

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES TRADICIONALES.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 CEMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 COMPONENTES DEL CEMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND.....</b>	<b>5</b>
1.3.1 Cemento Portland.....	5
1.3.2 Cemento Portland Puzolánico.....	5
1.3.3 Cemento Puzolánico.....	5
<b>1.4 CALOR DE HIDRATACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 PROPIEDADES DEL CEMENTO.....</b>	<b>7</b>
1.5.1 Modulo De Finura.....	7
1.5.2 Peso Específico.....	8
1.5.3 Tiempo de Fraguado.....	9
1.5.4 Falso Fraguado.....	10
1.5.5 Consistencia Normal.....	12
<b>1.6 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....</b>	<b>14</b>
1.6.1 Granulometría.....	14
1.6.2 Agregado Fino.....	15
1.6.3 Agregado Grueso.....	15
<b>1.7 DENSIDAD Y ABSORCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.7.1 Agregado Fino.....	19
1.7.2 Agregado Grueso.....	20
<b>1.8 MASA UNITARIA.....</b>	<b>20</b>
1.8.1 Masa Unitaria Suelta.....	21
1.8.2 Masa Unitaria Compacta.....	22
<b>1.9 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>23</b>

1.10	NORMAS DE REFERENCIA PARA AGREGADOS GRUESOS Y FINOS I.N.V.E – 213 - 07.....	26
CAPITULO 2.....		32
2.	VIDRIO RECICLADO.....	33
2.1	HISTORIA.....	33
2.1.1	El Vidrio en la Antigüedad.....	33
2.2	ESTADO VITREO.....	34
2.3	VIDRIOS COMUNES.....	37
2.4	PROPIEDADES DEL VIDRIO COMUN.....	40
2.5	RECICLAJE DEL VIDRIO.....	42
CAPITULO 3.....		43
3.	DISEÑOS DE MEZCLAS.....	44
3.2	DISEÑO PARA UNA RESISTENCIA DE 2500PSI.....	45
3.3	DISEÑO PARA UNA RESISTENCIA DE 3000PSI.....	46
3.4	TITULO C.5.3 (NSR-98).....	47
3.4.1	TITUTLO C.5.3.1.....	47
3.4.1.1	C.5.3.1.1.....	47
3.4.2	TITUTLO C.5.3.1.2.....	48
3.4.3	TITULO C.5.3.2.....	49
3.4.3.1	TITULO C.5.3.2.1.....	49
3.4.3.2	TITULO C.5.3.2.1.....	49
3.4.4	TITULO C.5.3.3.....	49
3.4.4.1	TITULO C.5.3.3.1.....	50
3.5	CALCULOS ESTADISTICOS.....	51
CAPITULO 4.....		54
4.	RESULTADOS.....	55
4.1	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO.....	55

4.2 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (Vidrio Reciclado).....	56
4.2.1 Masa Unitaria del Agregado Grueso (Vidrio Reciclado).....	58
4.3 DENSIDAD DEL AGREGADO FINO.....	59
4.3.1 Densidad Nominal.....	59
4.3.2 Densidad Aparente SSS.....	59
4.3.3 Densidad Aparente.....	59
4.3.4 Porcentaje de Absorción.....	59
4.4 DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO (Vidrio Reciclado)....	60
4.4.1 Densidad Nominal.....	60
4.4.2 Densidad Aparente SSS.....	60
4.4.3 Densidad Aparente.....	60
4.5 DISEÑOS DE MEZCLA.....	61
4.5.1 Corrección por Humedad de las Mezclas.....	63
4.5.2 Características de las Mezclas.....	64
4.5.2.1 Asentamientos Cono de Abrams.....	64
4.5.2.2 Temperaturas.....	64
4.6 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	65
4.6.1 Análisis Estadístico de los Resultados ENSAYOS DE COMPRESIÓN.....	69
4.6.1.1 Analisis Estadísticos del Concreto de 2500 y 3000PSI.....	69
REGISTRO FOTOGRAFICO.....	74
CAPITULO 5.....	91
5. CONCLUSIONES.....	92

**5.1 COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....93**

**ANEXOS.....95**

## INTRODUCCION

En esta investigación se implementará, un concreto a base de vidrio reciclado. Con esta novedad intentaremos darle un nuevo sentido a las obras civiles, pensando en el medio ambiente y brindando importantes avances en la fabricación de concretos con materiales diferentes a los tradicionales.

Con la fabricación de este tipo de concretos se podrán construir diferentes tipos de obras civiles principalmente las que favorecen a las comunidades más necesitadas ya que se podría utilizar este material reciclable en la fabricación de unidades de mampostería que permitan la construcción de viviendas de interés social involucrando a la comunidad en campañas de reciclaje, para así obtener las cantidades de vidrio necesarios para la preparación de este tipo de mezclas.

De este tipo de concreto se han realizado pocas investigaciones y con este proyecto estaríamos aportando y marcando el inicio de un proceso de investigación en el país referente al concreto realizado con vidrio reciclado.

En la investigación se obtuvo un concreto, a partir de dos diseños de mezclas diferentes, incorporando el vidrio en lugar de agregado grueso, cemento, agregado fino y agua.

Para lograr este nuevo concreto se realizaron una serie de pruebas de cilindros de concreto, en tamaños y procedimientos estándares cumpliendo con las normas INVIAS, NTC y NRS 98.

Las normas usadas, nos plantean el uso de curvas granulométricas características, las cuales fueron tomadas como referencia para controlar los

materiales usados por nosotros en las mezclas usadas. Las curvas características son las adoptadas en Colombia, inicialmente plantadas por fuller y thomson y posteriormente modificadas por Bolomey.

Para el vidrio, no se tuvo ninguna referencia previa, por esta razón la curva granulométrica del vidrio fue obtenida mediante un ensayo de granulometría convencional.

Una vez conocidas las características de cada uno de los materiales, se elaboraron dos diseños de mezclas cumpliendo con la normatividad necesaria. Con estos diseños se realizaron las probetas que luego serían ensayadas mediante el ensayo de resistencia a la compresión en el laboratorio, y de esta manera conocer las resistencias a los que llegaron los diseños propuestos.

Los diseños de mezclas propuestos fueron de 2500 y 3000 PSI respectivamente, y se obtuvieron resultados aproximados a dicha propuesta.

# **CAPITULO 1**

## 1. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES TRADICIONALES

### 1.1 Cemento

Es un material pulverizado, que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerada capaz de endurecer tanto en el aire como en el agua. Antiguamente, se denominaba cemento a numerosos materiales cuya característica principal era su calidad aglomerante. Para evitar confusiones, la Comisión Alemana de Normas estableció que se llaman Cementos a aquellos materiales que se endurecen tanto en el aire como bajo el agua, y después de su endurecimiento son aglomerantes resistentes a la acción del agua se componen principalmente por combinaciones de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) con sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y que además cumplen con las normas dictadas para tales materiales como especialmente, lo relativo a resistencias y estabilidad de volumen.

### 1.2 COMPONENTES DEL CEMENTO

Los componentes básicos para la obtención del cemento son:

#### ✓ CLINKER

Es el producto que se obtiene a partir de una mezcla homogénea de cal ( $\text{CaO}$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y fierro como óxido ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Todos estos componentes son parcialmente fusionados en un horno para formar clinker, el cual consta básicamente de silicatos de calcio.

#### ✓ YESO

Básicamente es sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), el cual se adiciona el clinker para controlar el tiempo de fraguado del cemento.

## ✓ PUZOLANA

Es un material silicio aluminoso, que por sí mismo no posee propiedades aglomerantes, pero que al reaccionar con cal a temperatura ambiente y en presencia de agua forma compuestos estables insolubles que si poseen Propiedades aglomerantes. La reacción de la cal con la puzolana es muy lenta, y por esto, la puzolana no empieza a contribuir a la resistencia del cemento en forma inmediata, sino hasta los 28 días. Así, para producir un cemento con propiedades de resistencia a 7 días, se requiere de una molienda muy fina para acelerar la reacción señalada.

### 1.3. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

#### 1.3.1. Cemento portland

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker y yeso, y que puede aceptar hasta un 3% de materiales extraños, excluido el  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

#### 1.3.2 Cemento portland puzolánico

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, yeso y Puzolana. Con este último hasta un máximo de 30% en peso.

#### 3.3.3 Cemento puzolánico

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, yeso y puzolana. Con este último hasta un máximo de 50% en peso. Este cemento puede aceptar hasta un 3% de materiales extraños, excluido el  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

En cuanto a la resistencia de los sulfatos, ésta será inversa el contenido de C3A. Por éste motivo la norma A.S.T.M. clasifica los cementos portland en cinco tipos:

- **Tipo I:** cemento portland común, apto para toda obra que no requiere cementos con requisitos especiales.
- **Tipo II:** cemento portland de moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos con un contenido máximo de 8% de C3A.
- **Tipo III:** cemento portland de alta resistencia inicial.
- **Tipo IV:** cemento portland de bajo calor de hidratación con un contenido máximo de C3S y 7% de C3A.
- **Tipo V:** cemento portland resistente a los sulfatos, con un contenido máximo de 5% de C3A y la suma de C4AF + 2C3A máxima de 20%.

#### **1.4. CALOR DE HIDRATACION**

El endurecimiento de los cementos se produce por reacciones químicas entre los compuestos mineralógicos del cemento y agua de amasado. Estas reacciones transforman a los componentes anhidros inestables en compuestos hidratados estables.

Las reacciones se producen con desprendimiento de calor y según la proporción en que esté presente cada uno de los compuestos principales, será el calor resultante desprendido por el cemento, de tal forma que habrá cementos con bajos, medianos y alto calor de hidratación.

## 1.5. PROPIEDADES DEL CEMENTO

Dentro de estas propiedades tenemos el modulo de finura, peso especifico, tiempo de fraguado y la consistencia; cada una de estas propiedades nos ayudan a realizar el diseño de mezclas.

### 1.5.1. Modulo de finura

El tamaño de los granos del cemento está comprendido entre 2 y 15 micrones. Los granos más activos son aquellos comprendidos en 3 y 30 micrones. Los granos menores de 3 micrones se hidratan casi instantáneamente al entrar en contacto con el agua, mientras que los granos superiores a 60 micrones son prácticamente inertes, ya que su hidratación es extremadamente lenta.

La finura se puede determinar por diversos métodos:

- Tamizado: sólo hasta cierto tamaño.
- Superficies específicas: permeabilímetro Blaine.
- Separación por corrientes de aire: Alpine.
- Otros: rayo láser, sedimentación.

