última, su

proceso de ataque es lento, 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 el agua de mar.

Por otra parte el sulfato de cálcico no está en el estado de saturación debido a la presencia de otros sulfatos, tales como el de magnesio. También contribuye a disminuir la agresividad, la acción inhibidora no despreciable, de los cloruros sobre el ataque de los sulfatos. Sin embargo, el empleo del agua de mar en los concretos simples produce eflorescencias. En el concreto reforzado y/o presforzado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse para estos fines.

- Agua reciclada. Esta agua puede ser agresiva si contiene sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables. Por otra parte si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión, y estos si no se toman en cuenta el concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos.
- Agua industrial. El agua residual de las instalaciones industriales, generalmente es perjudicial para el concreto ya que contienen iones sulfatos, ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de éstos los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal o no tienen posibilidad de liberarla, tales como: los aluminosos, los puzolánicos y los de escoria de alto horno con bajo contenido de clinker.
- Aguas negras. Dada la complejidad de la composición de las aguas negras no es recomendable el uso de ellas en el concreto, ya que sus efectos son imprevisibles, sólo podrían ser utilizadas aquellas que previamente han sido tratadas adecuadamente.

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencias del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Algunas

impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades.

1.6 ADITIVOS

1.6.1 Concepto de Aditivo y sus funciones

Desde mediados del presente siglo se ha desarrollado toda una tecnología sobre la utilización de los aditivos, que son materiales distintos al agua, los agregados y el cemento hidráulico que se utilizan como ingredientes en concretos y morteros y se añaden a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado. En términos de su función, éstos pueden ser reductores de agua, retardantes o acelerantes. Hay algunos otros, como los inclusores de aire, las puzolanas, los colorantes, etc.

1.6.2 Funciones de los aditivos

Pueden ser utilizados para modificar las propiedades del concreto de manera que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo. Pero, también pueden ser usados por razones de orden económico, ya que permiten, en algunos casos, reducir los costos de fabricación del concreto.

Las emulsiones poliméricas han sido empleadas como aditivos en los morteros de reparación de edificaciones de concreto, puentes de concreto, como materiales de recubrimiento en carreteras y como materiales a prueba de agua que tienen una mayor durabilidad y han sido empleados en los Estados Unidos por más de 35 años.

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable y resistente al desgaste. Estas calidades se pueden obtener fácilmente y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción del concreto;
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras;
3. Mantenimiento de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado. Transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso;

4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto. (Kosmatka, 2004)

La norma NMX-C-251-1997 define al aditivo como un material diferente del agua, de los agregados y del cemento hidráulico, que se puede emplear como componente del concreto o mortero y se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, modificando algunas características del concreto.

1.6.3 Tipos de aditivos

La norma NMX-C-255-2013 define los diferentes tipos de aditivos que son:

- **Aditivo acelerante de resistencia:** Es un producto químico que tiene la propiedad de acortar el tiempo del alcance de la resistencia a la compresión.
- **Aditivo reductor de agua:** Es un producto químico que tiene la propiedad de disminuir la cantidad de agua de la mezcla, requerida para producir un concreto de una consistencia dada.
- **Aditivo reductor de agua de alto rango:** Producto químico que tiene la propiedad de disminuir la cantidad de agua de la mezcla, en 12 % o más, referido a un concreto testigo.
- **Aditivo reductor de agua de alto rango y retardante:** Es un producto químico que tiene la propiedad de disminuir la cantidad de agua de la mezcla, en 12% o más, requerida para producir un concreto de una consistencia dada, además de prolongar los tiempos de fraguado del concreto.
- **Aditivo reductor de agua y acelerante:** Es un producto químico que tiene la propiedad de disminuir la cantidad de agua de la mezcla, entre 5% y 11%, requerida para producir un concreto de una consistencia dada, además de acortar los tiempos de fraguado del concreto.

- **Aditivo reductor de agua y retardante:** Es un producto químico que tiene la propiedad de disminuir la cantidad de agua de la mezcla, entre 5% y 11%, requerida para producir un concreto de una consistencia dada, además de prolongar los tiempos de fraguado del concreto.
- **Aditivo retardante:** Es un producto químico que tiene la propiedad de prolongar los tiempos de fraguado del concreto.
- **Aditivos super-plastificante:** Es un producto químico que tiene la propiedad de incrementar el revenimiento del concreto en 90 mm como mínimo, con respecto al testigo, para producir un concreto que fluye, con revenimiento mayor a 190 mm sin presentar segregación ni sangrado.
- **Modificador del contenido de aire:** Es un aditivo que tiene la propiedad de modificar el contenido unitario de aire en el concreto, medido en %-

La clasificación de los aditivos según esta norma se puede ver resumida en la siguiente tabla:

Tipo A	Reductor de agua
Tipo B	Retardante
Tipo C	Acelerante del fraguado inicial
Tipo C2	Acelerante de resistencia
Tipo D	Reductor de agua y retardante
Tipo E	Reductor de agua y acelerante
Tipo F	Reductor de agua de alto rango
Tipo G	Reductor de agua de alto rango y retardante
Tipo F2	Superplastificante
Tipo G2	Superplastificante y retardante
Tipo AA	Modificador del contenido de aire

Tabla 3.-clasificación de los aditivos

Entre los aditivos también podemos encontrar algunos compuestos orgánicos e inorgánicos que se utilizan para reducir el agua requerida en una mezcla de concreto para un asentamiento dado; estos compuestos se llaman plastificantes (Nilson, 2001)

Se hace mención de los aditivos ya que en la experimentación se trabaja con una emulsión que pretende cumplir con características de uno.

1.6.4 Emulsiones

Se define normalmente una emulsión como un sistema de dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales se dispersa en el otro en forma de pequeñas gotitas. Las emulsiones constan de una fase continua y una fase dispersa; en la fase dispersa las partículas toman forma esférica, debido a las fuerzas de tensión superficial. La disminución de la tensión superficial favorece, tanto la formación de emulsiones, como su estabilización.

1.6.5 Fluidificante

El fluidificante es de marca CRISOTAN R-5 que son dispersantes para concreto de acuerdo a la ficha técnica del aditivo sus características son las que a continuación se mencionan.

Tiene una estabilidad térmica hasta los 150°C, su temperatura de descomposición es hasta los 380°C. En dosificaciones normales el producto no afecta al calor de hidratación del concreto. No contribuye a la corrosión ni a la formación de microorganismos.

Propiedades típicas

	Crisotan R-5	Crisotan R-5 liquido
Apariencia	Polvo fino	Liquido Ambar Oscuro
%Ingrediente activo	90%	40%
Densidad gr/ml	-----	1.2
Solubilidad en solución al 10%	Clara	Clara

El Crisotan R-5 puede incrementar dramáticamente la fluidez del concreto para una mejor y más fácil colocación sin pérdida de resistencia ni durabilidad.

Es un agente dispersante que promueve la separación o defloculación de las partículas de cemento, venciendo las fuerzas cohesivas que las atraen unas a otras. Esta acción sobre el cemento provoca que el concreto fluya más fácilmente que una mezcla convencional, este efecto se le llama plastificación.

El uso de Crisotan provoca que se tenga una reducción en la cantidad de agua, y que se tenga la fluidez adecuada sin afectar los resultados del revenimiento. Esto implica un aumento de resistencia a la compresión al inicio y al final.

Forma de uso

La dosificación del Crisotan R-5 se basa en el contenido de cemento de la mezcla de concreto. En la mayoría de los casos se puede obtener una reducción de agua con un 0.5% de Crisotan R-5 (en base al ingrediente activo) o 1.66% para el Crisotan R-5 líquido.

1.7 EMULSIÓN FABRICADA A PARTIR DE POLIESTIRENO EXPANDIDO DE REÚSO.

1.7.1 Definición

Se define normalmente una emulsión como un sistema de dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales se dispersa en el otro en forma de pequeñas gotitas. Todos los productos tenso-activos que son eficaces como agentes emulsionantes, reducen marcadamente la tensión superficial ente las dos fases líquidas. Las emulsiones constan de una fase continua y una fase dispersa; en la fase dispersa las partículas toman forma esférica, debido a las fuerzas de tensión superficial. La disminución de la tensión superficial favorece, tanto la formación de emulsiones, como su estabilización. (Bailey, 2001)

1.7.2 Antecedente

En México se conoce como desecho plástico post-consumo al material generado por un negocio o un consumidor, que ya le ha dado su uso final y que ha sido separado o dividido de la basura sólida con el propósito de recolectarlo, reciclarlo y hacerlo disponible. Las

formas de recuperación del poliestireno expandido dependen de la naturaleza del residuo generado; residuos industriales, residuos del comercio, distribución y residuos domésticos, desafortunadamente éstos últimos se acumulan en vertederos de basureros municipales y no son debidamente separados.

Los desechos plásticos no son susceptibles de asimilarse de nuevo en la naturaleza, porque su material tarda aproximadamente unos 500 años en biodegradarse. Además tienen un poder calorífico muy elevado, por lo que sus desechos pueden convertirse en combustibles de alta calidad, pudiendo ocasionar graves riesgos ambientales debido a la síntesis de dioxinas y otras sustancias peligrosas que pueden emitirse a la atmósfera.

En varios países, el 50% del poliestireno expandido es utilizado como material de construcción, como recubrimiento térmico de los edificios, sin embargo un gran porcentaje de éste material es utilizado como empaque y envase, formando parte el 0.1% del total de residuos sólidos urbanos. (NMX, 2000)

Según la base de datos de INEGI las cantidades de residuos sólidos producidos en el 2011 y su disposición final se presenta en la gráfica siguiente:



Fig 2.-Disposición final de residuos solidos (Ramírez, 2015)

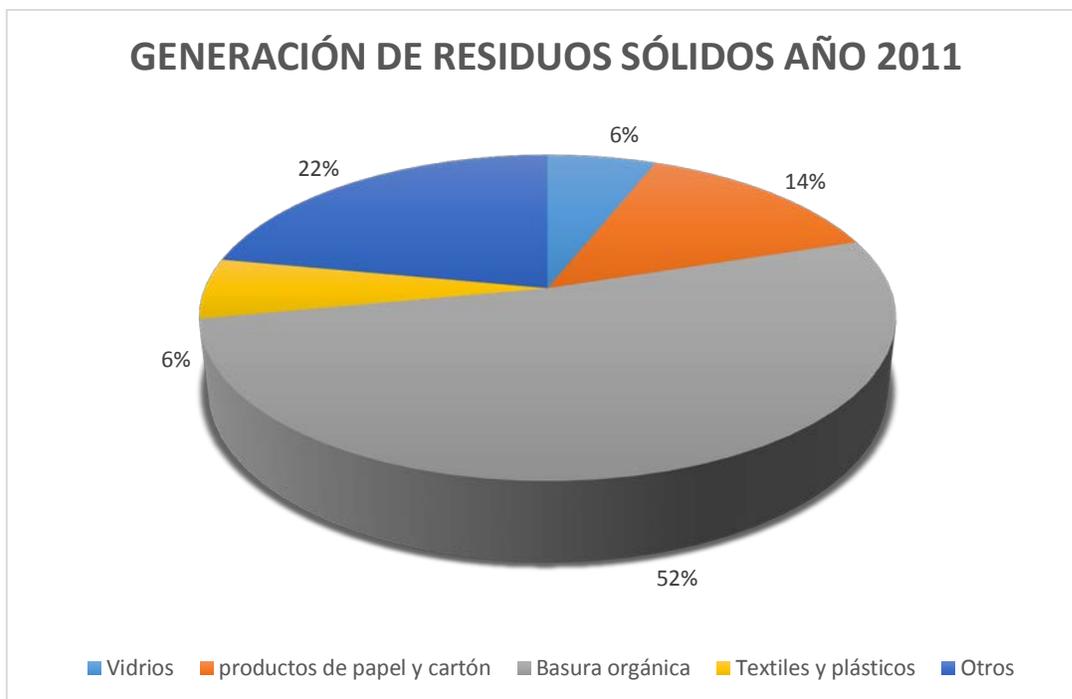


Fig 3.-Generación de residuos solidos (Ramírez, 2015)

1.7.3 Poliestireno

1.7.3.1 Propiedades y aplicaciones

La polimerización del estireno produce un termoplástico transparente, incoloro, duro y rígido llamado poliestireno para uso general (*general-purpose polystyrene*, GPPS). Para ciertas aplicaciones, se le añaden cauchos (diénicos y de otras clases), con el objeto de impartir extensibilidad, tenacidad y resistencia al impacto. (Rubin, 2012)

Estos materiales se denominan “poliestirenos resistentes al impacto” (*high-impact polystyrene*, HIPS), aunque sería más apropiado el nombre “poliestirenos de medio impacto” o, también poliestirenos modificados con cauchos para aquellas variedades que tienen incrementos moderados de tenacidad sobre el homopolímero sin modificar. (Ramírez, 2015)

La preparación de la emulsión requiere de perlas expansibles de poliestireno (EPS) y estas pueden ser obtenidas mediante diferentes métodos, uno de los métodos es preparar perlas de poliestireno (PS) por suspensión, a las que se ha incorporado un disolvente orgánico volátil (pentano, etc.).

Al generar estas perlas (EPS) de baja densidad, se obtiene un material celular de baja conductividad térmica que ha ganado adeptos en diverso ámbitos del aislamiento de edificios. (Ramírez, 2015)

1.7.3.2 Resistencia química

El PS resiste el ataque químico de varias sustancias y no reacciona ni absorbe de manera significativa esas sustancias ni el agua. (Rubin, 2012)

Estas sustancias son:

- Ácidos inorgánicos (con excepción de los ácidos oxidantes fuertes), ácidos orgánicos, aminas alifáticas, bases, sales inorgánicas.
- Alimentos, condimentos, aceites vegetales, bebidas.
- Productos farmacéuticos, jabones, detergentes.

El PS es atacado por algunos materiales, dicho ataque puede manifestarse en forma de corrosión en la superficie o de fisuración cuando hay tensiones internas o solvatación o combinación de esos efectos. Estos materiales son:

- Hidrocarburos, aminas aromáticas, aldehídos, ésteres y cetonas.
- Aceites esenciales e insecticidas.

1.7.4 Solventes Orgánicos

Acetato de etilo

Son compuestos orgánicos volátiles basados en el elemento químico Carbono. Se utilizan solos o en combinación con otros agentes para disolver materias primas, productos o materiales residuales, utilizándose para la limpieza, para modificar la viscosidad, como agente tensoactivo, como plastificante, como conservante o como portador de otras sustancias que una vez depositadas, quedan fijadas evaporándose el disolvente. En general, los disolventes orgánicos son de uso corriente en las industrias para pegar, desengrasar, limpiar, plastificar y flexibilizar, pintar y lubricar. (Ramírez, 2015)

1.7.5 Características de la Emulsión fabricada con Poliestireno

Expandido de reúso

La emulsión está fabricada utilizando como materia prima el poliestireno expandido, que es disuelto con un solvente orgánico de tipo éster; posteriormente es utilizado un agente surfactante (tensoactivo) que permite formar una emulsión con el agua.

La emulsión es de tipo agua-aceite y presenta de un 15-35 % en peso de poliestireno, un pH de 5.5 y tiene la propiedad de ser soluble en agua.

Se estima que la emulsión:

- forme una matriz polimérica en conjunto con la reacción de hidratación del cemento que reduzca la porosidad del mismo y con esto lograr una menor permeabilidad en el concreto;
- en la mezcla de cemento, aumentar la trabajabilidad, y así poder reducir la relación agua/cemento;
- por ser un plástico, traerá una reducción en la resistencia a la compresión del concreto.

1.7.5.1 Densidad

Se realizó la medición usando el método del picnómetro (Figura 3.5.2), obteniendo una densidad de 1.5g/cm³ a 19°C. (Ramírez, 2015)



Fig 4.-Medición de densidad (Ramírez, 2015)

1.7.5.2 Viscosidad

En UN viscosímetro modelo BROOKFIELD DV-II + PRO se determinó la viscosidad utilizando el eje estándar de acero inoxidable del equipo #3 con una velocidad de torque promedio de 63.1% y temperatura de 19.2 °C, tal como lo muestra Fig. 5. (Ramírez, 2015)



Fig 5.-Viscosímetro Brookfield DV-II+PRO. (Ramírez, 2015)

MEDICIÓN DE VISCOSIDAD	
No. De Medición	viscosidad (cp)
1	23.5
2	23.6
3	23.9
PROMEDIO	23.66

Tabla 4.- Viscosidad de la emulsión

1.8 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Una definición general de prueba no destructiva es una revisión, prueba, o evaluación realizada en algún tipo de objeto sin cambiar o alterar dicho objeto en alguna forma, para determinar la ausencia o presencia de condiciones o discontinuidades que puedan tener un efecto en la utilidad del objeto.

En algunas décadas pasadas la aplicación de pruebas no destructivas en la ingeniería civil se ha convertido en un tema de interés en varios países. Las pruebas no destructivas no solo permiten la evaluación de estructuras viejas y descuidadas, también pueden ser usadas para el control de nuevas estructuras. (Alexandre Lorenzi, Octubre 2007, pág. 1)

La evaluación de estructuras con diferentes patologías, que hayan sufrido algún siniestro o sean objeto de un cambio de destino o uso, o cuyo hormigón posee una resistencia incierta es una situación que se presenta con una significativa frecuencia. En este caso la estimación de la resistencia a compresión como indicador de la calidad, obviamente no el único, es de particular importancia y para ello el empleo de métodos no destructivos es de suma utilidad. La ventaja de los ensayos no destructivos radican en su relativa simplicidad, rapidez y en la posibilidad de realizar un gran número de determinaciones sobre la estructura sin alterar su resistencia y funcionalidad. (Di Maio, Klaric y Fava, & Colombino y Cáceres, Jan-Jun, 1998).

Las pruebas no destructivas han sido definidas como un método usado para examinar un objeto, material o sistemas sin afectar su utilidad futura. Los métodos de pruebas no destructivas en un laboratorio son una herramienta indispensable. Estos métodos son usados para checar variaciones en estructuras, cambios en la superficie, la presencia de grietas u otras discontinuidades físicas, para medir el espesor del de materiales y a la determinación de otras características. (Alexandre Lorenzi, Octubre 2007, págs. 2-3)

1.8.1 Velocidad de pulso Ultrasónico

Entre diferentes métodos de pruebas no destructivas contamos con la prueba de velocidad de pulso que se considera como la prueba de mayor importancia, con la cual se pueden

obtener varias características en las estructuras de concreto. Una de las características es que tan homogéneo es el material.

Usando el análisis de propagación de onda de ultrasonido, es posible verificar la compacidad y detectar regiones heterogéneas en el concreto. (Alexandre Lorenzi, Octubre 2007)

El concreto es un material básico usado en la construcción. La mezcla de concreto es influenciada por algunas variables de construcción como son: la relación agua/cemento, el tipo y tamaño de agregado, la humedad y el tipo de cemento. Estas variables afectan directamente la fuerza de compresión y hace difícil la identificación de las propiedades de concreto. Enfocándonos en esto, la velocidad de pulso permite estimar una correlación entre las variables y la fuerza de compresión. (Alexandre Lorenzi, Octubre 2007).

Para poder utilizar y saber comprender los resultados obtenidos con este método es necesario entender su funcionamiento, puesto que se pueden presentar diferentes situaciones en la experimentación y debemos elegir la más adecuada de acuerdo a las características y tipo de experimentación.

Este método normalmente se basa en el uso de un equipo portátil, compuesto por una fuente/unidad detectora y unos transductores, que trabajan en un rango de frecuencia de 25 a 60 kHz. Los pulsos ultrasónicos dependen de la densidad y las propiedades elásticas del material. (Alexandre Lorenzi, Octubre 2007).

Los transductores piezoeléctricos son el tipo más común usado para la generación de ondas ultrasónicas. Las ondas ultrasónicas son generadas por excitar el elemento piezoeléctrico en un transductor por una señal de tensión de placa eléctrica en la forma de un pico, lo que hace que vibre a su frecuencia de resonancia. (Ismail Ozgur Yaman, Nov-Dec,2001)

El tiempo que toma para propagarse la onda ultrasónica a través del elemento hasta ser recibida en el transductor es definido como tiempo de vuelo.

En el método de velocidad de pulso ultrasónico, un pulso de onda ultrasónica a través del concreto es creado en un punto sobre la superficie del objeto de prueba, y el tiempo que éste tarda en viajar de ese punto a otro es medido. Conociendo la distancia entre los dos puntos, la velocidad del pulso de onda puede ser determinada. Un equipo portátil de velocidad de pulso está disponible hoy en día en el mercado para realizar pruebas en concreto y determinar el tiempo de llegada del primer frente de onda. Para la mayoría de las

configuraciones de prueba, esta resulta ser la onda de compresión directa, ya que es la más rápida. (Chávez García, 2011)

La prueba empieza cuando un pulso ultrasónico es generado y transmitido por un transductor electro-acústico, colocado en contacto con la superficie del concreto. Después al pasar por el concreto, las vibraciones son recibidas y convertidas por el otro transductor electro-acústico. El tiempo que tarda la onda desde el punto de entrada (primer transductor) hasta el punto de salida (segundo transductor) es medido con precisión.

La velocidad de pulso para un concreto ordinario es típicamente de 3700 a 4200 m/s. Para ello, para una trayectoria de 300-mm el tiempo de traslado es de aproximadamente 70 a 85 m/s. Es obvio que el instrumento debe ser preciso de tal manera que tome mediciones cortas de tiempo.

De acuerdo a los estudios realizados en Canadá, Malhotra (1985) publicó un criterio de aceptación del concreto sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica. La clasificación del concreto en categorías con base a intervalos de velocidad se presenta en la tabla. (Rómel G. Carcaño, 2004)

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

Tabla 5 Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica

Para realizar esta prueba tenemos 3 casos para el posicionamiento de los transductores los cuales se colocan según la complicación que se tenga para tomar la medición en alguna cara de la superficie del concreto. El acomodo de transductores es: Directo, Semi-directo e Indirecto.

Existen tres configuraciones en las cuales se pueden arreglar o acomodar los transductores, como se muestra en las figuras 18a, 18b y 18c. Tenemos entonces, 1) transmisión directa; 2) transmisión semidirecta; y 3) transmisión indirecta o método de superficie. El método de

transmisión directa, figura 18a, es el más deseable y el arreglo más satisfactorio, debido a que con este arreglo, se transmite y recibe el máximo de la energía del pulso. El método de transmisión semidirecta, figura 18b, puede ser usado satisfactoriamente también. Sin embargo, se debe tener cuidado de que los transductores no estén muy alejados; de otro modo la transmisión del pulso podría disminuir y por tanto la señal podría no detectarse. Este método es usado donde se tienen concentraciones de refuerzos. El método de transmisión indirecta o método de superficie, figura 18c, es el menos satisfactorio por que la amplitud de la señal que se recibe es significativamente menor que la señal que se recibe por el método de transmisión directa. Este método es más propenso a errores y se requiere un procedimiento especial para determinar la velocidad de pulso. (Qixian L. and Bungey, 1996)

La transmisión indirecta es descrita como menos sensible en arreglos de pruebas. Condiciones de Estándares Británicos dicen que la velocidad de indirecta es 5 a 20% menor que la velocidad de pulso medida directamente, dependiendo de las cualidades del concreto. (Ismail Ozgur Yaman, Nov-Dec, 2001)

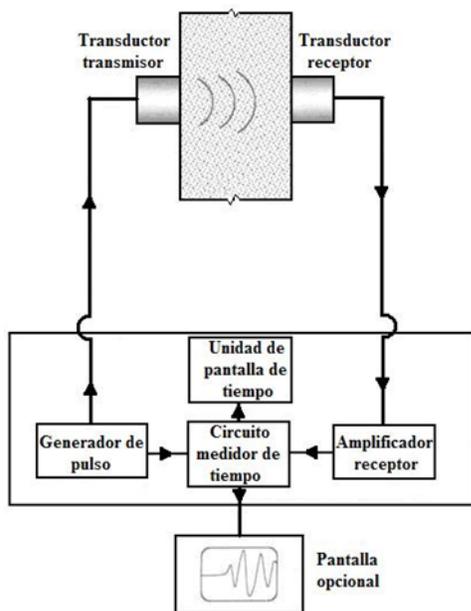


Fig 6.-Diagrama esquemático del circuito de prueba de velocidad de pulso (Malhotra & Carino , 2004)

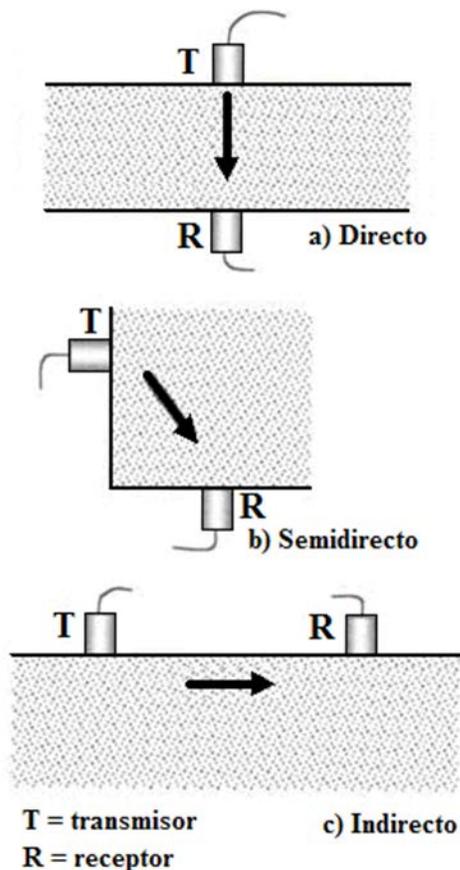


Fig 7.-Configuraciones para medición de velocidad de pulso, a) Método directo, b) Método semidirecto, c) Método indirecto o de superficie. (Malhotra & Carino , 2004)

1.8.2 Resistividad

Es una propiedad de cada material, esta 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 como el tipo de cemento, adiciones inorgánicas, relación agua/cemento, porosidad de la estructura, etc. La unidad de medida para representar la resistividad eléctrica es el ohm-cm u o hm-m. Se puede utilizar en el laboratorio sobre testigos extraídos de la estructura o directamente sobre la estructura en campo (Chávez, 2011).

Procedimiento.

1. Se determinaron las dimensiones de la muestra: diámetro y longitud.

2. Se revisa la conexión de las terminales de corriente y voltaje.
3. Se monta la muestra en el equipo Nilsson.
4. Se colocan las caras laterales del cilindro entre dos placas de cobre y entre éstas esponjas húmedas.
5. Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen, se somete el cilindro a una corriente dada, (I) y voltaje (E).
6. La resistencia eléctrica (R) se calcula como E/I y se expresa en Ohm.

Cálculo:

$$\rho = R_c \left(\frac{A}{L} \right)$$

Dónde:

ρ = Resistividad eléctrica en $K\Omega$ -cm (ohm-m).

R_c = Resistencia eléctrica que el equipo proporciona, en $K\Omega$.

A= Área transversal del espécimen en cm^2 .

L= Longitud del espécimen en cm.

1.9 PRUEBAS DESTRUCTIVAS

1.9.1 Resistencia a la compresión

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que está dentro de un rango prescrito hasta que ocurra una falla. La resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante la prueba entre el área de la sección transversal de la muestra.

1.9.1.1 Preparación y acondicionamiento de la muestra

Según la NORMA MEXICA NMX-C-083-ONNCCE-2002 los especímenes de prueba deben contar con las siguientes características:

El diámetro y la altura del espécimen de prueba debe determinarse promediando las dos medidas de diámetro perpendiculares entre sí a una altura media del espécimen y dos alturas opuestas con una aproximación de 1mm.

Si la altura promedio del espécimen es menor de 1.8 veces el diámetro, a la resistencia debemos realizar una corrección por esbeltez de acuerdo a la tabla siguiente. Los valores intermedios que no aparecen pueden ser calculados por medio de la interpolación.