El procedimiento a seguir para la obtención del modulo de finura se efectúa según la Norma (NTC 226) y es el siguiente:

Se colocan 50gr de cemento, previamente desecado a 105°C, sobre el tamiz 75  $\mu m$  debajo del cual estará ensamblado el de 45  $\mu m$ . Tape el tamiz superior y tamices a razón de unas 250 sacudidas de más o menos 15cm de amplitud, por minuto. Después de cada 50 sacudidas golpee ligeramente los costados y continúe la operación, hasta que la diferencia entre dos

verificaciones consecutivas d-1 e la masa del material retenido por el tamiz mas fino, sea inferior al 0.1% de la masa ensayada. Entre cada toma de masas el numero de sacudidas no es inferior a 50.

### **1.5.2. Peso específico**

El peso específico expresa la relación entre la muestra de cemento y el volumen absoluto. El peso específico del cemento debe estar entre 3.10 a 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. El valor del peso específico no indica la calidad de un tipo de cemento, sino que su valor es usado para el diseño de la mezcla. Con el valor del peso específico se pueden encontrar otras características del concreto.

Para determinar el peso específico seguimos el procedimiento encontrado en la Norma (NTC 221) que establece:

Llene el frasco con kerosene libres de agua o tetracloruro de carbono, hasta un punto intermedio situado entre 1 y 0 asegúrese de que quede seco el interior por encima de este nivel y así, tome la lectura inicial del líquido (Lo).

**Nota:** coloque el frasco dentro de agua a temperatura ambiente, antes de hacer cualquier lectura, con el objeto de que esta en el liquido interior no varié en mas de 0.2°C. Las lecturas se deben comprobar hasta obtener un valor constante.

Agregue cemento Portland (64 gr. aproximadamente) en pequeñas cantidades, registrando la masa exacto, a la misma temperatura del liquido y teniendo cuidado de no derramar ni untar las paredes del frasco por encima del nivel.

Ponga el tapón del frasco y gire lentamente sobre su base describiendo círculos concéntricos hasta que ya no salgan burbujas de aire. Luego tome la lectura final (Alf).

### **1.5.3. Tiempo de fraguado**

El tiempo de fraguado de una pasta de cemento varía de acuerdo a factores como temperatura, proporción de agua a cemento, tipo de cemento y aditivos añadidos. Para establecer un procedimiento estándar se escoge la proporción de agua a cemento resultante de la prueba de consistencia normal del cemento, no se incluyen aditivos y las demás condiciones se mantienen constantes.

El método a ser utilizado será el del aparato Vicat. Esto es una designación arbitraria de tiempo de fraguado. El fraguado inicial se produce cuando la aguja de 1 mm de diámetro penetra 25 mm. El mismo toma de 1 a 4 horas con un mínimo especificado de 45 minutos. Esta condición es aquella donde se ha perdido la plasticidad de la mezcla.

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados y alcanza un valor de 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del

proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio.

El procedimiento para determinar el tiempo de fraguado según la norma (NTC 118) es el siguiente:

- ✓ Pesar 500 gramos de cemento.
- ✓ Añadir la cantidad de agua previamente determinada del laboratorio anterior de consistencia normal del cemento.
- ✓ Se sigue el mismo procedimiento de mezclado que en la prueba de consistencia normal.
- ✓ Se coloca la aguja de 1 mm de diámetro sobre la muestra y se deja penetrar por 30 segundos, y se anota esta penetración.
- ✓ Se repiten lecturas cada 15 minutos hasta que la penetración sea menor de 25 mm.

**Nota:** es necesario cambiar la posición de la capela para que la penetración no sea en el mismo lugar.

#### **1.5.4. Falso fraguado**

Eventualmente, el cemento puede experimentar un endurecimiento prematuro al ser mezclado con agua para constituir la pasta de cemento.

Este proceso parece provenir de un comportamiento anómalo del yeso adicionado al cemento en la etapa de molienda del clínker como regulador de

su fraguado, el cual, debido a las altas temperaturas originadas durante la molienda, puede perder parte del agua de cristalización.

El agua perdida es recuperada, extrayéndola del agua de amasado del hormigón, con lo cual el yeso cristaliza, adquiriendo rigidez.

Este endurecimiento se conoce con el nombre de falso fraguado y produce una rigidización del concreto aún en estado fresco, en los primeros minutos posteriores a la adición del agua de amasado, lo cual dificulta grandemente su manipulación en los procesos de transporte, colocación y compactación.

El procedimiento para conocer esta propiedad según la norma (NTC 297) es el siguiente:

- ✓ Deben mezclarse 500 g de cemento con agua suficiente para obtener una pasta con una penetración inicial de  $34 \pm 4$  mm.
- ✓ Al obtener la pasta, hacemos la penetración para determinar que este entre  $34 \pm 4$  mm.
- ✓ Dejamos pasar 5 minutos para realizar una nueva penetración, que será la inicial.
- ✓ Luego movemos la pasta sobre el vidrio por 30 segundos y hacemos una nueva penetración que va a ser la final.

### 1.5.5. Consistencia Normal Aparato de Vicat



FUENTE <http://images.google.com.co/imgres?imgurl>

La consistencia normal es un estado de fluidez alcanzado por la pasta del cemento que tiene una propiedad óptima de hidratación. Se expresa como un porcentaje en peso o volumen de agua con relación al peso seco del cemento.

Para determinar el principio y final de fraguado del cemento, es necesario determinar primeramente el contenido de agua que la pasta necesita para producir una pasta normal, es decir el contenido de agua que el cemento necesita para adquirir una 'consistencia normal.

El procedimiento para medir la fluidez o consistencia según la norma (NTC 110) es el siguiente:

#### **Equipo:**

- Balanza de capacidad de 100 g y sensibilidad de  $\pm 1.0$  g, probetas graduadas de vidrio con una capacidad de 100 a 150 mls, de acuerdo a la norma NTC 107, y aparato de Vicat.

**Condiciones ambientales:**

- La temperatura ambiente del laboratorio debe mantenerse entre 20 y 27°C, con una humedad relativa del 50%. El agua de amasado debe estar a 23°C ± 2°C, mientras que las herramientas y demás materiales deben estar a la misma temperatura del laboratorio.

**Procedimiento:****a) Preparación de la pasta de cemento:**

Sobre una superficie no absorbente, coloque una muestra de 500g de cemento en forma de cono y haga un orificio en el centro, sobre el cual vierta una cantidad de agua destilada y luego, mediante un palustre llene el orificio con el cemento seco que lo rodee exteriormente, empleando en esta operación 30s.

Mientras se permite la absorción del agua el cemento que aun está seco debe mezclarse durante un periodo de 30 segundos con la pasta húmeda, con el fin de reducir las pérdidas por evaporación.

Por último mezcle con las manos durante 90 s. En este último paso el operador debe usar guantes de caucho.

**b) Llenado de moldes:**

Moldee con las manos dándole forma esférica a la pasta de cemento preparada de la manera descrita anteriormente y pase 6 veces de una mano a otra a través de una distancia aproximada de 15 cm, y luego llene el molde por la base mayor, colocando sobre esta base la placa de vidrio, volteando todo el conjunto de tal manera que se nivele con un palustre la pasta en la base menor. Finalmente, se puede afinar la superficie con la ayuda del palustre teniendo la precaución de no comprimir la muestra.

### **c) Determinación de la consistencia normal:**

La determinación de la consistencia es un ensayo de aproximación por prueba y error en que se repite las veces que sea necesario, hasta encontrar la cantidad de agua, que para determinado cemento se produce una penetración de  $10\text{mm} \pm 1,0\text{mm}$  con el aparato de Vicat.

Ponga el molde que contiene la pasta en el aparato y centre debajo del vástago, descienda el mismo hasta el extremo del vástago haga contacto con la superficie de la pasta y fije mediante esta posición un tornillo.

Lea la posición inicial en la escala o ponerla en cero. Después de 30 segundos de colocada la muestra en el molde suelte la aguja. Se considera que la pasta posee consistencia normal cuando la aguja penetra  $10\text{ mm} \pm 1,0\text{ mm}$  en 30 segundos, después de haber sido soltada. Si no se tiene la consistencia normal en el primer ensayo repita toda la operación, variando la cantidad de agua, hasta obtenerla.

## **1.6. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

### **1.6.1. Granulometría**

Este método cubre la determinación de la distribución de tamaños de las partículas del agregado fino y grueso por tamizado. Los resultados de éste método se usan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica con los requerimientos de las especificaciones aplicables y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos agregados y mezclas que contiene agregados. La gradación de un suministro de agregados se determina con un análisis de tamizado. Se pasa una muestra representativa del agregado por una pila de tamices dispuesta en orden decreciente de tamaños de la abertura. Es una práctica convencional dividir los agregados en fracción gruesa y fina. La gradación y el tamaño máximo del agregado en una mezcla de concreto afectan varias

propiedades, incluyendo la resistencia y la trabajabilidad. El procedimiento en agregados finos y gruesos a seguir según la norma NTC 77 es el siguiente:

### **1.6.2. Agregado fino**

Se pesan alrededor de 500 g de material seco al horno y tamice mecánica o manualmente usando la serie de tamices ensamblados en forma decreciente. Luego determine la masa retenida en cada tamiz y el que queda en el fondo. Si la suma de estos no es igual al masa original dentro de una tolerancia del 1 %, repetir el ensayo.

### **1.6.3. Agregado grueso**

Peso dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado, tamice mecánicamente o manualmente usando la serie para agregado grueso de tamices ensamblados en forma decreciente. Luego determine la masa retenida en cada tamiz y el que quede en el fondo. Si la suma de estos no es igual a la masa original dentro de una tolerancia de 1 %, se debe repetir el ensayo.

### 1.7. Densidad y absorción (NTC 176 AG) (NTC 237 AF)



La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano de agregado.

Como generalmente las partículas de agregado tienen poros tanto saturables como no saturables, dependiendo de su permeabilidad interna pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua se genera una serie de estados de humedad a los que corresponde idéntico número de tipos de densidad; la que más interesa en el diseño de mezclas es la densidad aparente que se define como la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables).

Este factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, debido a que los poros interiores de las partículas de agregado van

a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y además porque el agua se aloja dentro de los poros saturables.

Existen tres tipos de densidad las cuales están basadas en la relación entre la masa (en el aire) y el volumen del material; a saber:

- ✓ **Densidad Nominal:** Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a temperatura establecida.
- ✓ **Densidad Aparente:** La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.
- ✓ **Densidad Aparente (SSS):** La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas), pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

La densidad aparente es la característica usada generalmente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diferentes tipos de mezclas, incluyendo el concreto de cemento Portland, el concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre la base de un volumen absoluto. La densidad aparente (SSS) se usa si el agregado está húmedo, es decir, si se ha satisfecho su absorción. Inversamente, la densidad nominal (seco al horno) se usa para cálculos cuando el agregado está seco o se asume que está seco. La densidad nominal concierne a la densidad relativa del material sólido sin incluir los poros saturables de las partículas constituyentes.