Algo importante en esta norma es que los especímenes que tengan una relación diámetro a altura menor de 1:1 no deberán ensayarse.

Relación Altura- Diámetro del espécimen	Factor de corrección a la resistencia
2.00	1.00
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

Tabla 6 Factores de corrección por esbeltez

El ensaye a compresión debe realizarse lo más pronto posible después de ser retirados los especímenes de la pileta o cuarto húmedo y una vez que el material de cabeceo haya adquirido la resistencia requerida verificada de acuerdo a la NMX-C-109-ONNCE; durante el tiempo transcurrido entre el retiro del almacenamiento húmedo y el ensaye, se debe prevenir la pérdida excesiva de humedad en los especímenes.

1.9.2 Prueba de Point Load

La prueba de Point Load es usada para determinar el índice de fuerza en las rocas. Los aparatos y procedimientos para la prueba de Point Load permite pruebas económicas a corazones de rocas ya sea en campo o laboratorio. Los índices de fuerza han sido propuestos por varios investigadores y depende del tipo de roca.

La prueba de Point Load es una alternativa a la fuerza de compresión uniaxial debido a que los resultados son similares y tienen un bajo costo. La prueba de Point Load ha sido usada en análisis geotécnicos cerca de 30 años. (Rock, 1985)

La prueba es realizada entre dos placas de acero en forma cónica hasta que la falla ocurra. La International Society of Rock Mechanics (ISRM, 1985) ha establecido el procedimiento básico de la prueba así como también la forma de calcular el índice de Point Load.

Existen 3 tipos de pruebas de Point Load; axial, diametral y en block o terrones. (Rusnak & Mark)

La prueba axial y diametral son realizadas sobre el núcleo del espécimen. En la prueba axial, el núcleo es cargado paralelo al eje longitudinal del núcleo, y esta prueba es más similar a los resultados obtenidos con la prueba de fuerza de compresión uniaxial. (Rusnak & Mark)

De acuerdo a la norma de la ASTM (D5731-05, 2005)

A comienzos de los años 70, el Imperial College de Londres, desarrolló un equipo hidráulico portátil para medir la Resistencia de las Rocas Bajo Carga Puntual (I_s), parámetro que está totalmente correlacionado con la Resistencia a la Compresión Simple. En los ensayos diametral y axial sobre testigos de 50 mm de diámetro, la resistencia se calcula con la siguiente expresión:

$$I_s = \frac{P * 1000}{De^2}$$

Donde:

P= Carga de rotura (kN)

D= Distancia entre los punzones de carga (mm)

Si los ensayos se realizan sobre muestras irregulares, la Resistencia a la Compresión Simple se estima a partir de:

$$RC(MPa) = 125T_{500}T_{500} = 211.5 \frac{P}{A^{0.75}} A = DxL(mm^2)$$

Este método es bastante fiable para rocas con resistencias entre 30 y 100 MPa.

Mediante el uso del Índice de Resistencia bajo carga puntual se propuso clasificar los macizos rocosos, en 1971 por Franklin y sus colaboradores.

La prueba de carga puntual sobre fragmentos irregulares, desarrollada en Rusia, es descrita por Protodyakonov. Para obtener un índice de fuerza, Protodyakanov divide la carga de ruptura por la energía a $2/3$ del volumen de espécimen, una aproximación al área afectada, seccional del fragmento. El volumen fue determinado usando una técnica de desplazamiento de arena.

La oficina internacional para la Mecánica de Roca incorporó la prueba de Protodyakanov como una técnica estándar como sigue:

Especímenes irregulares ovoides con proporción de largo-a-corto: diámetro de aproximadamente 1.5: 1 y volumen de aproximadamente 100 cm^3 son obtenidos rompiendo fragmentos de roca utilizando cualquier método conveniente y acondicionando los especímenes por ligeros martillazos convenientes. (Franklin, 1972)

1.10 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

1.10.1 Revenimiento

Esta prueba tiene como objetivo medir la consistencia del concreto hidráulico en estado fresco, mediante el método de ensaye conocido como revenimiento. En esta se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 cm a 20 cm, es aplicable al concreto fresco industrializado o hecho en obra con tamaño máximo nominal del agregado menor de 50 mm.

Equipo.

1. Cono de revenimiento
2. Charola
3. Cucharón
4. Varilla punta de bala de $5/8''$ de diámetro
5. Pala
6. Cinta métrica

Procedimiento.

1. De la mezcla se obtiene una muestra representativa en una charola, se humedece el molde de revenimiento y el cucharón. Después, se coloca el molde en una

superficie horizontal, plana, rígida, húmeda y no absorbente y se sujeta colocando los pies en las orejas que tiene el molde especialmente para ello.

2. La mezcla de concreto se mezcla y se vierten en el molde con la ayuda del cucharón, se llena el molde en 3 capas aproximadamente de igual volumen, la primer capa debe llegar a una altura de aproximadamente de 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura aproximada de 15 cm y la tercera, al extremo del molde.
3. Cada capa se compacta con la varilla punta de bala aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa. Para la segunda y tercer capa, la varilla debe penetrar por todo el espesor de las mismas, dejando que penetra aproximadamente 2 cm de la capa anterior. Debe colocarse un excedente de concreto en la tercera capa, por encima del borde superior del molde, antes de empezar la compactación. Si a consecuencia de la compactación en la última capa, el concreto se asienta, a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.
4. Después de terminar la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Se limpia la superficie exterior de la base de asiento, e inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical. Esta operación debe hacerse en 5 ± 2 s, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional. La operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levante el molde, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2.5 min.
5. Se mide inmediatamente el revenimiento, determinando el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, midiendo esta diferencia de alturas en el centro desplazado de la superficie superior del

espécimen. Si alguna porción del concreto se desliza o cae hacia un lado, se desecha el ensayo y se efectúa otra con una nueva porción de la misma muestra.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterización de los materiales

Los materiales que se utilizaron en este trabajo son del banco de materiales joyitas.

Banco Joyitas: Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 23' 12.9''$ de longitud y $19^{\circ} 43' 27.1''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2082m, en la carretera Morelia- Jiquilpan aproximadamente en el kilómetro 014+500, tipo de propiedad particular, el acceso al banco de materiales es rápida aproximadamente quince minutos. (Navarrete Seras, 2012)



Fig 8.- Vista aerea del bando de material Joyitas (Navarrete Seras, 2012)

2.1.1 Grava

Se realizaron las pruebas de granulometría, densidad, absorción, masa volumétrica seca suelta y seca varillada las cuales se explica el procedimiento enseguida. Estas pruebas se utilizaron para las tres mezclas que se realizaron.

2.1.1.1 GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico nos sirve para descomponer en diversos tamaños y saber cuánto porcentaje de cada uno podemos encontrar en una muestra de agregado. Dicho análisis nos

da una idea de si es adecuado el agregado para usarse en lo que se requiere o está fuera de los alcances para ser utilizado.

Para realizar el análisis granulométrico se elaboró un muestreo de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-30 y se redujo tomando en cuenta la norma NMX-C-170.

Se realiza el secado de la muestra (ilustración 2), una vez realizado esto tomamos la cantidad de muestra a cribar, según lo establecido en la norma con la siguiente tabla:

Tamaño nominal máximo (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
10	2
13	4
20	8
25	12
40	16
50	20
65	25
75	45
90	70

Tabla 7.-tamaño nominal del agregado grueso



Figura 1.-Secado del material grueso y fino

- Se arman las cribas que van a emplearse en orden descendente de aberturas, terminando con la charola (fondo). Se coloca la muestra en la criba superior y se

tapa bien. Debe agitarse las cribas a mano o con un aparato mecánico (Raf-tap) por el tiempo suficiente que satisfaga el criterio de un cribado correcto. Se continúa el cribado por un período suficiente.

- Cuando ya no pase material se determina la masa del retenido total en cada criba y se registra.
- Se calculan los porcentajes basándose en la masa total de la muestra, incluyendo el material que pasó la criba número 0.075 (200).

Las cribas que se utilizan en este proceso son las de la siguiente tabla:

TABLA 2.- Límites granulométricos del agregado grueso, en masa, en porcentaje que pasa

Tamaño nominal, mm (Pulg)	100 4"	90 3 ½"	75 3"	63 2 ½"	50 2"	37.5 1 ½"	25 1"	19 ¾"	12,5 ½"	9,5 3/8"	No 4 4,75	No 8 2,36	No 16 1,18
90,0 a 37,5 (3 ½" a 1 ½")	100	90 a 100	—	25 a 60	—	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
63,0 a 37,5 (2 ½" a 1 ½")	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
50,0 a 25,0 (2" a 1")	—	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—
50,0 a 4,75 (2" a No. 4)	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	—	0 a 5	—	—
37,5 a 19,0 (1 ½" a ¾")	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—
37,5 a 4,75 (1 ½" a No. 4)	—	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	0 a 5	—	—
25,0 a 12,5 (1" a ½")	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—	—
25,0 a 9,5 (1" a 3/8")	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	—	—
25,0 a 4,75 (1" a No. 4)	—	—	—	—	—	100	95 a 100	—	25 a 60	—	0 a 10	0 a 5	—
19,0 a 9,5 (¾" a 3/8")	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	—	—
19,0 a 4,75 (¾" a No. 4)	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	—	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—
12,5 a 4,75 (½" a No. 4)	—	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	—
9,5 a 2,36 (3/8" a No. 8)	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

2.1.1.2 ABSORCIÓN

De acuerdo a la NMX- la absorción es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24 h a temperatura ambiente, este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como por ciento de la masa seca y es índice de la porosidad del material.

El proceso de absorción se realizó como a continuación se indica:

- Se secó la muestra de ensayo a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, se dejó enfriar al aire a temperatura ambiente.
- Se pesaron las muestras de material grueso.
- Posteriormente se sumergió el agregado en agua a la temperatura ambiente por un período de 24 horas.
- Se removió la muestra de ensayo del agua y con una franela se retiró el exceso de agua es decir hasta que toda la película visible de agua sea removida. En el caso de las partículas grandes se secaron individualmente. Hay que tener cuidado de evitar

la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial.

- Una vez que se terminó con este proceso, se pesaron las muestras para poder realizar los cálculos adecuados.

$$\%Habs = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

DONDE:

%Habs=porcentaje de absorción

Mh= masa húmeda

Ms=masa seca

2.1.1.3 DENSIDAD

El método que se utilizó es por medio de un picnómetro. El proceso es el siguiente:

- El picnómetro tipo sifón debe llenarse con agua a una temperatura de $295K \pm 1K$ ($22^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$) y dejar que fluya el agua hasta que deje de gotear.
- Se determina la masa de la muestra o fracción preparada (Ma), que no sea menor de 5 kg, para picnómetros cuyo diámetro sea de 15 cm y 8 kg para los de 20 cm; estos valores pueden interpolarse o extrapolarse.
- Se tapa la salida del sifón y se va introduciendo la muestra, evitando que arrastre burbujas de aire. Cuando la superficie libre del agua quede en reposo, se destapa el sifón y se recibe el agua en una probeta graduada o en un recipiente previamente tarado. Este volumen (Va) se mide en la probeta o bien se determina su masa.

Para realizar el cálculo ocupamos la siguiente fórmula:

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

DONDE:

D=densidad

Ma=masa pesada inicialmente

V= volumen medido en la probeta



Fig 9.- equipo de medición de densidad

2.1.1.4 MASA VOLUMÉTRICA SECA SUELTA

La masa volumétrica es la masa del material por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente determinado.

El proceso de masa volumétrica seca suelta se describe a continuación:

- Se realiza un proceso de cuarteo del material para que nos quede homogéneo.
- La manera en que se llenara el recipiente es tomando material de los dos montones opuestos que nos quedan al momento de cuartear.
- El recipiente se llena hasta que el material sobrepase el borde sin derramarse, por medio de una pala o cucharón, dejando caer el agregado de una altura no mayor de 50mm sobre el borde del recipiente distribuyéndolo uniformemente, para evitar la segregación.
- Para enrazar se hace visualmente quitando y poniendo partículas de tal manera que los salientes sobre la superficie del borde compensen las depresiones por debajo de él.



Figura 2.- llenado del recipiente



Figura 3.- caída del material a 5 cm

La masa volumétrica seca suelta se obtiene con la fórmula siguiente:

$$M.V.S.S = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

2.1.1.5 MASA VOLUMÉTRICA SECA VARILLADA

La masa volumétrica seca varillada es un proceso parecido con la diferencia de que se compacta el material por medio de alguna de las siguientes opciones:

- Compresión por medio de penetración de varilla
- Compresión por impactos.

Se utilizó la primera opción.

- El recipiente debe llenarse en tres capas aproximadamente iguales, cuidando que la caída del material sea 5 cm despegado del recipiente y además tratar de que la velocidad de caída sea lo más parecido posible.
- Se compacta con la varillas punta de bala dándole 25 penetraciones, distribuidas uniformemente.
- Esta operación se repite 2 veces más cuidando que los golpes dados con la varilla no penetren en la capa inferior.

- Para enrazar se hace visualmente quitando y poniendo partículas de tal manera que los salientes sobre la superficie del borde compensen las depresiones por debajo de él.

FORMULA:

$$M.V.S.S = \frac{\textit{peso}}{\textit{volumen}}$$

2.1.2 ARENA

2.1.2.1 GRANULOMETRÍA

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices (cribas),

El agregado fino debe cumplir con lo citado en la norma mexicana NMX-C-111-ONNCCE.

La granulometría debe estar dentro de los parámetros expuestos en la tabla 7 y el módulo de finura debe estar comprendido entre 2.30 y 3.10.

Tabla 8.-Límites de granulometría para material fino

Criba mm (no.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa
9.5 (3/8")	100
4.75 ((no. 4)	95-100
2.36 (no.8)	80-100
1.18 (no.16)	50-85
0.600 (no.30)	25-60
0.300 (no. 50)	10-30
0.15 (no.100)	2-10

2.1.2.2 ABSORCIÓN

La absorción en arenas según la norma mexicana NMX-C-165-ONNCCE-2004 se realiza de la siguiente manera.

- La muestra tiene que estar superficialmente seca lo cual se obtiene con el proceso anterior
- Se toma una muestra de 200 g.
- Se pone a secar a masa constante a una temperatura de 110°C +- 10°C.
- Se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina la masa seca de la muestra.

$$A = \frac{F - G}{G} \times 100$$

DONDE:

A es el porcentaje de absorción en base a la masa del agregado seco, en porcentaje (%).

F es el porcentaje de masa saturada superficialmente seca, en gramos (g)

G es la masa de la muestra seca, en gramos (g)

2.1.2.3 DENSIDAD

Consiste en determinar el volumen obstáculo 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.

El procedimiento es el siguiente:

- Se pone a saturar la muestra 24 h, al término de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde tronco cónico.
- En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial V_i . En seguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca anotando este valor como peso de la arena (M_a) que aproximadamente sea entre 200 y 300 g.
- Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, procurando que no salpique agua. Esto va a provocar un aumento en el volumen de agua y vamos a registrar este valor como volumen final V_f .

FORMULA:

$$DA = \frac{M_a}{V_f - V_i}$$

2.1.2.4 MASA VOLUMETRICA SECA SUELTA

De acuerdo a la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004 el procedimiento para obtener estos resultados es el siguiente:

- Se vacía arena dentro del recipiente que cumple con lo especificado en la norma, dejándolo caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 cm.
- Se distribuye uniformemente el material y se llena completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.

- Se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia del recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo Al peso obtenido se le resta el peso del recipiente

FORMULA:

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

DONDE:

M.V.S.S= masa volumétrica seca y suelta

M= masa de la arena

V= volumen del recipiente

2.1.2.5 MASA VOLUMETRICA SECA VARILLADA

Se realizó siguiendo la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004.

- Se llena el recipiente con arena a volteo dejándola caer a una altura aproximada de 5cm, el llenado del recipiente debe de hacerse en 3 capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material.
- Para enrasar se utiliza la varilla y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.
- Al terminar el llenado del recipiente y enrase, se lleva a pesar y a este peso se le resta el peso del recipiente.

FORMULA:

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

2.2 ELABORACION DE CILINDROS

La elaboración de los cilindros lleva varios pasos y varias pruebas que se van realizando en el momento de hacer la mezcla. Los cuales se irán explicando en los siguientes apartados.

Se elaboraron cilindros de 10x20, es decir, 10 cm de diámetro por 20 cm de altura.



Fig 10.-Moldes cilindricos de 10x20

Las mezclas para realizar los cilindros de agregado natural con emulsión al 4% (TR-Em4%) es el mismo para los realizados con agregado natural y emulsión 1% , agregado natural y fluidificante (Tes-Fl) y el testigo que es agregado natural sin ningún aditivo (Ga-Sa).

- Se mezclan los agregados (fino y grueso) (figura 5)
- Posteriormente se adiciona el cemento y se mezcla todo esto, una vez bien mezclado se le agrega el agua con la cual comienza el proceso de hidratación del cemento y de esta manera obtener nuestro concreto. (figuras 5 y 6)
- Ya que la mezcla esta lista, se agregó la emulsión. Esta emulsión (figuras 9) se trabajó en dos porcentajes 1% y 4% para ver cuál sería el porcentaje más óptimo. De la misma manera se agregó en otra mezcla el fluidificante.

En el caso del fluidificante, este se agregó disuelto en el agua (figuras 10) que se le pondría a la mezcla ya que es un fluidificante en forma de polvo a diferencia de la emulsión que es una sustancia liquida con cierta viscosidad.

Para los cilindros testigo no se agregó ningún aditivo y se llevó el proceso normal.



Fig 11.- Revoltura del agregado pétreo



Fig 12.-Adición del cemento con los agregados



Fig 13.-Revoltura con agua



Fig 14.-Revoltura de los materiales con el agua



Fig 15.-Adición de la emulsión



Fig 16.-Adición del Fluidificante en agua



Fig 17.-Disolución del fluidificante



Fig 18.-Emulsión

2.2.1 Revenimiento

La siguiente etapa es la medición de revenimiento que nos sirve para medir la consistencia, plasticidad y trabajabilidad del concreto fresco. En términos de la disminución de altura.

Para este proceso el llenado del cono se realiza en 3 capas, dando en cada capa 25 golpes (penetraciones) tratando de que sea con la misma intensidad.

En la tercera capa se llena al extremo del molde calculando que quede sobrado, es decir, que sobrepase ligeramente el nivel de enrase del mismo. Si quedará por debajo del nivel se le agrega más concreto hasta llegar al nivel de enrase del molde.

Después se enrasa el molde rodando la varilla sobre la superficie superior del molde.

Se levanta el molde con cuidado en dirección vertical. La operación para levantar completamente el molde de 30 cm de altura debe hacerse en 5s \pm 2s, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional.

Todo el proceso debe tener una duración de no mayor a 2.5 min, debido a la fluidez del concreto este tenderá a derrumbarse de la forma del cono hasta incluso quedar extendido sobre la superficie horizontal.



Fig 19.-llenado del cono



Fig 20.-Golpes con la varilla punta de bala



Fig 21.-enrase del cono



Fig 22.-levantamiento del cono



Fig 23.-Medición del revenimiento

2.2.2 Fabricación de cilindros

La fabricación de cilindros tiene como objetivo principal tomar muestras del concreto para realizar estudios tanto a pruebas destructivas como no destructivas, además de llevar un monitoreo de como la resistencia va incrementando de acuerdo a lo que se requiere.

Se realizó el llenado de cilindros siguiendo los pasos del manual del laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”. (Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011)

- 1) Se toma una mezcla representativa en una charola se mezcla.
- 2) Se mide el revenimiento a cada muestra para cada cilindro.
- 3) Se desecha la mezcla usada para el revenimiento se mezcla y se procede a llenar lo cilindros.

- 4) El llenado de cilindros metálicos para que no se adhiera el concreto y no expanda respectivamente, se coloca en forma vertical y en un lugar donde no haya vibraciones. Con el cucharón se llena el cilindro en capas de 10 cm y compactadas con varilla punta de bala con 25 golpes por capa cuidando:
- Llenar cada capa un poco más del nivel fijado para que la varilla penetre 25 golpes quede el nivel de capa y al final sobre pasar su volumen para poder enrasar.
 - Cada capa debe de ser compacta solo en su espesor sin sobre pasar a las capas inferiores. Después de compactar cada capa se debe golpear ligeramente con el mazo de goma las paredes del molde para eliminar hasta donde sea posible las oquedades que deja la varilla.
- 5) Se coloca la etiqueta de identificación a cada cilindro.

Es importante que la elaboración de cilindros se realice en un tiempo o mayor a 15 min desde su muestreo. (NMX-C-159-ONNCCE-2004, 2004)



Fig 24.-Preparación de los moldes para cilindros de 15x30



Fig 25.-Llenado en capas de los moldes



Fig 26.-Varrillado



Fig 27.-Golpes con el mazo



Fig 28.- cilindros ya terminados



Fig 29.-Decimbrado despues de 24 hrs.

2.2.3 Cabeceado de cilindros

Este proceso se realizó como lo indica la Norma Mexicana NMX-C-109-2013 (ONNCCE, 2013).

Para el ensayo de los especímenes verificar que las superficies de las bases sean planas, dentro de una tolerancia de 0.05 mm en una longitud de 150 mm; de no ser así se procede al cabeceo para cumplir con dicha condición.

Se debe eliminar cualquier depósito de cera, material aceitoso o exceso de agua que se encuentre en las bases del espécimen que interfiera con la adherencia de la capa de cabeceo.

1. Colocar la placa cabeceadora en una superficie horizontal, firme y plana y se nivela en ambos sentidos.
2. Calentar el material de cabeceo en este caso azufre hasta lograr que se ponga en estado líquido.
3. Colocar el material de cabeceo sobre la placa y sobre éste el espécimen de ensayo, cuidando que el material de cabeceo no se salga por las uniones del cabeceador. Se debe garantizar, la perpendicularidad de la superficie cabeceada con respecto al eje vertical del espécimen.



Fig 30.-cabeceo de cilindros

2.3 Compresión

El objetivo de esta prueba, es determinar la resistencia que presenta el concreto al ser sujeto a una carga de compresión simple.

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

Equipo.

1. Vernier.
2. Máquina Forney.

Procedimiento.

1. Se determina el diámetro del cilindro, el cual se obtiene del promedio de las medidas de 2 diámetros perpendiculares entre sí.
2. Una vez obtenido el diámetro del espécimen, se coloca en la máquina de prueba, la cual tiene que tener las placas de apoyo totalmente limpias, se centrará el eje vertical del cilindro al centro de la placa de apoyo.
3. Se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que la carga se aplique constante.

4. Se nivela y se pone en ceros la máquina. Se aplica la carga a una velocidad constante de 1.4 a 3.1 kg/cm²/s. Esta velocidad puede ser un poco mayor en la primera mitad de la carga total del espécimen, tomar en cuenta que por ningún motivo se suspenda la aplicación de la carga, cuando el espécimen ya se aproxime a la carga de falla.
5. Se continúa la carga del espécimen hasta la falla registrándola y observando su tipo de falla y la apariencia del material.

Cálculo.

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

Dónde:

P = es la carga de ruptura en kg.

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

E = 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 forma siguiente:

$$\%Resistencia = \frac{R}{R_p}$$

Dónde:

% Resistencia = Porcentaje de Resistencia.

R = Resistencia real a cierta edad en días y en kg/cm².

R_p = Resistencia de proyecto en kg/cm².



Fig 31.-resultado de la compresión



Fig 32.- prueba de compresión

2.4 Resistividad

La prueba resistividad se realizó con un resistómetro.

Se tomaron las medidas de los especímenes para obtener el área y el largo de los mismos una vez obtenidos estos datos se colocó el espécimen entre las dos placas de metal que van colocadas al resistómetro, para evitar que haya demasiadas oquedades y exista un mejor contacto entre los especímenes y las placas se colocaron unos pequeños pedazos de tela como esponja.

Una vez que está listo y colocado el aparato se procede a tomar la medición que de la resistencia que es arrojada por el aparato en kilo ohms.

Para calcular la resistividad eléctrica se realiza con esta fórmula:

$$\rho = R_e \left(\frac{A}{L} \right)$$

Dónde:

ρ = Resistividad eléctrica en $K\Omega$ -cm (ohm-m)

R_e = Resistencia eléctrica que el equipo proporciona, en $K\Omega$

A = Área transversal del espécimen en cm^2

L = Longitud del espécimen en cm



Fig 33.- resistividad electrica

2.5 Velocidad de Pulso

Para realizar velocidad de pulso tenemos que asegurarnos que el equipo esté operando apropiadamente y que este en un tiempo de cero. Aplicamos en este caso gel para rellenar alguna oquedad entre el espécimen y los transductores. Una vez que tenemos esto procedemos a tomar lecturas.

La manera en que se colocaron los transductores fue de manera directa.

3 RESULTADOS

3.1 Granulometría en gravas y arenas

En las siguientes tablas podemos ver los pesos retenidos y acumulados que se obtuvieron en 4 muestras que se realizaron en laboratorio para el agregado grueso (grava) y en todos los casos su tamaño máximo (T.M.) fue de ¾”:

Resultados de la Muestra 1:

	masa ret. (g)	%retenido	%acum	%que pasa
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	3200	19.60	19.60	80.39
1/2"	7170	43.93	63.54	36.45
3/8"	3250	19.91	83.45	16.54
no.4	2460	15.07	98.52	1.47
pasa no.4	240	1.47	100	0
total	16320	100		

Tabla 9.-Resultados granulométricos en gravas muestra1

Resultados de la granulometría en la muestra 2:

malla	masa ret. (g)	%retenido	%acum	%que pasa
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	3400	21.24	21.24	78.75
1/2"	6820	42.61	63.86	36.13
3/8"	3500	21.87	85.73	14.26
no.4	2110	13.18	98.91	1.08
pasa no.4	173	1.08	100	0
total	16003	100		

Tabla 10.-Resultados granulométricos en gravas muestra 2

Resultados de la muestra 3:

mallá	masa ret. (g)	%retenido	%acum	%que pasa
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	2545	15.78	15.78	84.21
1/2"	6920	42.91	58.69	41.30
3/8"	3870	24	82.69	17.30
no.4	2440	15.13	97.82	2.17
pasa no.4	350	2.17	100	0
total	16125	100		

Tabla 11.-Resultados granulométricos en gravas muestra 3

Resultados de la muestra 4:

mallá	masa ret. (g)	%retenido	%acum	%que pasa
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	3360	20.42	20.42	79.57
1/2"	6760	41.09	61.51	38.48
3/8"	3455	21.00	82.52	17.47
no.4	2725	16.56	99.08	0.91
pasa no.4	150	0.91	100	0
total	16450	100		

Tabla 12.-Resultados granulométricos en gravas muestra 4

Resumen de los porcentos acumulados de las 4 muestras:

mallá	% acumulados de las 4 muestras				Promedio del % acumulado
2"	0	0	0	0	0
1 1/2"	0	0	0	0	0
1"	0	0	0	0	0
3/4"	19.6	21.24	15.78	20.42	19.26
1/2"	63.54	63.86	58.69	61.51	61.90
3/8"	83.45	85.73	82.69	82.52	83.60
no.4	98.52	98.91	97.82	99.08	98.59
pasa no.4	100	100	100	100	100
Total					