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

La capacidad de absorción consiste en sumergir la muestra durante 24 horas luego de lo cual se saca y se lleva a la condición de densidad aparente (SSS); obtenida esta condición, se pesa e inmediatamente se seca en un horno y la diferencia de pesos, expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.

Para el cálculo, tanto las densidades como la absorción para el agregado grueso se calculan de la siguiente manera:

✓ **Densidad Aparente**

$$D = A / [B - C]$$

**Donde:**

**A:** es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g)

**B:** es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (g)

**C:** es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (g)

✓ **Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca).**

$$D = B / [B - C]$$

✓ **Densidad Nominal.**

$$D = A / [A - C]$$

✓ **Absorción**

$$\text{Absorción} = ([B - A] / A) * 100$$

Para el agregado fino la densidad se calcula de la siguiente manera:

✓ **Densidad Aparente**

$$D_{\text{aparente}} = A / [B + S - C]$$

**Donde:**

**A:** es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (g)

**B:** es la masa del picnómetro lleno con agua

**S:** es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

**C:** es la masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g), y

**D:** densidad g/cm<sup>3</sup>

✓ **Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca)**

$$D_{\text{SSS}} = S / [B + S - C]$$

✓ **Densidad Nominal**

$$D = A / [B + A - C]$$

✓ **Absorción**

$$\text{Absorción (\%)} = ([S - A] / A) * 100$$

El procedimiento para determinar estas propiedades es el siguiente:

**1.7.1. Agregado fino**

- ✓ Se toma una muestra representativa de agregado fino la cual se sumerge durante 24 horas. Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de un recipiente o bandeja la cual no es absorbente.
- ✓ Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces, posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer es porque no existe humedad libre, si es lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca.
- ✓ Se procede a tomar una muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el picnómetro llenándolo con agua a 20°C hasta más o menos 250 cms<sup>3</sup>, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posibles. Se procede a cuantificar el peso del picnómetro en la balanza anotando su respectivo valor.
- ✓ Se embaza la muestra en tazas para ser dejadas en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevaron las muestras a la balanza y se cuantificó su valor.

### **1.7.2. Agregado grueso**

- ✓ Se escogió una muestra representativa del agregado en este caso el vidrio.

### **1.8. Peso unitario o masa unitaria**

El propósito de este método de ensayo según la norma NTC 92 es determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado, para agregados que no excedan 100 mm de Tamaño Máximo Nominal. La masa de un agregado debe ser siempre relacionada con el volumen específico. La masa unitaria de un agregado debe ser conocida para

seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto. Este método permite la determinación de la masa unitaria de un agregado en la condición compactada (por apisonado externo o vibración) o en la condición suelta (como viene de una pala o cucharón) después de que el agregado ha sido secado hasta masa constante. El método involucra la determinación de una muestra de agregado en recipiente (medida) de volumen conocido, y entonces se resta la masa del recipiente.

#### **1.8.1. Masa unitaria suelta**

Se determina usando el método de paleo para el cual se sigue el siguiente procedimiento:

Se determina la masa del recipiente y se llena de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm por encima del borde. Enrase la superficie y pese el recipiente lleno. Repite esta operación 3 veces y determine el promedio.

#### **1.8.2. Masa unitaria compacta**

Se determina usando el método de apisonamiento con varillas en agregados con tamaño máximo nominal menor o igual a 37.5 mm, o mediante el método de golpeo si el tamaño máximo nominal es superior a los 37.5 mm e inferior a 150 mm.

Para el método de apisonado con varillas, mida la masa del recipiente y ponga en tres capas de igual volumen, hasta llenarlo. Empareje cada capa con a mano y apisone con 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente en cada capa. Al apisonar la primera capa debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente y al apisonar las superiores aplicar la fuerza necesaria,

para que la varilla solamente atraviese la respectiva capa. Nivele la superficie con la varilla y determine la masa del recipiente lleno.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> MANUAL DE LABORATORIO ASOCRETO, TOMO 3, 1996.

## **1.9. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS MATERIALES AGREGADOS.**

La mayoría de propiedades y características que poseen los materiales pétreos dependen en gran parte de la formación geológica a las cuales pertenecen, pero, en general, los agregados para la realización de concretos se pueden clasificar según su tamaño o densidad.

Para alcanzar el objetivo de este proyecto es necesario realizar una serie de ensayos representativos, los cuales se encuentran especificados en la norma INVIAS Y NTC, el cual nos brinda la oportunidad de conocer cada una de las características físicas, mecánicas y químicas de los agregados, y de igual forma los efectos positivos y negativos que estas puedan causar al concreto.

### **GENERALIDADES**

La clasificación granulométrica determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de un juego de tamices el cual posee aberturas de tipo cuadradas progresivamente decreciente; de esta manera por medio de gráficos conoceremos que tan fino o grueso es el material, detectando así las deficiencias o excesos de un tamaño en particular.

### **TEORIAS SOBRE GRANULOMETRIAS IDEALES**

Las investigaciones que se han desarrollado acerca de lo que es una buena granulometría de agregados para la realización de concretos son muchas, La mayoría de estas investigaciones se basan en la capacidad de acomodamiento y compactación de las partículas (compacidad) dentro de un volumen dado para lograr la máxima densidad y con esto la máxima resistencia, no obstante, esto conduce a mezclas poco trabajables en estado plástico.

El trabajo titulado “Las leyes del proporcionamiento del concreto” presentado en 1907 por Fuller y Thompson se considera como el punto de partida para todos los desarrollos posteriores sobre curvas granulométricas, Fuller y Thompson concluyen que toda curva de gradación ideal presenta un comportamiento elíptico en su fracción fina, la cual incluye al cemento, esta curva converge con una línea recta tangente a la elipse en las fracciones menores a esta. La ecuación general para la parte elíptica de esta curva, está dada por:

$$\frac{(y - b^2)}{b} + \frac{(x - a^2)}{a} = 1$$

Ecuación 1. Ecuación general elíptica de la curva.

Fuente: Tecnología del concreto y del mortero, Diego Sánchez de Guzmán.

**Donde:**

**Y=** porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura X.

**(a & b)** son constantes que representan los ejes de la elipse y su valor depende del tamaño máximo (D) del agregado y de la forma de las partículas; estos valores se muestran en la tabla.

Estas constantes fueron dadas de tal manera que a mas angulosas son las partículas de agregado, es más amplio el porcentaje de material fino representado por la parte elíptica.

En esta curva ideal, Fuller y Thompson encontraron que para un valor igual al 7% el valor de x era de 0.074 mm, es decir, que el 7% de la masa está constituido por partículas de diámetro inferior a 0.074 mm, o sea la fracción que pasa el tamiz N° 200, más el cemento. Posteriormente, la curva continua con su forma elíptica, hasta un valor de x aproximadamente igual al 10% del tamaño máximo, y a partir de este punto sigue como una línea recta.

CLASE DE MATERIAL	a	b
Agregados redondeados	0.164 D	28.6
Arena natural y grava chancada	0.150 D	30.4
Agregados chancados	0.147 D	30.8

TABLA 1. Valores de las constantes que representan la parte elíptica de la ecuación de Fuller-Thompson.

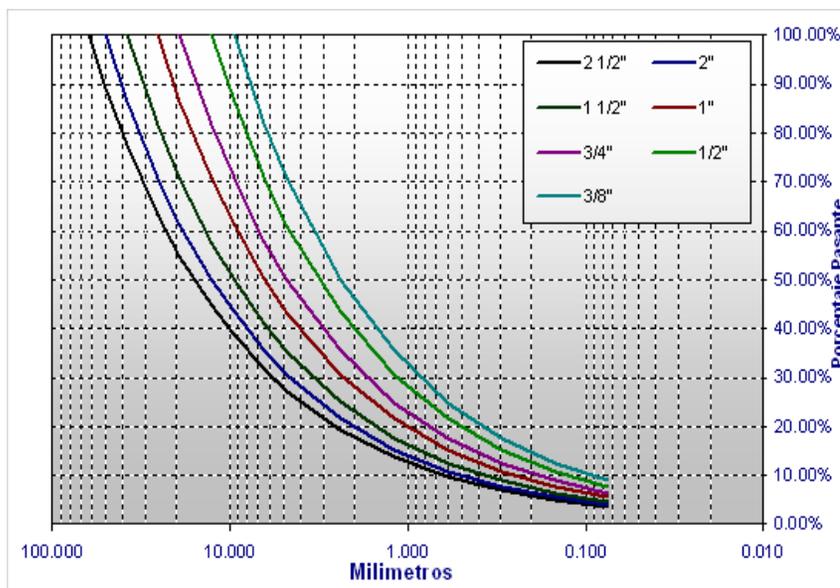


Figura 1. Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos de agregados.  
Fuente: <http://www.concrete.0catch.com/Capitulo31.htm>

Pero al analizar este método se observó que los agregados gradados según la ecuación expuesta para producir máxima densidad da lugar a mezclas ásperas y poco manejables en estado plástico debido a falta de finos, especialmente para concretos con bajos contenidos de cemento. Esta es la razón por la que Fuller y Thompson hubieran asumido un 7% de material con diámetro inferior a 0.074 mm.

Luego de estas investigaciones Weymouth concluyo que para obtener la adecuada trabajabilidad con una máxima economía, hay una ley de gradación de los agregados, de tal forma que los granos de un solo tamaño deben tener espacios suficientes para moverse dentro del espacio dejado por los granos del tamaño subsiguiente mayor, evitando la interferencia de las partículas.

De acuerdo con esto, se ha observado que estas gradaciones dan lugar a mezclas con excesos de finos, por lo que se requiere alto contenido de agua y cemento para obtener una misma resistencia.

Sin embargo la modificación más acertada es la propuesta por Bolomey (1947), la cual contempla un mayor contenido de finos dentro de la masa de agregado, (sin excesos) con el objeto de eliminar la aspereza y mejorar la trabajabilidad.

Es conveniente anotar que las granulometrías ideales solo existen a nivel teórico, de tal manera que una buena granulometría, se refiere al aprovechamiento eficiente de condiciones técnicas y económicas.

#### **1.10. NORMA DE REFERENCIA PARA AGREGADOS GRUESOS Y FINOS I.N.V.E – 213 – 07**

En este método se determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente.

Los resultados se emplean para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes mezclas que contengan agregados. Los datos pueden también servir para el desarrollo de las relaciones referentes a la porosidad y el empaquetamiento.

## EQUIPOS

- **Balanza:** con sensibilidad de por lo menos 0.1% de la masa de la muestra que va a ser ensayada.
- **Tamices:** Se dispondrá del juego de tamices estándar adecuada para obtener la información deseada de acuerdo con las especificaciones para el material que se ensayar. Los marcos de los tamices se deberán acoplar de forma que se evite cualquier pérdida de material durante el proceso de tamizado.
- **Horno:** De tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).
- **Muestra:** Las muestras para el ensayo se obtendrán por medio de cuarteo, manual o mecánico, (según la norma INVIA E – 202). El agregado debe estar completamente mezclado antes de cuartearlo y tener la suficiente humedad para evitar la segregación y la pérdida de finos. La muestra para el ensayo debe tener la masa seca aproximada y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo. No está permitido seleccionar la muestra con una masa exacta determinada.

Para el Agregado fino las muestras después de secadas, deberán tener una masa mínima de 300 g y para el Agregado grueso después de secadas, deberán tener aproximadamente las siguientes masas, según el tamaño máximo nominal.

Tabla 2. Masas mínimas para las muestras. INVIA E 213-07

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas		Masa Mínima de la muestra en ensayo
Mm	Pulg.	kg.
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 ½)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 ½)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 ½)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

TABLA 2: Análisis Granulométrico De Agregados Gruesos y Finos.

Fuente: INVIA E 213

Para mezclas de agregados gruesos y finos, la muestra adecuada deberá tener la misma masa recomendada para agregados gruesos de las muestras.

La cantidad de muestra que se requiere con agregados de tamaño máximo nominal mayor o igual a 50 mm es tal como para imposibilitar el ensayo, a no ser que se realice con una gran tamizadora mecánica. Sin embargo, la finalidad de éste método de ensayo se puede satisfacer para muestras de agregados con tamaños máximos nominales mayores de 50 mm, dividiendo la muestra total en varias porciones y tamizándolas por separado, siempre que el criterio de aceptación o rechazo del material esté basado en el valor medio de los resultados de las porciones ensayadas, de modo que la masa de agregado utilizada en cada porción multiplicada por el número de porciones, iguale a la masa mínima para ensayo.

## **PROCEDIMIENTO.**

Se seca la muestra a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), hasta obtener masa constante, con una aproximación de 0.1% de la masa seca original de la muestra.

También las muestras se pueden secar a las mayores temperaturas asociadas con el uso de planchas de calentamiento, sin que se afecten los resultados, siempre que el vapor escape sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas y las temperaturas no sean tan altas que causen la rotura química del agregado.

Se selecciona un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por las especificaciones del material que se va a ensayar. El uso de tamices adicionales es aconsejable si se desea otro tipo de información, como el módulo de finura, o para regular la cantidad de material sobre un determinado tamiz. Se encajan los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura y se coloca la muestra sobre el tamiz superior.

La cantidad de material en un tamiz dado se debe limitar de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación de tamizado. Se determina la masa de la muestra retenida en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido.

La masa total del material después del tamizado debe ser muy próxima a la masa de la muestra original colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más de 0.3% de la masa original de la muestra seca, los resultados no podrán ser utilizados para fines de aceptación.

## **CÁLCULOS.**

Se calculan los siguientes porcentajes:

a) el porcentaje que pasa.

b) el porcentaje total retenido.

c) el porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, con una aproximación de 0.1%, con base en la masa total de la muestra inicial seca.

Cuando la muestra se haya ensayado por porciones, se deberán totalizar las masas de todas las porciones retenidas en cada tamiz y usar dichos totales para calcular el porcentaje.

Se calcula el módulo de finura, cuando así se prescriba, sumando los porcentajes totales de material en la muestra, retenidos en los tamices siguientes y dividiendo la suma por 100:

2

#### TAMICES:

TAMIZ	ABERTURA (mm)
(No.100)	150
(No.50)	300
(No.30)	600
(No.16)	1.18
(No.8)	2.36
(No.4)	4.75
(3/8")	9.5
(3/4")	19.0
(1/2")	37.5



TABLA 4: Tamices, INVIAS

<sup>2</sup> NORMA INVIAS, TOMO 2, 1998

La mayoría de propiedades y características que poseen los materiales pétreos dependen en gran parte de la formación geológica a las cuales pertenecen, pero, en general, los agregados para la realización de concretos se pueden clasificar según su tamaño o densidad.

Para alcanzar el objetivo de este proyecto es necesario realizar una serie de ensayos representativos, los cuales se encuentran especificados en la norma INVIAS Y NTC, el cual nos brinda la oportunidad de conocer cada una de las características físicas, mecánicas y químicas de los agregados, y de igual forma los efectos positivos y negativos que estas puedan causar al concreto.

# **CAPITULO 2**

## 2. VIDRIO RECICLADO



El vidrio es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se usa para hacer ventanas, lentes, botellas y una gran variedad de productos.

El vidrio se obtiene por fusión a unos 1.500 °C de arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y caliza ( $\text{CaCO}_3$ ).

### 2.1. Historia

#### 2.1.1. El vidrio en la antigüedad

Los primeros objetos de vidrio que se fabricaron fueron cuentas de collar o lentejuelas. Es probable que fueran artesanos asiáticos los que establecieron la manufactura del vidrio en Egipto, de donde proceden las primeras vasijas producidas durante el reinado de Tutmosis III (1504-1450 a. C.) La fabricación del vidrio floreció en Egipto y Mesopotamia hasta el 1200 a. C. y posteriormente cesó casi por completo durante varios siglos. Egipto produjo un vidrio claro, que contenía sílice pura; lo coloreaban de azul y verde. Durante la época helenística Egipto se convirtió en el principal proveedor de

objetos de vidrio de las cortes reales. Sin embargo, fue en las costas fenicias donde se desarrolló el importante descubrimiento del vidrio soplado en el siglo I a.C. Durante la época romana la manufactura del vidrio se extendió por el Imperio, desde Roma hasta Alemania.

El vidrio cuenta con numerosas aplicaciones en la actualidad. Las botellas de PVC o PET no tienen la misma apariencia de frescura propia del vidrio, por lo que se han buscado diferentes presentaciones como la apariencia de marmoleado, ponerle asas, o adaptador especial de verde, lo cual da sensación de comodidad o utilidad. También da la impresión de que el envase está más lleno, como en el caso de las mermeladas.

## **2.2. Estado vítreo**

Tradicionalmente se ha considerado que la materia podía presentarse bajo tres formas: la sólida, la líquida y la gaseosa. Nuevos medios de investigación de su estructura íntima, particularmente durante el siglo XX, han puesto al descubierto otras formas o estados en los que la materia puede presentarse. Por ejemplo el estado mesomorfo (una forma líquida con sus fases esmécticas, nemáticas y colestéricas), el estado de plasma (o estado plasmático, propio de gases ionizados a muy altas temperaturas) o el estado vítreo, entre otros.

Los cuerpos en estado vítreo se caracterizan por presentar un aspecto sólido con cierta dureza y rigidez y que ante esfuerzos externos moderados se deforman de manera generalmente elástica. Sin embargo, al igual que los líquidos, estos cuerpos son ópticamente isótropos, transparentes a la mayor parte del espectro electromagnético de radiación visible. Cuando se estudia su estructura interna a través de medios como la difracción de rayos X, da lugar a bandas de difracción difusas similares a las de los líquidos. Si se calientan, su viscosidad va disminuyendo paulatinamente, como la mayor parte de los líquidos, hasta alcanzar valores que permiten su deformación

bajo la acción de la gravedad, y por ejemplo tomar la forma del recipiente que los contiene como verdaderos líquidos. No obstante, no presentan un punto claramente marcado de transición entre el estado sólido y el líquido o "punto de fusión".

Todas estas propiedades han llevado a algunos investigadores a definir el estado vítreo no como un estado de la materia distinto, sino simplemente como el de un líquido subenfriado o líquido con una viscosidad tan alta que le confiere aspecto de sólido sin serlo. Esta hipótesis implica la consideración del estado vítreo como un estado metastable, al que una energía de activación suficiente de sus partículas debería conducir a su estado de equilibrio, es decir, el de sólido cristalino.

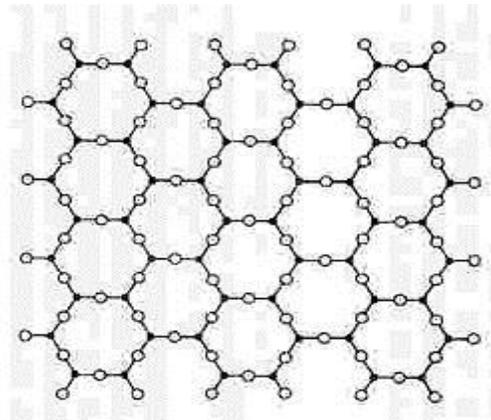


Figura 2: Cristal organizado de SiO2.

Fuente [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:SiO2\\_1.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:SiO2_1.jpg)

En apoyo de esta hipótesis se aduce el hecho experimental de que, calentado un cuerpo en estado vítreo hasta obtener un comportamiento claramente líquido (a una temperatura suficientemente elevada para que su viscosidad sea inferior a los 500 poises, por ejemplo), si se enfría lenta y cuidadosamente, aportándole a la vez la energía de activación necesaria para la formación de los primeros corpúsculos sólidos (siembra de

microcristales, presencia de superficies activadoras, catalizadores de nucleación, etc.) suele solidificarse dando lugar a la formación de conjuntos de verdaderos cristales sólidos.

Todo parece indicar que los cuerpos en estado vítreo no presentan una ordenación interna determinada, como ocurre con los sólidos cristalinos. Sin embargo en muchos casos se observa un desorden ordenado, es decir, la presencia de grupos ordenados que se distribuyen en el espacio de manera total o parcialmente aleatoria.

Esto ha conducido a diferentes investigadores a plantear diversas teorías sobre la estructura interna del estado vítreo, tanto de tipo geométrico, basadas tanto en las teorías atómicas como en las de tipo energético.

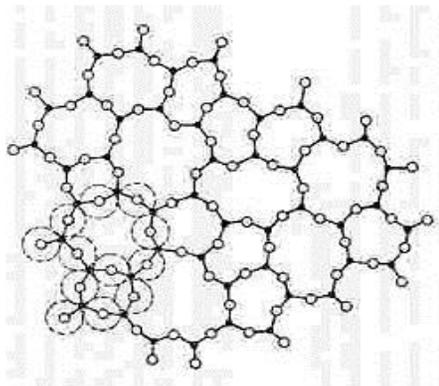


Figura 3: SiO2 en estado vítreo.

Fuente [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:SiO2\\_2.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:SiO2_2.jpg)

Según la teoría atómica geométrica, en la sílice sólida cristalizada, el átomo de silicio se halla rodeado de cuatro átomos de oxígeno situados en los vértices de un tetraedro cada uno de los cuales le une a los átomos de silicio vecinos. Una vista en planta de este ordenamiento se esquematiza en la figura 1, en la que el cuarto oxígeno estaría encima del plano de la página. Cuando esta sílice pasa al estado vítreo, la ordenación tetraédrica se sigue manteniendo a nivel individual de cada átomo de silicio, aunque los enlaces

entre átomos de oxígeno y silicio se realizan en un aparente desorden, que sin embargo mantiene una organización unitaria inicial (véase la figura 2).