GRANULOMETRIA MUESTRA 1

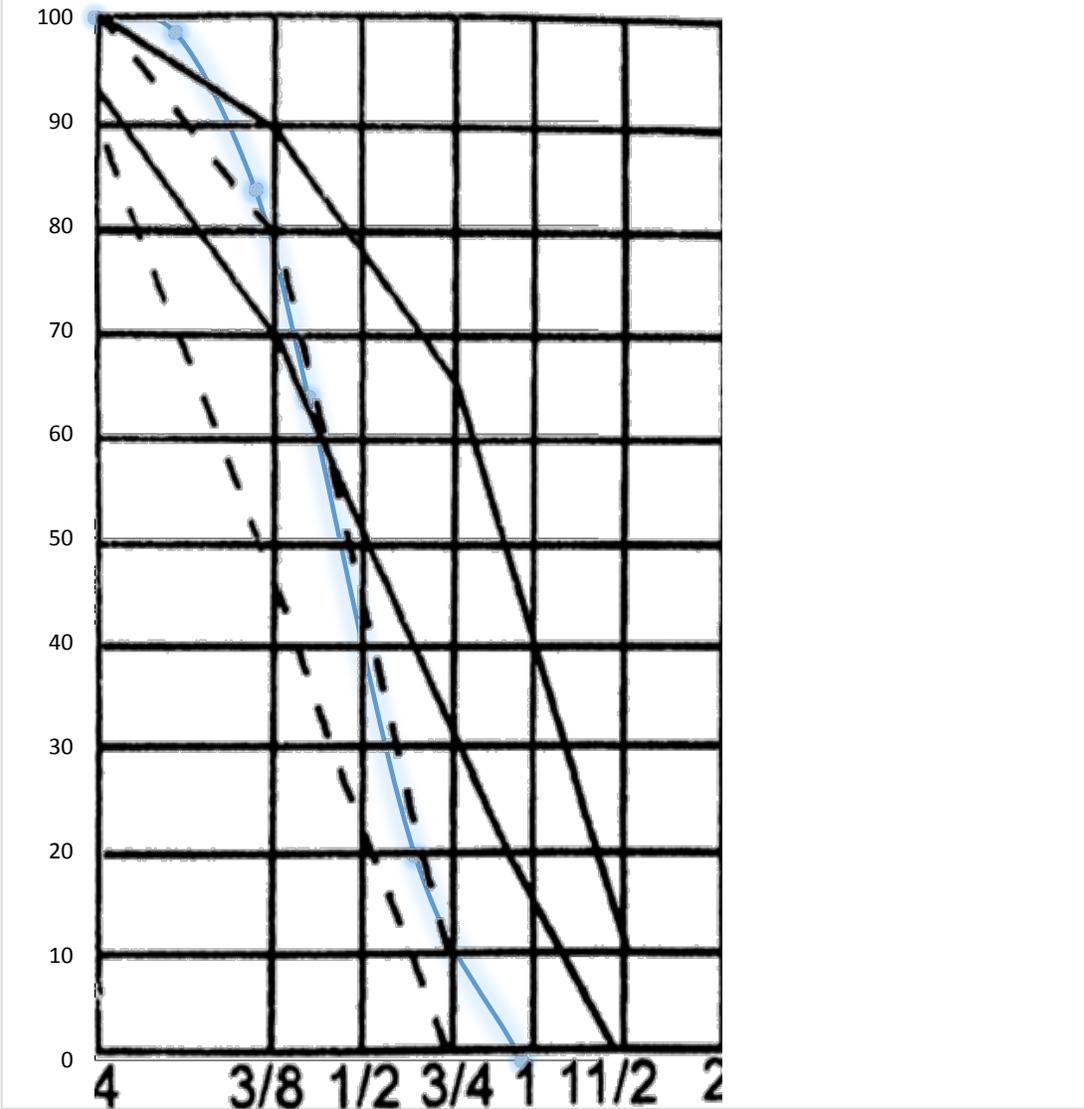


Fig 34.-Gráfica de granulometría muestra 1

GRANULOMETRIA MUESTRA 2

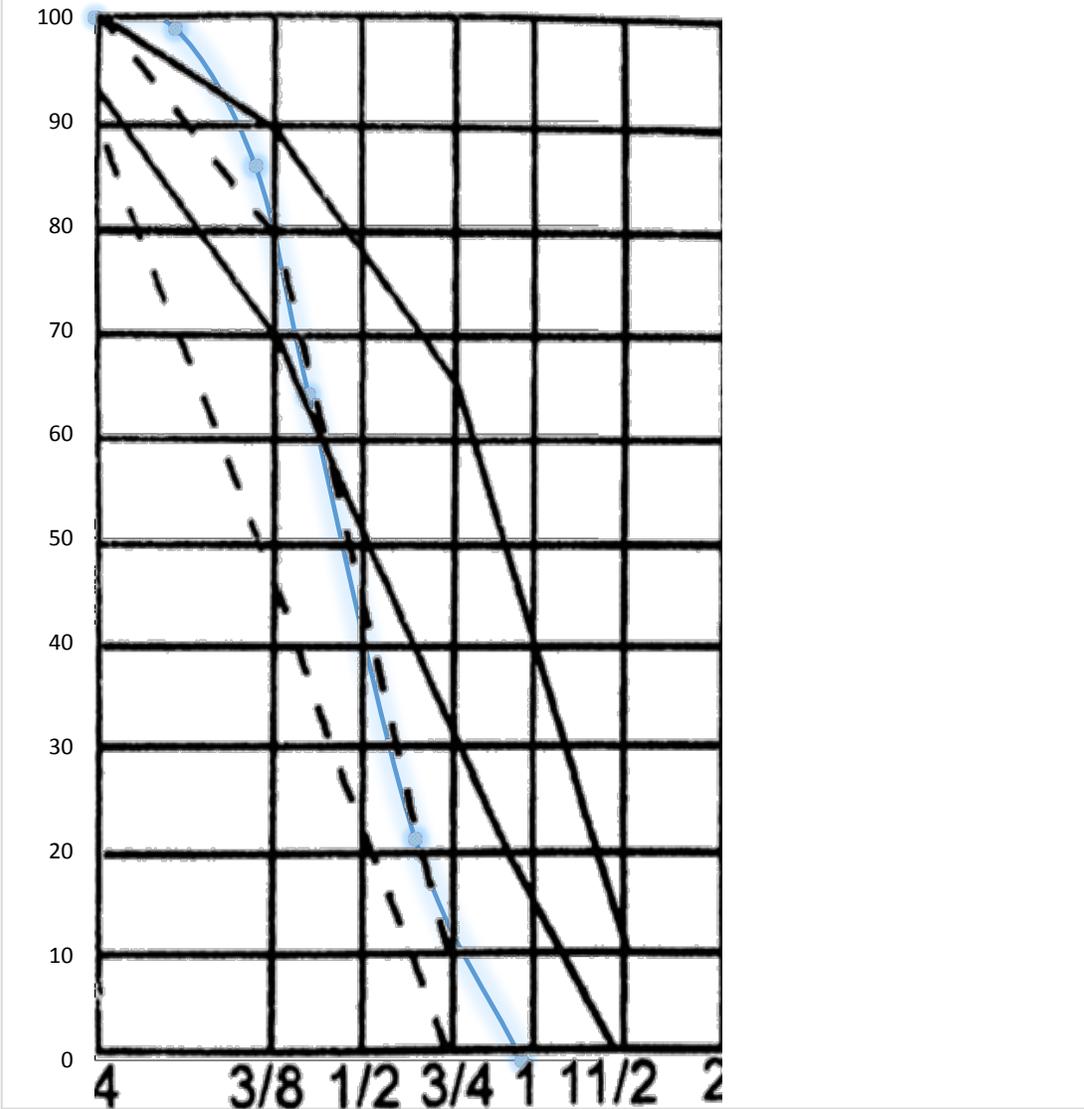


Fig 35.-Gráfica de granulometría muestra 2

GRANULOMETRIA MUESTRA 3

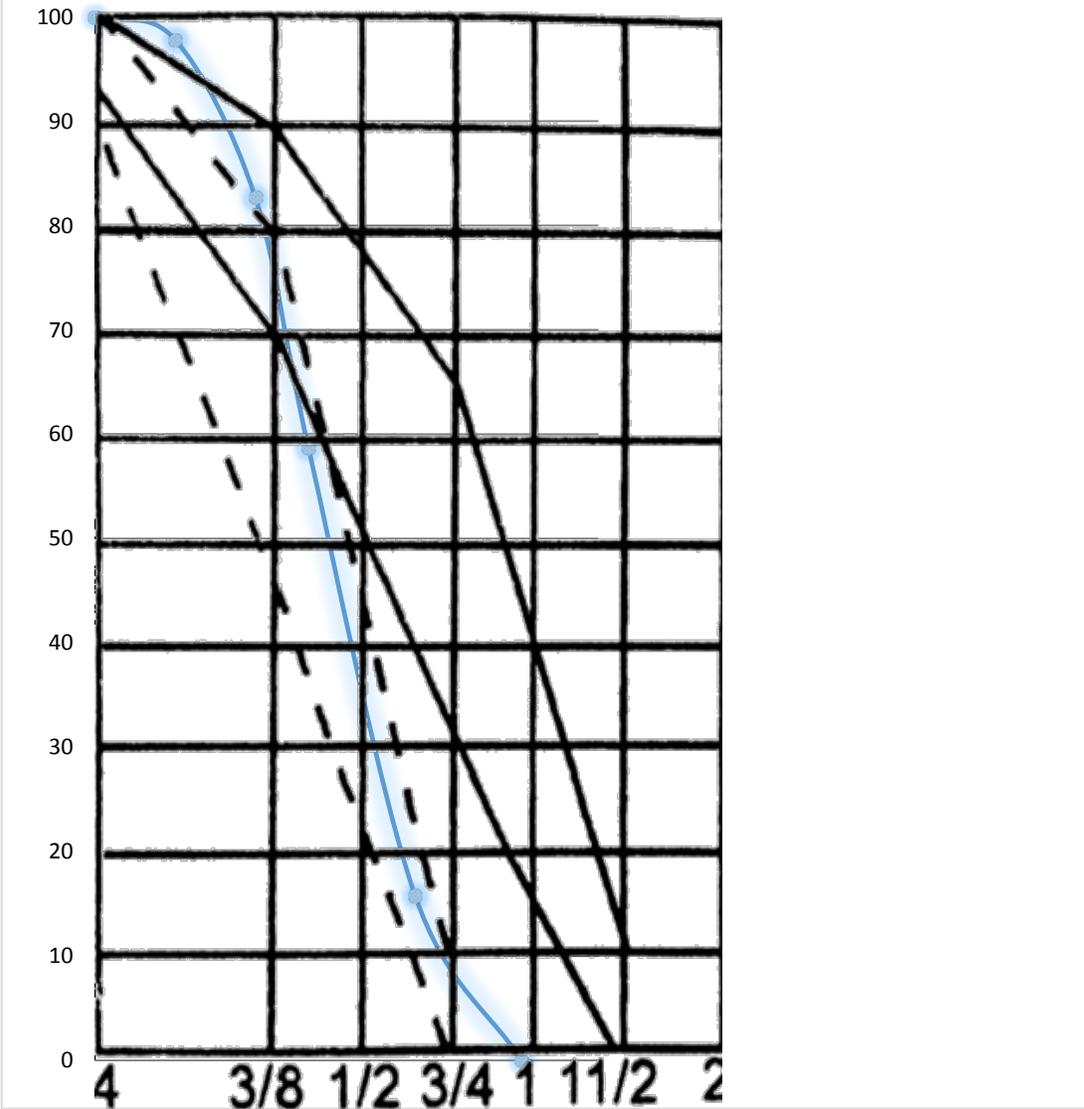


Fig 36.-Gráfica de granulometría muestra 3

GRANULOMETRIA MUESTRA 4

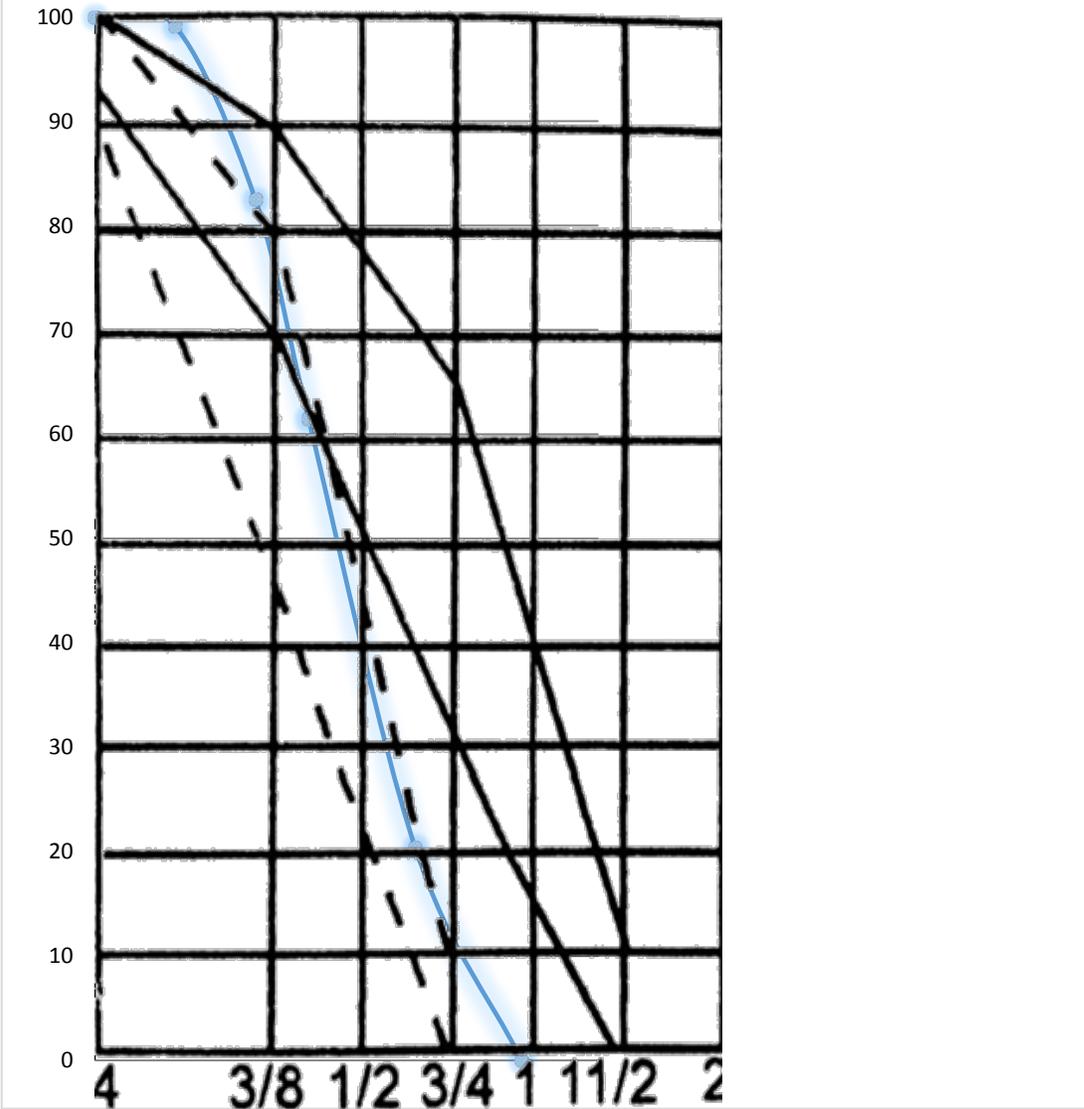


Fig 37.-Gráfica de granulometría muestra 4

En el caso de las arenas los resultados de granulometría así como de módulo de finura (M.F.) son los siguientes:

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

- Muestra 1

Tabla 13.- Resultados de la granulometría en arenas muestra 1

mall	masa ret. (g)	%retenido	%acum	%que pasa
4"	0	0	0	100
8"	97.8	20	20	80
16"	165.4	33.82	53.82	46.17
30"	107.8	22.04	75.86	24.13087935
50"	45	9.20	85.07	14.92
100"	33.5	6.85	91.92	8.07
200"	18.9	3.86	95.78	4.21
Charola	20.6	4.21	100	0
total	489	100		

M.F.	3.26
------	------

- Muestra 2

Tabla 14.-Resultados de la granulometría en arenas muestra 2

mall	masa ret. (g)	%retenido	%acum	%que pasa
4"	0	0	0	100
8"	90.2	18.20	18.20	81.79
16"	171.3	34.56	52.76	47.23
30"	112.4	22.67	75.44	24.55
50"	42.9	8.65	84.10	15.89
100"	34.7	7.00	91.10	8.89
200"	19.4	3.91	95.01	4.98
Charola	24.7	4.98	100	0
total	495.6	100		

M.F.	3.21
------	------

- Muestra 3

Tabla 15.- Resultados de la granulometría en arenas muestra 3

mallá	masa ret. (g)	%retenido	%acum	%que pasa
4"	0.6	0.12	0.12	99.87
8"	106.2	21.29	21.41	78.58
16"	169.4	33.97	55.39	44.60
30"	107	21.46	76.85	23.14
50"	45.7	9.16	86.02	13.97
100"	32.3	6.47	92.49	7.50
200"	18.2	3.65	96.14	3.85
Charola	19.2	3.85	100	0
total	498.6	100		

M.F. 3.32

Las siguientes tablas nos muestran un resumen de los datos de % que pasa y el % acumulado

Tabla 16.-Resumen de resultados en granulometría de arenas

	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
	%que pasa	%que pasa	%que pasa	Promedio
4"	100	100	99.87	99.95
8"	80	81.79	78.58	80.12
16"	46.17	47.23	44.60	46.00
30"	24.13	24.55	23.144	23.94
50"	14.92	15.89	13.97	14.93
100"	8.07	8.89	7.50	8.15
200"	4.21	4.98	3.85	4.34
Charola	0	0	0	0
	%acum	%acum	%acum	Promedio
4"	0	0	0.12	0.04
8"	20	18.20	21.41	19.87
16"	53.30	52.76	55.39	53.99
30"	75.86	75.44	76.85	76.05
50"	85.07	84.10	86.02	85.06
100"	91.92	91.10	92.49	91.84
200"	95.78	95.01	96.14	95.65
Charola	100	100	100	100
total				
M.F.=	3.26	3.21	3.32	M.F.= 3.26

3.2 Absorción

De este procedimiento se obtuvieron los siguientes resultados en gravas:

Tabla 17.-Absorción en gravas

Humedad de Absorción.			
Muestra	Masa Saturada (gr)	Masa Seca (gr)	% Humedad de Absorción
1	300	295.8	1.4199
2	300	294.3	1.9368
3	300	297.3	0.9082
Promedio:			1.4216

Los resultados obtenidos en arenas son los siguientes:

Tabla 18.-Absorción en arenas

Humedad de Absorción.			
Muestra	Masa Saturada (gr)	Masa Seca (gr)	% Humedad de Absorción
1	300	295.1	1.6605
2	300	295.7	1.4542
Promedio			1.5573

3.3 Densidad

Los resultados obtenidos en gravas son los siguientes:

Tabla 19.-Densidad en gravas

Densidad			
Muestra	Masa (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
1	300	111	2.7027
2	300	110	2.7273
3	300	107	2.8037
Promedio			2.7446

Resultados en arenas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20.-Densidad en arenas

Densidad			
Muestra	Masa (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
1	300	118	2.5424
2	300	120	2.5000

3.4 Masa volumétrica seca suelta

Resultados de grava:

Tabla 21.-M.V.S.S en gravas

M.V.S.S.			
Muestra	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	M.V.S.S (gr/cm ³)
1	16270	10600	1.5349
2	16270	10600	1.5349
3	16370	10600	1.5443
4	16270	10600	1.5349
promedio			1.5373

3.5 Masa volumétrica seca varillada

Los resultados en grava son:

Tabla 22.-M.V.S.V. en gravas

M.V.S.V.			
Muestra	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	M.V.S.S (gr/cm ³)
1	17770	10600	1.6764
2	17770	10600	1.6764
3	17270	10600	1.6292
4	17320	10600	1.6340
promedio			1.6540

3.6 Compresión en cilindros

Los resultados a compresión están expresados en las siguientes gráficas de acuerdo a la edad en días en que se realizó la prueba. La nomenclatura usada en las gráficas en la siguiente:

- Tr-Em 1% → Cilindros con agregado natural y emulsión al 1%
- Tr-Em 4% → Cilindros con agregado natural y emulsión al 4%
- Ga-Sa → Cilindros con agregado natural y sin ninguna adición (testigo)
- Tes-Fl → Cilindros con agregado natural y fluidificante



Fig 38.- Compresión de los especímenes Tr-Em 1%



Fig 39.- Compresión de los especímenes Tr-Em 4%

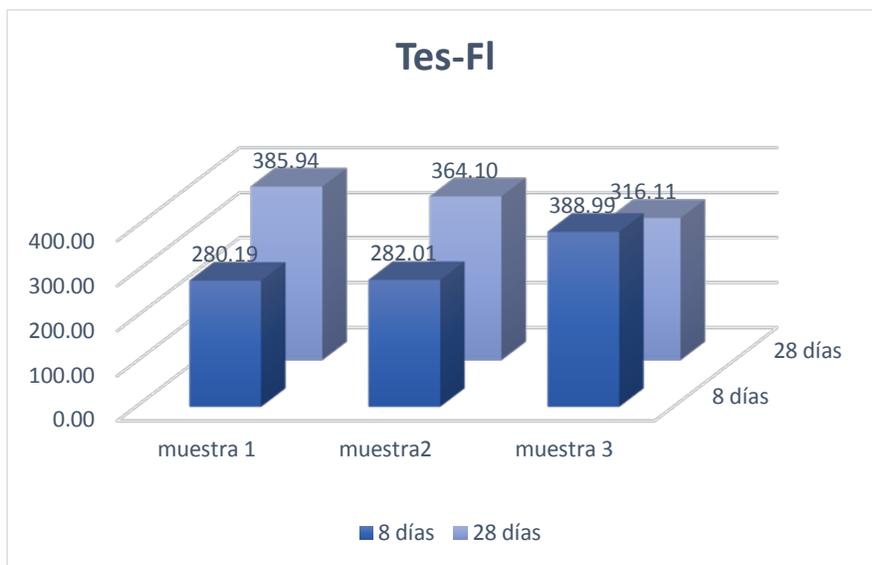


Fig 40.-Compresión de los especímenes Tes-FI



Fig 41.-Compresión de los especímenes Ga-Sa

A continuación se presenta la comparativa de resultados de todas las muestras (Tr-Em 1%, Tr-Em 4%, Tes-FI, Ga-Sa) a diferentes edades.

Tabla 23.-Comparación de compresión

No. De Muestra	Espécimen	Tr-Em 1%	Tes-FI	Tr-Em 4%	Tr-Em 4%	Tes-FI	Tr-Em 1%	Ga-Sa	Ga-Sa
	edad en días	8	8	10	16	28	29	331	361
1		248.47	280.19	222.98	320.51	385.94	251.43	564.22	482.93
2		226.80	282.01	252.50	340.22	364.10	293.85	624.24	504.19
3		235.21	388.99	236.26	270.69	316.11	306.01	610.36	520.12

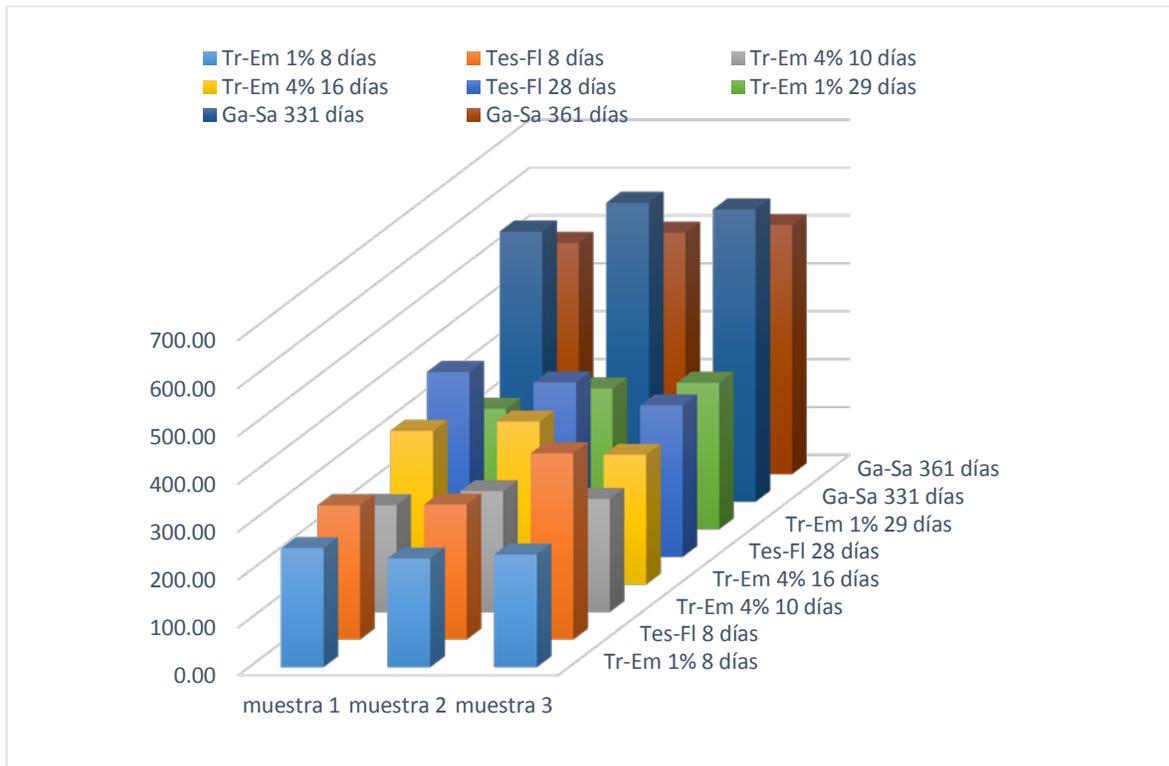


Fig 42.-Gráfico de comparación de la compresión.

3.7 Resistividad eléctrica

Los resultados de resistividad eléctrica se presentan a continuación. Primeramente cada una de los tipos de mezcla con que se estuvo trabajando graficando sus correspondientes muestras y en seguida una gráfica comparando todas las mezclas y todas las muestras que se trabajaron.

- Tr-Em 1%

Tr-Em1%-1	
edad en días	resistividad
8	4319.7
305	11781
363	15315.3
459	14922.6

Tr-Em1%-2	
edad en días	resistividad
8	3927
305	12173.7
363	14922.6
459	15315.3

Tr-Em1%-3	
edad en días	resistividad
8	5105.1
305	10995.6
363	12474.6
459	14922.6

Tabla 24.- Resistividad Tr-Em 1%

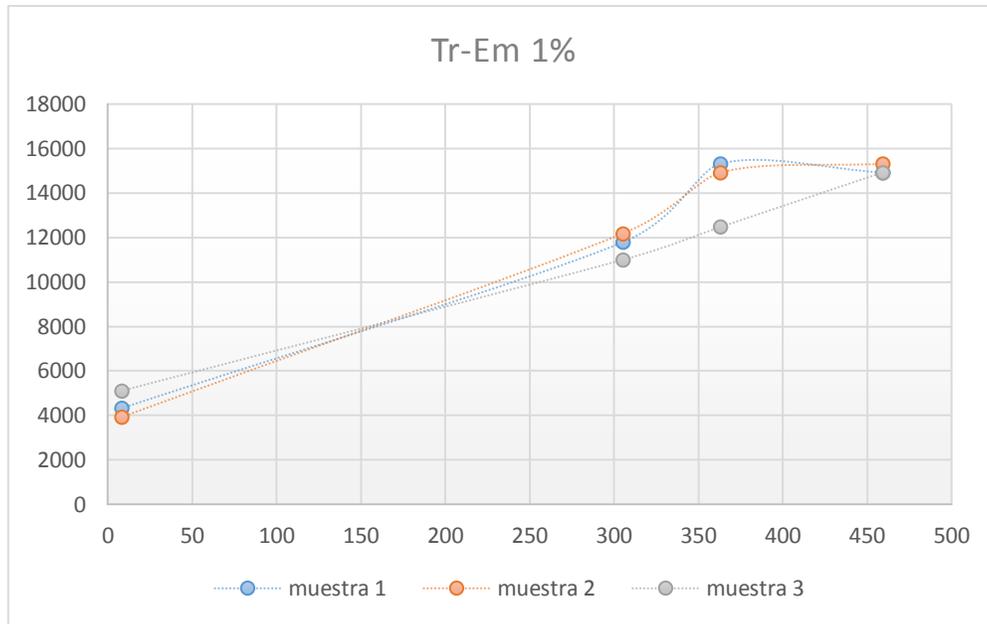


Fig 43.- Gráfica de resistividad Tr-Em 1%

• Tr-Em 4%

Tr-Em4%-1	
edad en días	resistividad
10	3927
295	9817.5
449	11388.3

Tr-Em4%-2	
edad en días	resistividad
10	3927
295	9817.5
449	10602.9

Tr-Em4%-3	
edad en días	resistividad
10	4319.7
295	9817.5
449	9424.8

Tabla 25.- Resistividad Tr-Em 4%

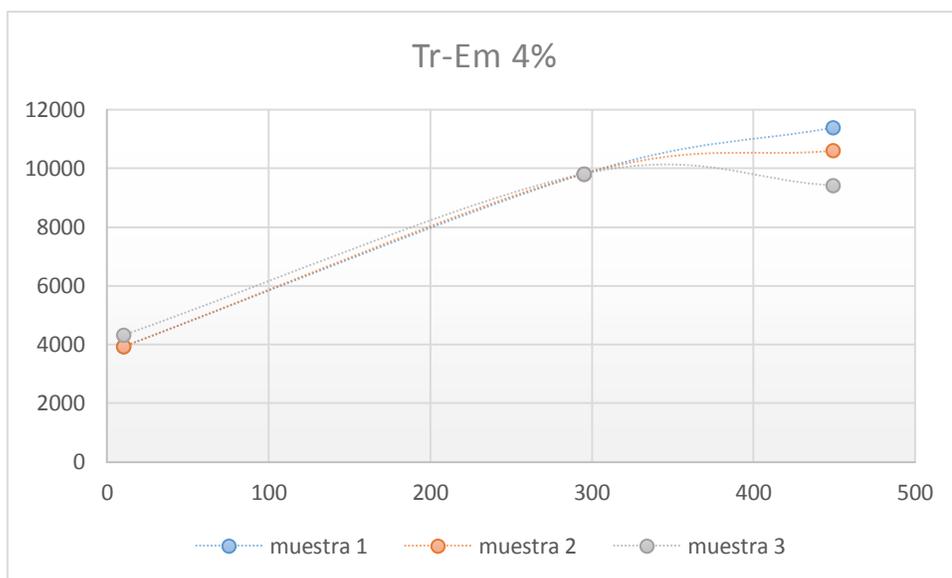


Fig 44.-Gráfica de resistividad Tr-Em 4%

- Tes-Fl

Tes-Fl-1	
edad en días	resistividad
8	10210.2
304	14137.2
332	15708
362	17671.5
459	17671.5

Tes-Fl-2	
edad en días	resistividad
8	4712.4
304	14922.6
332	14529.9
362	16100.7
459	19635

Tes-Fl-3	
edad en días	resistividad
8	4712.4
304	14137.2
332	14137.2
362	15708
459	17278.8

Tabla 26.- Resistividad Tes-Fl

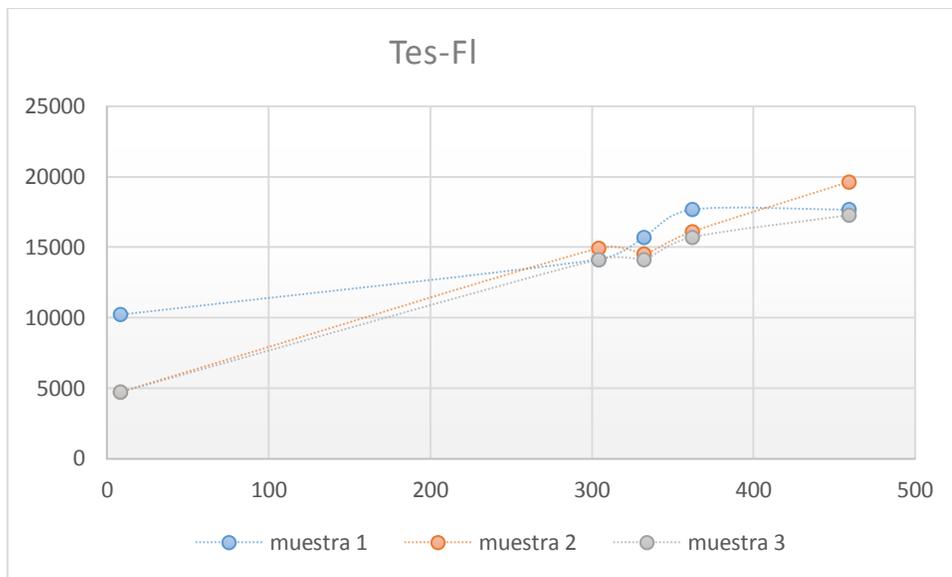


Fig 45.-Gráfica de resistividad Tes-Fl

- Ga-Sa

Ga-Sa 1	
edad en días	resistividad
303	10602.9
331	11781
361	12566.4

Ga-Sa 2	
edad en días	resistividad
303	11388.3
331	11388.3
361	14529.9

Ga-Sa 2	
edad en días	resistividad
303	12173.7
331	11781
361	14922.6

Tabla 27.- Resistividad Ga-Sa

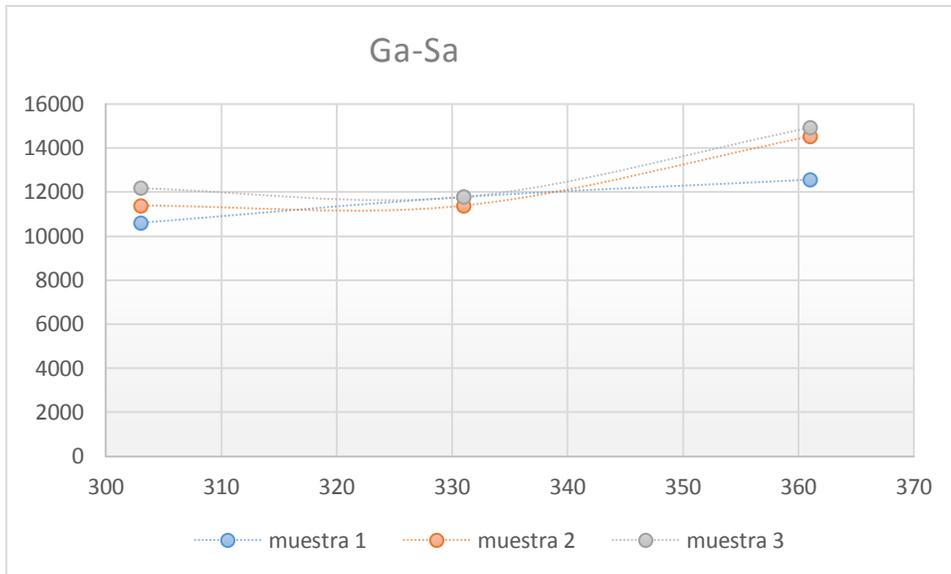


Fig 46.-Gráfica de resistividad Ga-Sa

La grafica de a continuación es una comparación de todas muestras de las diferentes mezclas que se trabajaron.

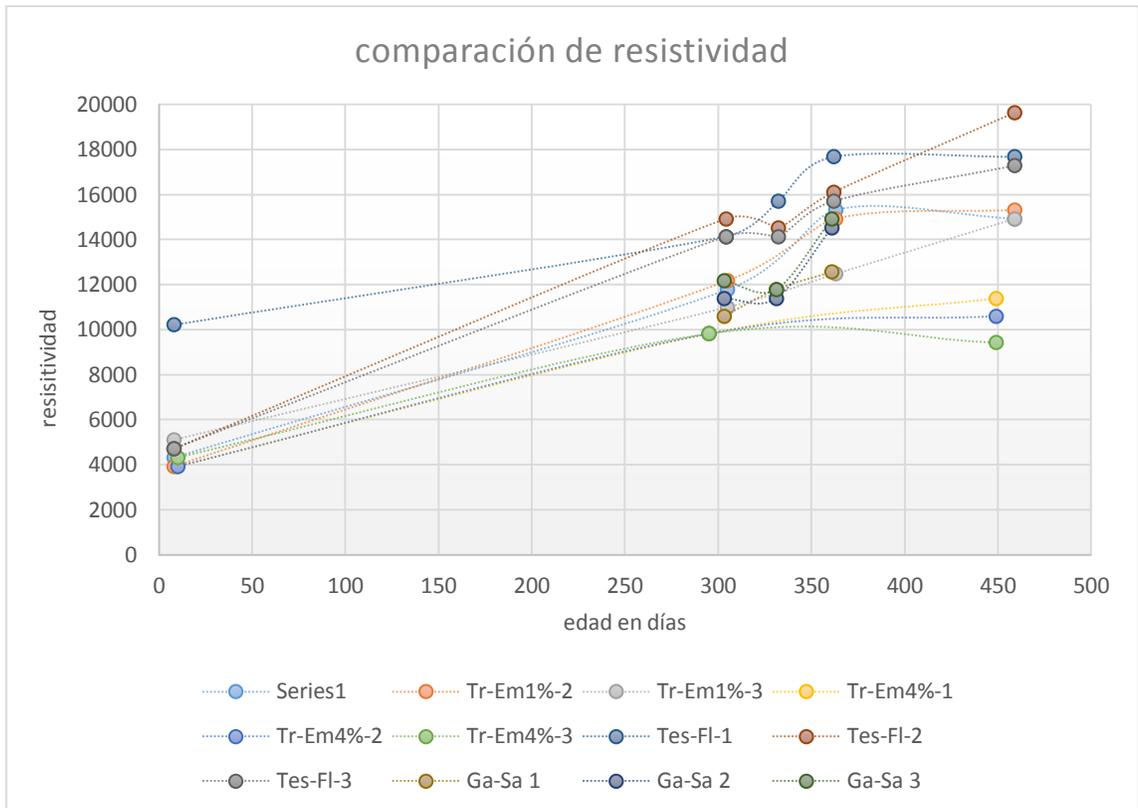


Fig 47.-Gráfica de comparación de la resistividad

3.8 Velocidad de pulso ultrasónico

Los gráficos de velocidad que se presentan a continuación son una comparación de los resultados entre la muestras del mismo tipo de muestra.