No obstante, ninguna de estas teorías es suficiente para explicar el comportamiento completo de los cuerpos vítreos aunque pueden servir para responder, en casos concretos y bien determinados, a algunas de las preguntas que se plantean.

Las sustancias susceptibles de presentar un estado vítreo pueden ser tanto de naturaleza inorgánica como orgánica, entre otras:

- Elementos químicos: Si, Se, Au-Si, Pt-Pd, Cu-Au.
- Óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , y algunas de sus combinaciones.
- Compuestos:  $\text{S}_3\text{As}_2$ ,  $\text{Se}_2\text{Ge}$ ,  $\text{S}_3\text{P}_2$ ,  $\text{F}_2\text{Be}$ ,  $\text{Cl}_2\text{Pb}$ ,  $\text{IAg}$ ,  $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ .
- Siliconas (sustancias consideradas como semiorgánicas)
- Polímeros orgánicos: tales como glicoles, azúcares, poliamidas, poliestirenos o polietilenos, etc.

### **2.3. Vidrios comunes**

Se denomina sílice a un óxido de silicio de fórmula química  $\text{SiO}_2$ . Se presenta en estado sólido cristalino bajo diferentes formas enantiotrópicas. Las más conocidas son el cuarzo (la más frecuente y estable a temperatura ambiente), la cristobalita y las tridimitas. Además de estas formas, se han llegado a identificar hasta veintidós fases diferentes, cada una de ellas estable a partir de una temperatura perfectamente determinada.

Cuando se calienta el cuarzo lentamente, este va pasando por distintas formas enantiotrópicas hasta alcanzar su punto de fusión a  $1.723\text{ }^\circ\text{C}$ . A esta temperatura se obtiene un líquido incoloro y muy viscoso que si se enfría con relativa rapidez, se convierte en una sustancia de naturaleza vítrea a la que se suele denominar vidrio de cuarzo.

Este vidrio de cuarzo presenta un conjunto de propiedades de gran utilidad y de aplicación en múltiples disciplinas: en la investigación científica, tecnológica, en la vida doméstica y en general en todo tipo de industria. Se destacan como más relevantes las siguientes:

Gran resistencia al ataque por agentes químicos, por lo que es muy utilizado como material de laboratorio. Sólo es atacado, de manera importante a temperatura ambiente, por el ácido fluorhídrico en sus diferentes formas (gaseosa o disolución). A temperaturas superiores a 800 °C reacciona a velocidades apreciables con sales alcalinas o alcalinotérreas, en particular con sales sódicas, tales como el carbonato o el sulfato sódicos.

Si bien su densidad a temperatura ambiente es relativamente alta (2,2 g/cm<sup>3</sup>) su coeficiente de dilatación lineal medio a temperaturas inferiores a los 1.000 °C es extremadamente pequeño: se sitúa en  $5,1 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , lo que permite, por ejemplo, calentarlo al rojo y sumergirlo bruscamente en agua, sin que se fracture. El número de aplicaciones que esta propiedad suscita es elevado.

Su índice de refracción a la radiación electromagnética visible es 1,4589, lo que le hace apto para instrumentos ópticos en general.

Su resistividad eléctrica es del orden de los 10<sup>20</sup> ohm-cm en condiciones normales lo que le convierte en uno de los mejores aislantes eléctricos conocidos, con todas las aplicaciones que de ello se derivan en la industria moderna.

La absorción de la radiación electromagnética del vidrio de cuarzo muestra una gran transparencia a la luz visible así como en las bandas correspondientes al espectro ultravioleta, lo que le hace especialmente apto para la fabricación de lámparas y otros instrumentos generadores de este tipo de radiación.

Otras propiedades, sin embargo, dificultan su elaboración y utilización. En particular, las siguientes:

El punto de fusión de la sílice cristalizada depende de la variedad enantiotrópica que se trate. Para la variedad estable a partir de los 1.470 °C (la  $\alpha$ -cristobalita) este es de 1.723 °C. Estas son temperaturas que no pueden alcanzarse fácilmente, salvo en instalaciones muy especializadas. Por esta razón, la fabricación del vidrio de cuarzo ha sido siempre rara y cara. Industrialmente, su producción es bastante limitada si se la compara con otros tipos de vidrio.

Su viscosidad en estado vítreo presenta una gran variación con la temperatura, pasando de valores superiores a 10<sup>7</sup> poises (aspecto totalmente sólido) por debajo de los 1.800 °C, a 103,5 poises a 2.758 °C (aspecto pastoso y moldeable).

Las viscosidades toman valores tan sumamente elevados que deben expresarse como potencias de diez. En general, las viscosidades de los vidrios suelen darse bajo la forma de su logaritmo decimal. Para obtener el vidrio de cuarzo es necesario partir de un cuarzo cristalizado de gran pureza, finamente molido, que se somete a altas temperaturas. El líquido que se obtiene presenta gran cantidad de burbujas diminutas de aire ocluido entre los granos del cuarzo, que le dan un aspecto lechoso, traslúcido, al que se suele denominar gres de cuarzo y cuyas aplicaciones como recipiente resistente al ataque químico o a los cambios bruscos de temperatura son frecuentes. Sin embargo, resulta totalmente inútil para aplicaciones en las que se precise una gran transparencia (lámparas de rayos UVA, lámparas de cuarzo y óptica en general). Para estas últimas es necesario que durante el proceso de fusión se puedan desprender esas burbujas gaseosas ocluidas. Para que ese desprendimiento fuera efectivo bajo la presión atmosférica y a una velocidad aplicable industrialmente, se precisaría que el líquido

presentara una viscosidad por debajo de los 200 poises, lo que en el caso de la sílice líquida implicaría temperaturas del orden de los 3.600 °C. En la práctica para poder desgasificar el vidrio de sílice se funde el cuarzo a temperaturas próximas a los 2.000 °C en recipientes donde se hace el vacío, complicando mucho la tecnología de su producción y, por consiguiente, encareciendo el producto.

La resistencia a la tracción en estado puro, en condiciones normales y con una superficie perfectamente libre de toda fisura, es de unos 60 kbar. Esta gran resistencia (superior a la del acero) se ve fuertemente disminuida por imperfecciones en la superficie del objeto, por pequeñas que estas sean.

Su módulo de Young a 25 °C es de 720 kbar y el de torsión 290 kbar. Cuando se le somete a un esfuerzo de tracción mecánica a temperaturas próximas a la ambiente, se comporta como un cuerpo perfectamente elástico con una función alargamiento/esfuerzo lineal, pero sin prácticamente zona plástica cercana a su límite de rotura. Esta propiedad, unida a la resistencia mecánica a la tracción anteriormente citada, lo convierte en un producto frágil. Al golpearlo, o se deforma elásticamente y su forma no se altera o, si se sobrepasa su límite de elasticidad, se fractura.

#### **2.4. Propiedades del vidrio común**

Las propiedades del vidrio común son una función tanto de la naturaleza de las materias primas como de la composición química del producto obtenido. Esta composición química se suele representar en forma de porcentajes en peso de los óxidos más estables a temperatura ambiente de cada uno de los elementos químicos que lo forman. Las composiciones de los vidrios silicatos sódicos más utilizados se sitúan dentro de los límites que se establecen en la tabla adjunta.

### Intervalos de composición frecuentes en los vidrios comunes

Componente	Desde ... %	... hasta %
SiO <sub>2</sub>	68,0	74,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	4,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,45
CaO	9,0	14,0
MgO	0,0	4,0
Na <sub>2</sub> O	10,0	16,0
K <sub>2</sub> O	0,0	4,0
SO <sub>3</sub>	0,0	0,3

Muchos estudios, muy particularmente en la primera mitad del siglo XX, han intentado establecer correlaciones entre lo que se denominó la estructura interna del vidrio, generalmente basada en teorías atómicas, y las propiedades observadas en los vidrios. Producto de estos estudios fueron un conjunto de relaciones, de naturaleza absolutamente empírica, que representan de manera sorprendentemente precisa muchas de esas propiedades mediante relaciones lineales entre el contenido de los elementos químicos que forman un vidrio determinado (expresado bajo la forma del contenido porcentual en peso de sus óxidos más estables) y la magnitud representando dicha propiedad. Curiosamente, las correlaciones con las composiciones expresadas en forma molar o atómica son mucho menos fiables.

**Composición "tipo" de vidrio de  
Silicato sódico**

<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>
73,20	1,51	0,10	10,62	0,03	13,22	1,12	0,20

**2.5. Reciclaje del vidrio**

El vidrio es un material totalmente reciclable y no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Al reciclarlo no se pierden las propiedades y se ahorra una cantidad de energía de alrededor del 30% con respecto al vidrio nuevo.

Para su adecuado reciclaje el vidrio es separado y clasificado según su tipo el cual por lo común está asociado a su color, una clasificación general es la que divide a los vidrios en tres grupos: verde, ámbar o café y transparente. El proceso de reciclado luego de la clasificación del vidrio requiere que todo material ajeno sea separado como son tapas metálicas y etiquetas, luego el vidrio es triturado y fundido junto con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán idénticas propiedades con respecto al vidrio fabricado directamente de los recursos naturales. En algunas ciudades del mundo se han implementado programas de reciclaje de vidrio, en ellas pueden encontrarse contenedores especiales para vidrio en lugares públicos.

En ciertos casos el vidrio es reutilizado, antes que reciclado. No se funde, sino que se vuelve a utilizar únicamente lavándolo (en el caso de los recipientes). En acristalamientos, también se puede aprovechar el vidrio cortándolo nuevamente (siempre que se necesite una unidad más pequeña).

# **CAPITULO 3**

### 3. DISEÑOS DE MEZCLAS

El comité A.C.I. 211 ha establecido una metodología para encontrar las proporciones de cada ingrediente por metro cubico de concreto, siguiendo la siguiente secuencia:

**Paso 1.** Seleccionar el asentamiento y la resistencia del concreto requeridos: (Importancia dada a las propiedades del concreto en estado fresco, para su manejo, colocación y compactación)

**Paso 2.** Seleccionar el tamaño máximo del agregado grueso (vidrio reciclado), basados en los requerimientos de resistencia: (Se da importancia a las características del tamaño, para la realización de procesos de producción, transporte y colocación de concreto)

**Paso 3.** Estimación del contenido de aire: (Tiene que ver con las exposiciones de aire que debe tener el concreto para su operación)

**Paso 4.** Estimar del contenido de agua de mezcla: (Tiene que ver con las exposiciones de agua que debe tener el concreto para su operación y sus funciones principales)

**Paso 5.** Determinación de la resistencia del diseño: (Determinar las condiciones de resistencia del concreto a la comprensión promedio y su uso bajo normas de Sismo Resistencia)

**Paso 6.** Selección de la relación agua- cemento: (Se da importancia a la correspondencia entre la resistencia y la relación agua-cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades).