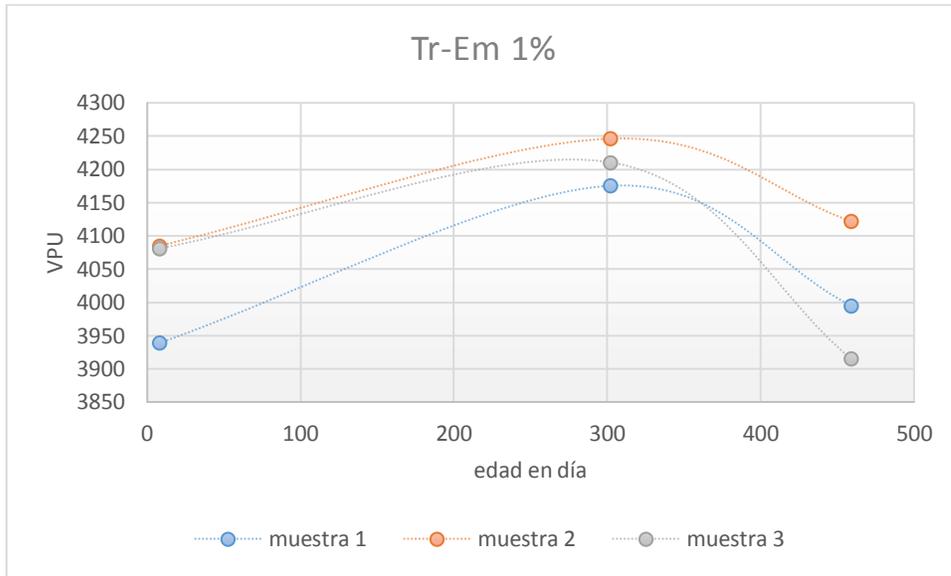


Fig 48.-Gráfica de VPU en Tr-Em 1%

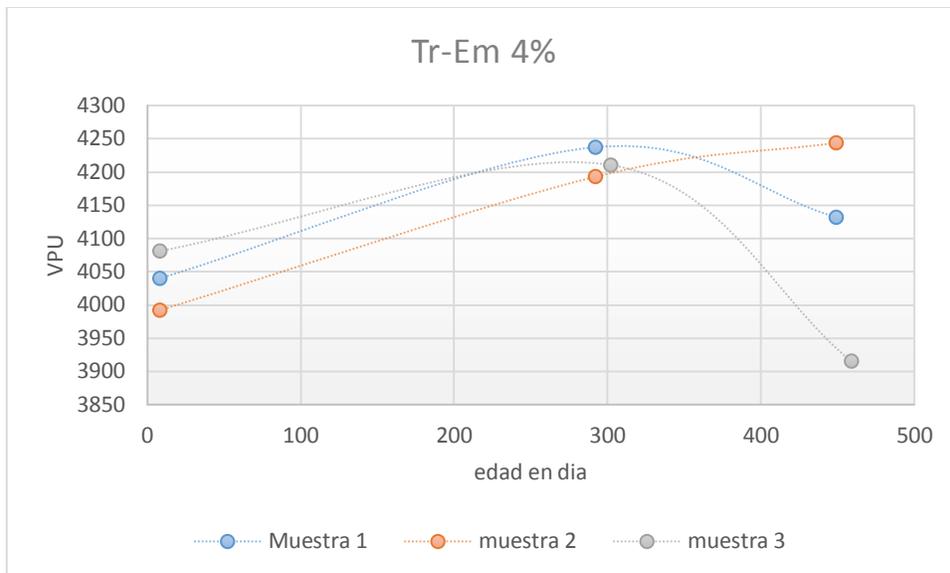


Fig 49.- Gráfica de VPU en Tr-Em 4%

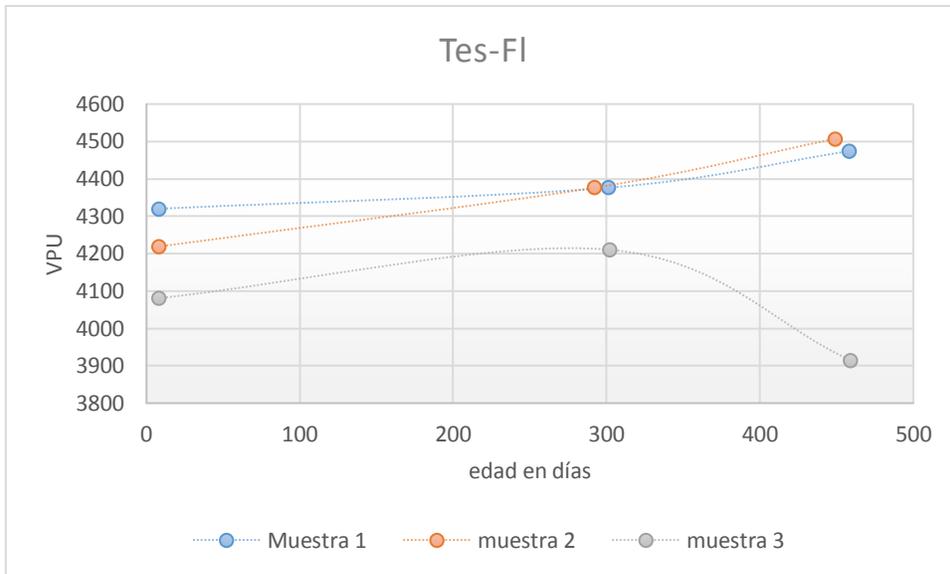


Fig 50.-Gráfica de VPU en Tes-Fl

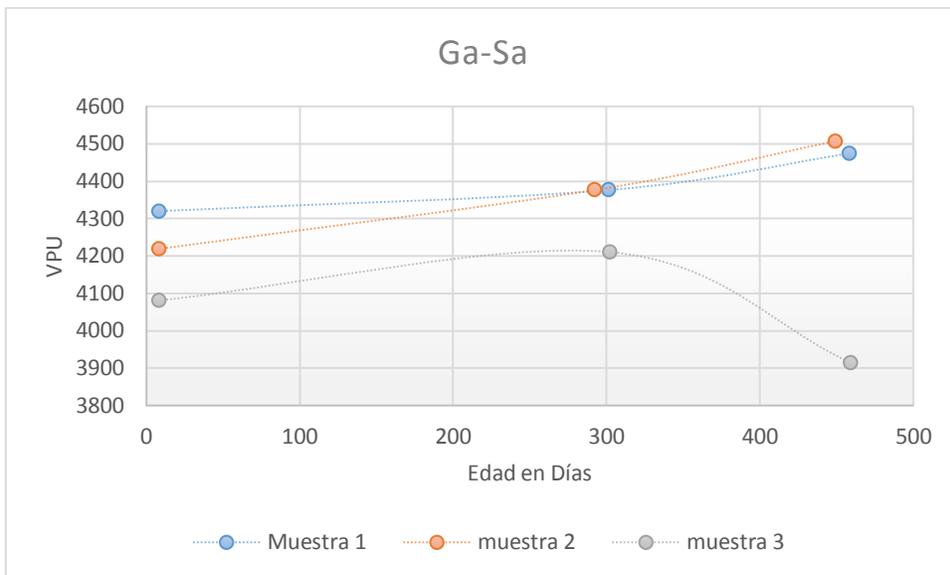


Fig 51.-Gráfica de VPU en Ga-Sa

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resistividad

La resistividad eléctrica nos indica que tan resistente es un material al paso de una corriente eléctrica, para que los resultados de esta prueba sean confiables es necesario que recordemos que el agua es un conductor por lo tanto los especímenes necesitan estar húmedos.

Para analizar los valores obtenidos de resistividad se toma en cuenta la tabla de DURAR que es un parámetro para ver qué tan propensos son los concretos a la corrosión.

$\rho > 200 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ (200000 $\Omega.\text{cm}$)	Poco riesgo
$200 \text{ (200000 } \Omega.\text{cm)} > \rho > 10 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ (10000 $\Omega.\text{cm}$)	Riesgo moderado
$\rho < 10 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ (10000 $\Omega.\text{cm}$)	Alto riesgo

Para el concreto Tr-Em 1% tenemos valores de 4319 $\Omega.\text{cm}$, 3927 $\Omega.\text{cm}$ y 5105 $\Omega.\text{cm}$; valores que están por debajo de los 10000 $\Omega.\text{cm}$ por lo tanto hay un alto riesgo de ser propenso a la corrosión, sin embargo estos valores son a la edad de 8 días y tenemos que tomar en cuenta que la resistividad eléctrica va aumentando conforme aumenta la edad del concreto.

Analizando la resistividad eléctrica a los 305 días vemos que aumento a un valor entre 10995 $\Omega.\text{cm}$ y 12173 $\Omega.\text{cm}$ que nos dan como resultado un riesgo moderado. La tendencia de los resultados es a incrementar por lo que a los 459 días se tienen resistividades de 14922 $\Omega.\text{cm}$ (muestra 1 y 3), 15315 $\Omega.\text{cm}$ (muestra 2); valores que aún están dentro del rango de riesgo moderado

En el caso del concreto Tr-Em 4% se obtuvieron valores muy bajos incluso a edades tardías. A la edad de 10 días tenemos un concreto con alto riesgo a la corrosión puesto que los resultados son de 3927 $\Omega.\text{cm}$ (muestra 1 y 2), 4319 $\Omega.\text{cm}$ (muestra 3), y aun a la edad de 295 días el resultado de la resistividad eléctrica es bajo con valores como 9817 $\Omega.\text{cm}$ para las 3 muestras.

Para los especímenes del concreto Tes-FI se obtuvieron mejores resultados. A los 8 días la muestra 1 tiene una resistividad de 10210 $\Omega.\text{cm}$ por lo tanto ya se encuentra en un rango moderado de riesgo, sin embargo las muestras 2 y 3 tienen por resultado 4712 $\Omega.\text{cm}$ siendo un concreto de alto riesgo. Para los 362 días alcanza a tener un valor de 15708 $\Omega.\text{cm}$

(muestra 1), 16100 Ω .cm (muestra 2) y 15708 Ω .cm (muestra 3) que significa un riesgo moderado; cuando se realiza la prueba a los 459 días observamos que el aumento es muy bueno siendo en la muestra 2 de 19635 Ω .cm siendo muy cercano al valor de los 200000 Ω .cm, que indica poco riesgo. Las muestras 1 y 3 aún se mantienen en el rango de riesgo moderado con valores de 17671 Ω .cm y 17278 Ω .cm respectivamente.

4.2 Velocidad de Pulso Ultrasónico

De acuerdo a lo establecido en DURAR la velocidad de Pulso Ultrasónico que obtengamos dentro de los siguientes rangos es la calidad de la homogeneidad del concreto

Velocidad de Propagación	Calidad del Hormigón
<2000 m/s	Deficiente
2001 a 3000 m/s	Normal
3001 a 4000 m/s	Alta
>4000 m/s	Durable

Para las muestras de Tr-Em 1% a la edad de 8 días tenemos rangos que van de 3939 m/s a 4085 m/s por lo tanto el resultado nos dice que a la edad de 8 días ya contamos con una calidad de hormigo alta-durable.

Si observamos el gráfico de este concreto veremos que a la edad de 302 días los resultados son mayores a 4000 m/s por lo tanto ahora el hormigón está en el rango de una calidad “Durable” ya que los resultados se mantienen en un rango de 4175 m/s a 4246 m/s, sin embargo a la edad de 459 días (1 año con 99 días) la Velocidad de Pulso Ultrasónico es más baja dando como resultados una calidad del hormigo solamente alta, los rangos en los que está a esta edad varían entre 3915 m/s a 4122 m/s.

Al analizar el concreto Tr-Em4% observamos que la variación entre muestras a los 8 días es pequeña y está en un rango de 3906 m/s a 4040 m/s que de acuerdo a la red DURAR es una calidad de concreto Alta-Durable. A la edad de 292 días tenemos una calidad Durable, en este caso que el concreto tiene 4% de emulsión se ve una disminución muy pequeña de la VPU en las muestras 2 y 3, en la muestra 1 es notoria la disminución de la medición, teniendo en este caso un resultado de 4132 m/s, siendo 105.3 m/s menos que en la edad de 292 días (4237.3 m/s).

La comparación entre los dos concretos con emulsión a base de poliestireno tenemos que nos da velocidades más altas y por lo tanto de mejor calidad el concreto, los especímenes que contienen el 1% de emulsión.

Ahora bien analizando los resultados del concreto Tes-FI encontramos que los resultados a la edad de 8 días son mayores a 4000 m/s, esto nos indica que el concreto tiene una calidad “Durable”. En este caso observamos que a la edad de 292 días aumenta la VPU teniendo valores entre 4376 m/s y 4386 m/s y esto mantiene al concreto en una calidad de Durable. Siguiendo la tendencia al aumento de la VPU a la edad de 449 días con valores entre 4474 m/s a 4491 m/s.

5 CONCLUSIÓN

En los resultados pruebas mecánicas las muestras con emulsión presentaron resultados inferiores a los de las muestras testigo. Es factible utilizar el concreto con un porcentaje de emulsión del 1% ya que los resultados obtenidos con este porcentaje son mayores a los obtenidos con un 4 % de emulsión.

Bibliografía

- A.M. NEVILLE, J. B. (1987). *Concrete Technology*. England: PEARSON.
- Alexandre Lorenzi, F. T. (Octubre 2007). Ultrasonic Pulse Velocity Analysis in Concrete Specimens. *IV Conferencia Panamericana de END Buenos Aires* (pág. 1). Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales.
- Andrade, M. C. (2007). *Seguridad y Durabilidad estructural: la necesidad de integrar varias disciplinas*. (Vol. 1). (E. Torroja., Ed.) Instituto de Ciencias de la Construcción .
- ASTM. (2004). *ASTM-C128 DENSIDAD*.
- Bailey, A. (2001). *Aceites y Grasas Industriales*. España: Reverté.
- Chávez García, H. L. (2011). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS Y DESTRUCTIVAS APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO ELABORADO CON AGREGADOS VOLCÁNICOS LOCALES Y CEMENTO CPC30R RS*.
- científicas, consejo superior de investigaciones. (s.f.). *revista materconstrucc*. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1160/1294>
- D5731-05, A. (2005). *Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Di Maio, I., Klaric y Fava, I., & Colombino y Cáceres, I. (Jan-Jun,1998). EVALUACION DE HORMIGONES MEDIANTE ULTRASONIDO/ESCLEROMETRIA. *La Revista Ingeniería de Construcción*, 48.
- Franklin, B. y. (1972).
- Guzmán, D. S. (1986). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Santafé de Bogota, D.C. Colombia : BHANDAR EDITORES LTDA. .
- Instituto del Concreto. (1997). *"Manual Tecnología y Propiedades"*. Colombia: Asociación colombiana de productores de concreto-ASOCRETO-, Tercera reimpresión.
- Ismail Ozgur Yaman, G. I. (Nov-Dec,2001). Pulse Velocity in Concrete Using Direct and Indirect Transmission. *ACI MATERIALS JOURNAL*, 450-457.

- Kosmatka, S. H. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. EE.UU.: Portlan Cement Association.
- Malhotra, V., & Carino, N. J. (2004). *Handbook on nondestructive testing of concrete*. Boca Raton, U.S.A: CRC Press.
- Navarrete Seras, M. A. (2012). *EVALUACIÓN DE PÉTREOS SIN LABRAR TENIENDO COMO BASE EL MÉTODO DE LA CARGA PUNTUAL- TESIS*. Morelia, Michoacán.
- Navarro Sánchez, L. M., Martínez Molina, W., & Espinoza Mandujano, A. (2011). *Análisis de Materiales*. Morelia, Michoacán: Morevallado, S. de R. L. de C.V.
- Neville, A. (1999). *Tecnología del Concreto*. México, Distrito Federal.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Neville, A., & Brooks, J. J. (2011). *Concrete technology*. Prentice Hall, 2nd ed.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- Nilson, A. H. (2001). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- NMX. (2000). *NMX-E-233-SCFI-2000 CDU 678.7 DGN. INDUSTRIA DEL PLÁSTICO- TERMINOLOGÍA DE RECICLADO DE PLÁSTICOS*.
- NMX-C-159-ONNCCE-2004. (2004). *Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio*.
- ONNCCE. (2013). *NMX-C-109-ONNCCE-2013 Cabeceo de especímenes*. MEXICO: ONNCCE S.C.
- Panarese, K. S. (1992). *Diseño y control de Mezclas de Concreto*,. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (IMCYC).
- Peña, B. D. (septiembre, 2000). *Inhibidores de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*. Chile: BIT, Desarrollo Tecnológico en la Construcción.
- Qixian L. and Bungey, J. H. (1996). Using compression wave ultrasonic measure the velocity surface waves and hence determine dynamic modulus for concrete.
- Ramírez, R. M. (2015). *Tesis "Preparación de Emulsión a partir de Poliestireno con Aplicación en Mezclas de Cemento"*. Morelia, Michoacán.
- Rivva L, E. (2006). *DURABILIDAD Y PATOLOGÍA DEL CONCRETO*.

- Rock, M. J. (1985). *ISRM International Society of Rock Mechanics Commission on Testing Methods, Suggested Method for Determining Point Load Strength*.
- Rómel G. Carcaño, E. I. (2004). *revista ingeniería uady*. Obtenido de revista ingeniería uady: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen8/prediccion.pdf>
- Rubin, I. (2012). Materiales plásticos: Propiedades y aplicaciones. En I. Rubin, *Capítulo 8* (págs. 131-148). México: Limusa.
- Ruiz Vázquez, G. H. (2014). *Geología Aplicada a la ingeniería civil*. México: Limusa .
- Rusnak, J., & Mark, C. (s.f.). *USING THE POINT LOAD TEST TO DETERMINE THE UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF COAL MEASURE ROCK*.
- Steven H. Kostmatla, B. K. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. . Portalan Association. Primera Edición .