**Paso 7.** Calculo del contenido de cemento (Permite calcular la cantidad de cemento por metro cubico de concreto, para un uso eficiente de las cantidades y resistencias)

**Paso 8.** Estimación de las proporciones de agregados (Permite estimar las proporciones de los agregados mediante combinaciones granulométricas, para su uso, dosificaciones y cantidades)

**Paso 9.** Ajustes por humedad de los agregados: (Tiene que ver con los ajustes que se realizan al diseño de la mezcla para que se adhieran correctamente sus componentes)

**Paso 10.** Ajustes a la mezcla de concreto (Realizada la mezcla, se deben corregir los pequeños detalles que permitan una adherencia óptima de todos sus componentes).<sup>3</sup>

Se realizaron dos diseños de mezclas, de 2500 y 3000 psi respectivamente. Para la realización de estas se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La cantidad de vidrio y de agua fue la misma para ambos diseños.
- ✓ Las cantidades de arena y cemento fueron distintas para cada uno de los dos diseños.

### 3.2. DISEÑO PARA UNA RESISTENCIA DE 2500 PSI

DISEÑO 2500 PSI		
ASENTAMIENTO	100	mm
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	2	Pulg
CONTENIDO DE AIRE	0,5	%
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	168	Kg/m3
RESISTENCIA DE DISEÑO	245	Kg/cm2
RELACION AGUA CEMENTO	0,53	
CONTENIDO DE CEMENTO	317,00	Kg/m3
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO (VIDRIO)	1,018	Kg/m3

<sup>3</sup> DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN, tecnología del concreto y del mortero, 5ta ED 2001.

Las proporciones para completar un metro cubico de concreto son las siguientes:

MATERIAL	PESO SECO Kg/m <sup>3</sup>	PESO ESPECIFICO gr/cm <sup>3</sup>	VOLUMEN ABSOLUTO (lt/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	317,00	3,300	97,00
AGUA	168	1	168
AIRE	0,5%	0	0
AGREGADO GRUESO (VIDRIO)	1,02	2,44	417
AGREGADO FINO	818,00	2,57	318,00
TOTAL			1000

Para el llenado de los 30 cilindros las cantidades son las siguientes:

CANTIDAD DE MATERIAL PARA 30 CILINDROS (2500 PSI)	
MATERIAL	PESO (Kg)
CEMENTO	58
ARENA SANTO TOMAS	156
AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)	160
AGUA	32

### 3.3. DISEÑO PARA UNA RESISTENCIA DE 3000 PSI

DISEÑO 3000 PSI		
ASENTAMIENTO	100	Mm
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	2	Pulg
CONTENIDO DE AIRE	0,5	%
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	168	Kg/m <sup>3</sup>
RESISTENCIA DE DISEÑO	280	Kg/cm <sup>2</sup>
RELACION AGUA CEMENTO	0,48	
CONTENIDO DE CEMENTO	350,00	Kg/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO (VIDRIO)	1,018	Kg/m <sup>3</sup>

Para completar un metro cubico de concreto, las cantidades calculadas son las siguientes:

MATERIAL	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO (lt/m3)
CEMENTO	350,00	3,3	106
AGUA	168	1	168
AIRE	0,5%	0	0
AGREGADO GRUESO (VIDRIO)	1,02	2,44	417
AGREGADO FINO	795	2,57	309,00
TOTAL			1000

Para llenar los 30 cilindros, tenemos que:

CANTIDAD DE MATERIAL PARA 30 CILINDROS (3000 PSI)	
MATERIAL	PESO (Kg)
CEMENTO	67
ARENA SANTO TOMAS	147
AGREGADO GRUESO (VIDRIO)	160
AGUA	32

### **3.4. C.5.3 – DOSIFICACION BASADA EN EXPERIENCIA DE OBRAS ANTERIORES O MEZCLAS DE PRUEBA, O AMBAS.**

#### **3.4.1. C.5.3.1 – Desviación Estándar**

**3.4.1.1. C.5.3.1.1** – Cuando una instalación productora de concreto disponga de registros de ensayos, debe calcularse su desviación estándar. La desviación estándar se debe calcular utilizando los registros de ensayos que cumplan las siguientes condiciones:

(a) Representen los materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a las esperadas en la obra y las variaciones permitidas

en los registros de ensayos de los materiales y sus proporciones no deben ser mas restrictivas que las permitidas en obra.

(b) Represente un concreto producido para una resistencia o resistencias nominales,  $f'_c$ , que no difieran en mas de 7MPa de la resistencia nominal especificada para la obra.

(c) Consistan de por lo menos 30 ensayos consecutivos, correspondiente cada uno de ellos al promedio de dos cilindros ensayados el mismo día, o de dos grupos de ensayos consecutivos que sumen, en total, al menos 30 ensayos como los define C.5.6.1.4, exceptuando lo indicado en C.5.3.1.2.

**TABLA C.5-1  
COEFICIENTE DE MODIFICACION PARA LA DESVIACION ESTANDAR  
CUANDO HAY DISPONIBLES MENOS DE 30 ENSAYOS**

Nº de Ensayos ( Nota -1 )	Coefficiente de modificación para la desviación estándar.( Nota - 2 )
Menos de 15	Use la tabla C.5-2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Nota-1. Se puede interpolar entre el número de ensayos.

Nota-2. La desviación estándar modificada debe usarse para determinar la resistencia promedio requerida  $f'_{cr}$  que se utiliza en C.5.3.2.1.

**3.4.2. C.5.3.1.2** – Cuando la instalación productora de concreto no tenga registros de ensayos previos que cumplan los requisitos de C.5.3.1.1, pero tengan registros que contengan entre 15 y 29 ensayos consecutivos, la desviación estándar debe ser la desviación estándar calculada de los datos, multiplicada por el coeficiente de modificación dado en la tabla C.5-1. Para poder aplicar este procedimiento se deben cumplir los requisitos (a) y (b) de C.5.3.1.1 y los ensayos deben corresponder a un solo registro de ensayos consecutivos obtenido en un periodo mayor de 45 días calendario.

### 3.4.3. C.5.3.2 – RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

**3.4.3.1. C.5.3.2.1** - La resistencia promedio requerida  $f'_{CR}$ , en MPa, que se utiliza para dosificar el concreto, debe ser la mayor de las obtenidas en las ecuaciones C.5-1 y C.5-2, utilizando la desviación estándar, S, obtenida según C.5.3.1.1 o C.5.3.1.2:

$$f'_{CR} = f'_C + 1.34S \quad (C.5-1)$$

$$f'_{CR} = f'_C + 2.33S - 3.5 \text{ (MPa)} \quad (C.5-2^*)$$

**3.4.3.2. C.5.3.2.1** – Cuando la instalación productora de concreto no tenga registros de ensayos para calcular la desviación estándar como lo pide C.5.3.1 o C.5.3.1.1, la resistencia promedio requerida,  $f'_{CR}$  en MPa, debe determinarse de la tabla C.5-2 y la documentación de la resistencia debe cumplir los requisitos de C.5.3.3.

**TABLA C.5-2**  
**RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A LA COMPRESION CUANDO NO HAY**  
**DATOS QUE PERMITAN DETERMINAR LA DESVIACION ESTANDAR**

Resistencia nominal a la compresión $f'_c$ MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión $f'_{cr}$ MPa
Menos de 21 MPa	$f'_c + 7$ MPa
de 21 MPa a 35 MPa	$f'_c + 8.5$ MPa
más de 35 MPa	$f'_c + 10$ MPa

**3.4.4. C.5.3.3 – DOCUMENTACION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO** – La documentación que debe dejarse para demostrar que la dosificación propuesta producirá una resistencia promedio a la compresión igual o mayor a la requerida en C.5.3.2 puede consistir en uno o varios ensayos de resistencia de obras anteriores, o de ensayos de resistencia de mezclas de pruebas.

**3.4.4.1. C.5.3.3.1** – Cuando se utilicen registros de ensayos para demostrar que la dosificación propuesta producirá la resistencia promedio requerida,  $f'_{CR}$  (C.5.3.2), los registros deben ser representativos de materiales y condiciones similares a las que se esperan. Las variaciones permitidas en los materiales, las condiciones y las proporciones dentro de los registros de ensayo no deben haber sido más restrictivas que las permitidas en la obra propuesta. Con el fin de documentar la resistencia promedio esperada, pueden usarse registros de ensayos consistentes en menos de 30 pero no menos de 10 ensayos consecutivos, siempre y cuando hayan sido obtenidas en un periodo de observación mayor de 45 días. La dosificación requerida del concreto puede obtenerse interpolando entre las resistencias y dosificaciones de dos o más registros de ensayos que cumplen con los otros requisitos de esta sección.

**3.4.4.2. C.5.3.3.2** – Cuando no se disponga de un registro aceptable de ensayos de obras anteriores, la dosificación del concreto puede establecerse por medio de mezclas de prueba que cumplan las siguientes restricciones:

(a) Debe utilizarse la misma combinación de materiales que la utilizada en el trabajo propuesto.

(b) Las mezclas de prueba con la dosificación y consistencia requeridas para el trabajo propuesto deben hacerse utilizando por lo menos tres relaciones agua – material cementante o contenidos de cemento diferentes, capaces de producir un rango de resistencias que cubra la resistencia promedio requerida  $f'_{CR}$ .

(c) Las mezclas de prueba deben diseñarse de tal manera que su asentamiento este dentro de  $\pm 20$  mm del valor especificado, o dentro de  $\pm 0.5$  por ciento del contenido máximo de aire cuando se trate de concreto con aire incorporado.

(d) Para cada relación agua-material cementante, o para contenido de cemento, deben producirse al menos tres cilindros de prueba para cada edad de ensayo. Estos cilindros deben fabricarse y curarse de acuerdo con la norma NTC 1377 (ASTM C192). Los cilindros deben ensayarse a los 28 días o a la edad designada de  $f'_c$ .

(e) Con los resultados de los ensayos de los cilindros debe dibujarse un grafico que muestre la correspondencia entre la relación agua material cementante o contenido de cemento y la resistencia a la compresión a la edad designada.

(f) La máxima relación agua-material cementante o el mínimo contenido de cemento que puede usarse en el trabajo propuesto debe ser aquella que se muestre en el grafico que corresponde a la resistencia requerida por C.5.3.2, a menos que se requiera un valor menor de la relación agua-material cementante de conformidad con el capitulo C.4.

Seguidamente de este capitulo, la Norma NSR – 98, presenta varios apartes relativos al tema del concreto en los cuales hace referencia a la estadística.

### **3.5. 3.5. CALCULOS ESTADISTICOS**

Se han comprobado que los resultados de resistencia a compresión de una mezcla definida se ajustan a una pauta de la curva de frecuencia de distribución normal. Entre mayor sea el numero de ensayos graficados, mas se parecerá la curva trazada a una curva de distribución normal de frecuencias o también llamada campana de gauss. Al comprobarse lo anterior se pudieron aplicar los conceptos estadísticos a la distribución normal y con base en ellos, se han fijado las normas para la producción y aceptación de las mezclas de concreto empleadas actualmente.

La expresión matemática de la estadística aplicable al concreto se describe así:

$$f'_{cr} = \frac{f'_c}{1 - \frac{tv}{100}}$$

Donde:

$f'_{cr}$  = Resistencia media requerida a la compresión en MPa.

$f'_c$  = Resistencia especificada

$t$  = Coeficiente que depende del % de resultados que se aceptan por debajo de  $f'_c$ .

$v$  = Coeficiente de variación que indica el grado de control de calidad del concreto en una obra cualquiera.

$$v = \frac{s}{f_{cr}} \times 100$$

$$f_{cr} = \frac{\sum f_i}{n}$$

$$s = \frac{\sqrt{\sum (f_i - f_{cr})^2}}{n}$$

Donde:

$f_i$  = Resistencia a la compresión de un ensayo cualquiera

$n$  = numero total de ensayos

$s$  = Desviación estándar en MPa

La forma de la curva normal de distribución de frecuencias depende de la variabilidad de los resultados de la prueba. Cuando dicha variabilidad se incrementa, la curva se alarga y se abate; cuando la variabilidad es poca, los

valores de resistencia se sitúan cerca del promedio y la curva es alta y se angosta.

# **CAPITULO 4**

## 4. RESULTADOS

### 4.1. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

GRANULOMETRIA "ARENA SANTO TOMAS"				
TAMIZ	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
# 4	0	0,0	0	100,0
# 8	0	0,0	0,0	100,0
# 16	100	2,0	2,0	98,0
# 30	1126	22,6	24,6	75,4
# 50	2700	54,1	78,7	21,3
# 100	990	19,8	98,5	1,5
#200	50	1,0	99,5	0,5
FONDO	24	0,5	100,0	0
<b>TOTAL</b>	<b>4990</b>	<b>100,0</b>		

Tabla 4. Granulometría Arena Santo Tomas

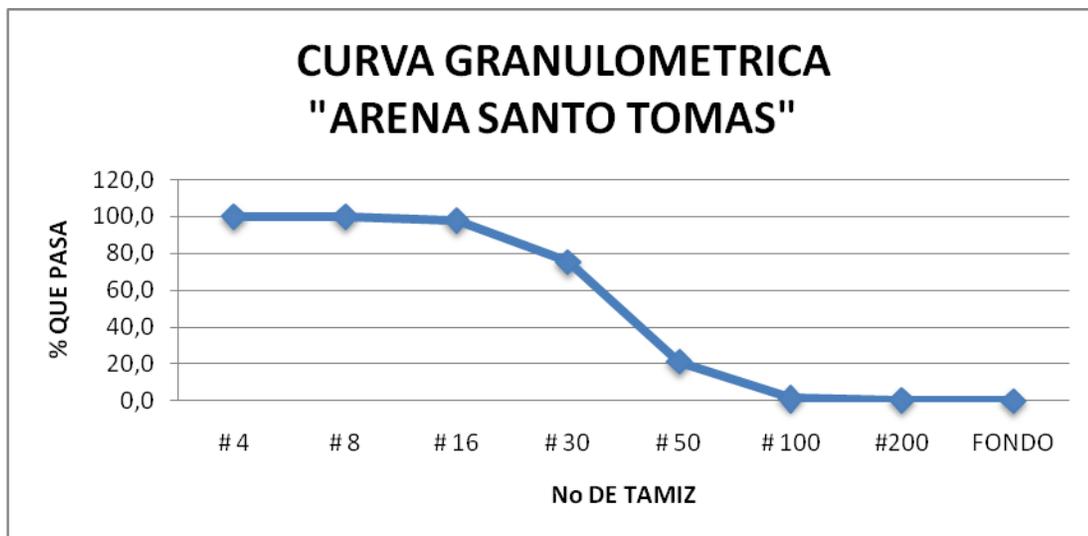


Figura 4. Curva Granulométrica Arena Santo Tomas

Donde se observa que la mayor cantidad de partículas dentro de la distribución granulométrica está en el tamiz # 50 (0,297 mm), es decir, que hay exceso de este tamaño en particular.

$$\text{modulo de finura} = \frac{\% \text{ retenido entre los tamices No 4 - No 100}}{100}$$

Ecuación 1. Ecuación general elíptica de la curva.

Fuente: Tecnología del concreto y del mortero, Diego Sánchez de Guzmán.

El modulo de finura para la arena arrojo un valor = 2.04, lo cual indica que existe un predominio de partículas finas en el material.

#### **4.2. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)**



GRANULOMETRIA "VIDRIO RECICLADO"				
TAMIZ	PESO RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
# 2"	2875	57,5	0	42,5
# 1 1/2"	710	14,2	14,2	28,3
# 1"	580	11,6	25,8	16,7
# 3/4"	326	6,5	32,3	10,1
# 1/2"	310	6,2	38,5	3,9
# 3/8"	102	2,0	40,6	1,9
# 4	80	1,6	42,2	0,3
FONDO	15	0,3	42,5	0
<b>TOTAL</b>	<b>4998</b>	<b>100,0</b>		

TABLA 4. Granulometría Agregado Grueso (VIDRIO RECICLADO)

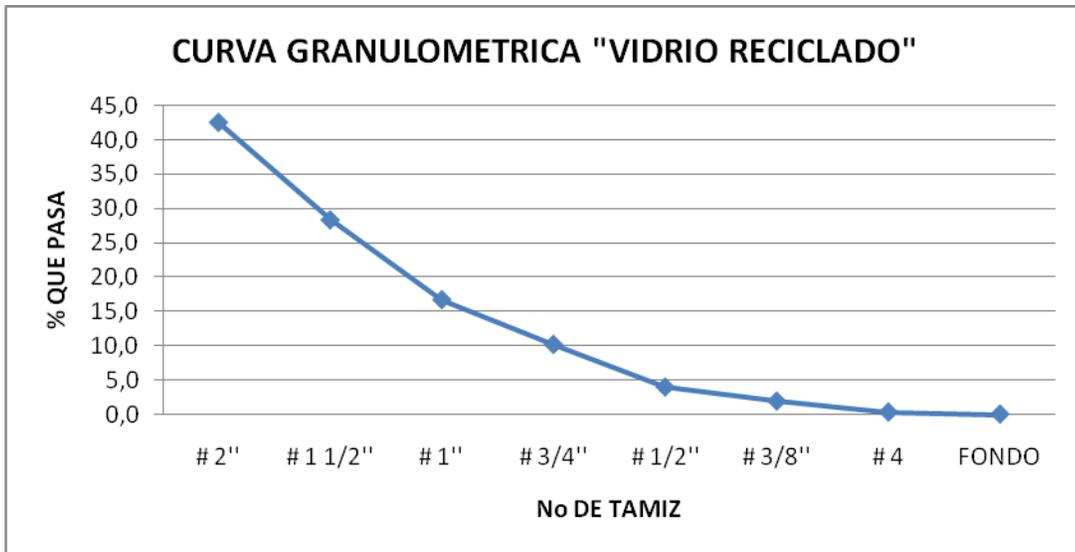


Figura 4. Curva Granulométrica Agregado Grueso (VIDRIO RECICLADO)

El tamaño máximo del agregado grueso fue de:

**AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)**

Tamaño máximo=	2"
Tamaño máximo nominal=	1 1/2"

#### 4.2. MASA UNITARIA DEL AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)

ESPECIFICACIONES DEL CILINDRO		
Diámetro=	0,1552250	M
Altura=	0,1563000	M
Radio=	0,0776125	M
Volumen=	0,0029578	m <sup>3</sup>
Peso=	3,54	Kg

MASA UNITARIA SUELTA "VIDRIO RECICLADO"	
MUESTRA #	PESO kg
1	6,998
2	6,999
3	6,997
<b>PROMEDIO</b>	<b>6,998</b>

PESO UNITARIO= promedio peso de la muestras / volumen cilindro		
PESO UNITARIO=	2365,92	kg/m <sup>3</sup>

MASA UNITARIA COMPACTA "VIDRIO RECICLADO"	
MUESTRA #	PESO kg
1	7,174
2	7,171
3	7,177
<b>PROMEDIO</b>	<b>7,174</b>

PESO UNITARIO= promedio peso de la muestras / volumen cilindro		
PESO UNITARIO=	2425,43	kg/m <sup>3</sup>

### 4.3. DENSIDAD DEL AGREGADO FINO

4.3.1. DENSIDAD NOMINAL  $= \frac{A}{B + A - C}$

4.3.2. DENSIDAD APARENTE S.S.S  $= \frac{B}{B - C}$

4.3.3. DENSIDAD APARENTE  $= \frac{A}{B + S - C}$

4.3.4. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN  $= \frac{S - A}{A} * 100$

Donde:

A = masa en aire de la muestra en el horno

B = masa del picnómetro con agua

C = masa del picnómetro con la muestra y agua hasta la marca de calibración

S = masa de la muestra saturada superficialmente seca

"ARENA SANTO TOMAS"		
W picnómetro=	0,158	kg
W picnómetro + agua =	0,658	kg
W picnómetro + agua + muestra=	0,966	kg
W tara=	0,072	kg
W tara + arena=	0,572	kg
w arena =	0,500	Kg
w arena seca al horno=	0,494	Kg

Densidad nominal	2,65591398
Densidad Aparente S.S.S	2,14
Densidad Aparente	2,57291667
Porcentaje de Absorción	1,2145749

#### 4.4. DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)

4.4.1. DENSIDAD NOMINAL  $= \frac{A}{A - C}$

4.4.2. DENSIDAD APARENTE S.S.S  $= \frac{B}{B - C}$

4.4.3. DENSIDAD APARENTE  $= \frac{A}{B - C}$

4.4.4. PORCENTAJE DE ABSORCION  $= \frac{B - A}{A * 100}$

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca al horno

B = masa de la muestra sumergida y superficialmente seca

C = masa de la muestra sumergida en agua

W tara=	0,558	kg
W tara + muestra = W saturada sup. Seco=	3,558	kg
W muestra sat. Sup. Sec=	3	kg
W malla=	1,978	kg
W muestra sumergida + malla=	3,75	kg
w muestra sumergida=	1,772	kg
W muestra seca al horno=	3	kg

Densidad nominal	2,4
Densidad Aparente	2,4
Densidad Aparente S.S.S	2,4
Porcentaje de Absorción	0,0

#### 4.5. DISEÑOS DE MEZCLA

DISEÑO 2500 PSI		
ASENTAMIENTO	100	mm
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	2"	
CONTENIDO DE AIRE	0,5%	
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	168	Kg/m3
RESISTENCIA DE DISEÑO	245	Kg/cm2
RELACION AGUA CEMENTO	0,53	
CONTENIDO DE CEMENTO	317,00	Kg/m3
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)	1,018	Kg/m3

MATERIAL	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO (lt/m3)
CEMENTO	317,00	3,300	97,00
AGUA	168	1	168

AIRE	0,5%	0	0
AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)	1,02	2,44	417
AGREGADO FINO	818,00	2,57	318,00
TOTAL			1000

CANTIDAD DE MATERIAL PARA 30 CILINDROS (2500 PSI)	
MATERIAL	PESO (Kg)
CEMENTO	58
ARENA SANTO TOMAS	156
AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)	160
AGUA	32

DISEÑO 3000 PSI		
ASENTAMIENTO	100	Mm
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	2"	
CONTENIDO DE AIRE	0,5%	
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	168	Kg/m3
RESISTENCIA DE DISEÑO	280	Kg/cm2
RELACION AGUA CEMENTO	0,48	
CONTENIDO DE CEMENTO	350,00	Kg/m3
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)	1,018	Kg/m3

MATERIAL	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO (lt/m3)
CEMENTO	350,00	3,3	106
AGUA	168	1	168
AIRE	0,5%	0	0
AGREGADO GRUESO (VIDRIO RECICLADO)	1,02	2,44	417
AGREGADO FINO	795	2,57	309,00
TOTAL			1000
CANTIDAD DE MATERIAL PARA 30 CILINDROS (3000 PSI)			
MATERIAL	PESO (Kg)		
CEMENTO	67		

ARENA SANTO TOMAS	147
AGREGADO GRUESO (VIDRIO)	160
AGUA	32

#### 4.5.1. CORRECCION POR HUMEDAD DE LAS MEZCLAS

$$W = \frac{W_{humedo} - W_{seco}}{W_{seco}} * 100\%$$

HUMEDAD "ARENA SANTO TOMAS"		
W tara=	72	gr
W tara+ muestra=	856	gr
W muestra=	784	gr
W m seca+ tara=	830	gr
W m seca=	758	gr
W=	3,43	%
W aprox=	3%	

CORRECCION POR HUMEDAD "ARENA SANTO TOMAS"		
Volumen del cilindro	73	Lt
corrección=	61505,4	Gr
CORRECCION POR ABSORCION "ARENA SANTO TOMAS"		
corrección=	1098,1	Gr

HUMEDAD "VIDRIO RECICLADO"		
W tara=	558	gr
W tara+ muestra=	3558	gr
W muestra=	3000	gr
W m seca+ tara=	3558	gr
W m seca=	3000	gr
W=	0,00	%
W aprox=	0%	

CORRECCION POR HUMEDAD "VIDRIO"		
Volumen del cilindro	73	lt
corrección=	58037,3	gr
CORRECCION POR ABSORCION "VIDRIO"		
corrección=	0,0	Gr

#### 4.5.2. CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

##### 4.5.2.1. ASENTAMIENTOS CONO DE ABRAMS

DISEÑO DE MEZCLAS (PSI)	ASENTAMIENTOS(mm)
2500	70
3000	30

##### 4.5.2.2. TEMPERATURAS

DISEÑO DE MEZCLAS (PSI)	TEMP. AMBIENTE (°C)	TEMP.CONCRETO(°C)
2500	28	26
3000	34	30



#### 4.6. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

CLINDRO N°	OBSERVACIONES	DIMENSIONES			FECHA DE VACIADO			FECHA DE ENSAYO			EDAD (DIAS)	CARGA MAXIMA KN	RESISTENCIA DE ROTURA		FORMA DE FALLA
		LONGITUD	DIAMETRO	AREA	AÑO	MESES	DIAS	AÑO	MESES	DIAS			Mpa	PSI	
1		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	150	82,2	1174,7	Cono y hendedura
2		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	150	82,2	1174,7	Cono
3		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	150	82,2	1174,7	Columnar
4		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	150	82,2	1174,7	Cono
5		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	150	82,2	1174,7	Cono
6		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	165	90,5	1292,2	Cono
7		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	165	90,5	1292,2	Corte
8	Desnivel en el borde	12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	180	98,7	1409,7	Cono y hendedura
9		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	155	85,0	1213,9	Columnar
10		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	175	95,9	1370,5	Cono
11		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	175	95,9	1370,5	Cono y hendedura
12		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	175	95,9	1370,5	Columnar
13		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	160	87,7	1253,0	Cono
14		12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	165	90,5	1292,2	Cono y hendedura
15	Desnivel en el borde	12"	6"	28,27"	2010	3	12	2010	3	19	8	160	87,7	1253,0	Columnar
16		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	260	142,5	2036,2	Cono
17		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	260	142,5	2036,2	Cono
18		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	260	142,5	2036,2	Cono y hendedura
19	Desnivel en el borde	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	200	109,6	1566,3	Cono
20		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	260	142,5	2036,2	Columnar
21		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	290	159,0	2271,1	Columnar
22		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	260	142,5	2036,2	Corte
23		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	260	142,5	2036,2	Corte
24		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	290	159,0	2271,1	Columnar
25	hormiguo en parte superior	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	210	115,1	1644,6	Corte
26		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	300	164,5	2349,4	Cono
27		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	300	164,5	2349,4	Columnar

28	Mal compactado	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	240	131,6	1879,5	Corte
29	Mal compactado	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	230	126,1	1801,2	Cono
30	Mal compactado	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	28	230	126,1	1801,2	Corte

TABLA DEL ENSAYO A COMPRESION PARA CILINDROS DE 2500 PSI

CLINDRO N°	OBSERVACIONES	DIMENSIONES			FECHA DE VACIADO			FECHA DE ENSAYO			EDAD (DIAS)	CARGA MAXIMA KN	RESISTENCIA DE ROTURA		FORMA DE FALLA
		LONGITUD	DIAMETRO	AREA	AÑO	MESES	DIAS	AÑO	MESES	DIAS			Mpa	PSI	
1	Mal compactado	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	165	90,5	1292,2	Cono y hendedura
2		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	200	109,6	1566,3	Corte
3	Hormiguo en parte superior	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	195	106,9	1527,1	Cono
4		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	210	115,1	1644,6	Corte
5		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	230	126,1	1801,2	Cono y hendedura
6		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	210	115,1	1644,6	Corte
7	Hormiguo en parte superior	12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	255	139,8	1997,0	Cono y hendedura
8		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	235	128,8	1840,4	Corte
9		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	260	142,5	2036,2	Corte
10		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	230	126,1	1801,2	Columnar
11		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	235	128,8	1840,4	Cono y hendedura
12		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	230	126,1	1801,2	Cono
13		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	240	131,6	1879,5	Columnar
14		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	275	150,8	2153,6	Corte
15		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	3	19	7	270	148,0	2114,5	Cono y hendedura
16		12"	6"	28,27"	2010	3	13	2010	4	8	27	340	186,4	2662,7	Cono y hendedura

17		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	340	186,4	2662,7	Columnar
18		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	300	164,5	2349,4	Columnar
19		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	390	213,8	3054,3	Columnar
20		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	305	167,2	2388,6	
21		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	300	164,5	2349,4	Cono y hendedura
22	Mal compactado	12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	255	139,8	1997,0	Cono y hendedura
23		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	340	186,4	2662,7	Cono
24	Mal compactado	12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	260	142,5	2036,2	Cono
25		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	340	186,4	2662,7	Cono y hendedura
26	Mal compactado	12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	290	159,0	2271,1	Columnar
27	Mal compactado	12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	270	148,0	2114,5	Columnar
28		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	340	186,4	2662,7	Cono
29		12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	350	191,9	2741,0	Corte
30	Hormiguo	12"	6"	28, 27"	201 0	3	13	201 0	4	8	27	250	137,1	1957,9	Cono

TABLA DEL ENSAYO A LA COMPRESION PARA CILINDROS DE 3000 PSI

#### 4.6.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESION

##### 4.6.1.1. ANALISIS ESTADISTICO DEL CONCRETO DE 2500 Psi

Resistencia Psi	Resistencia Kg/cm2
2036,18	142,53
2036,18	142,53
2036,18	142,53
1566,29	109,64
2036,18	142,53
2271,12	158,98
2036,18	142,53
2036,18	142,53
2271,12	158,98
1644,60	115,12
2349,43	164,46
2349,43	164,46
1879,55	131,57
1801,23	126,09
1801,23	126,09

Para evaluar este conjunto de resultados, no es suficiente conocer el valor promedio, así este cumpla el requisito de la resistencia, ya que la dispersión de los resultados de pruebas, medida a través de la desviación estándar, es relativamente considerable.

<b>Promedio</b>	2010,07 Psi	140,71 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Media</b>	1996,31 Psi	139,74 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Desviacion estandar</b>	239,86Psi	16,79 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de modificacion = 1,16 (NSR-98, C.5)</b>	278,24Psi	19,48 Kg/cm <sup>2</sup>

Determinamos los diferentes grupos de resistencia y sus respectivas repeticiones para conocer la distribución normal de los datos estadísticos.

<b>Grupos</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Distribucion Normal</b>
142,53	6	0,02
109,64	1	0,00
158,98	2	0,01
115,12	1	0,01
164,46	2	0,01
131,57	1	0,02
126,09	2	0,02

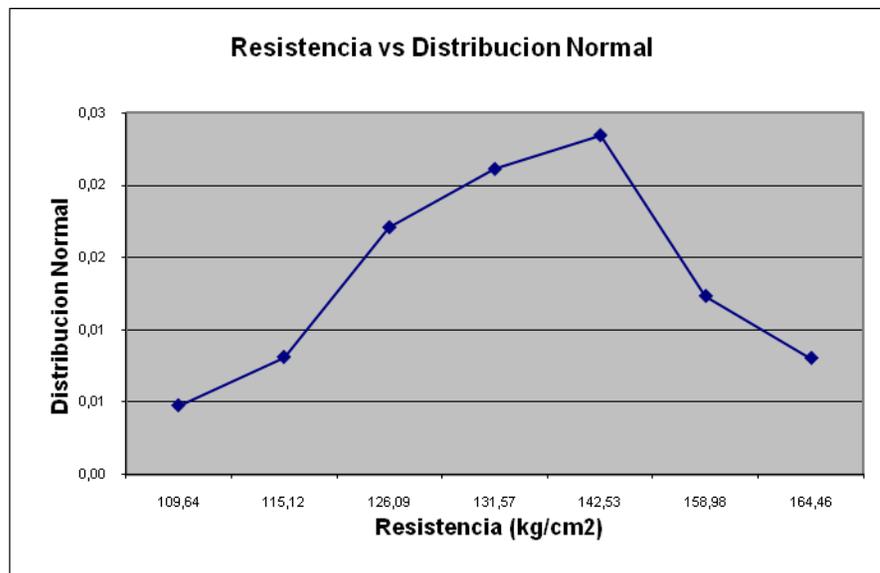
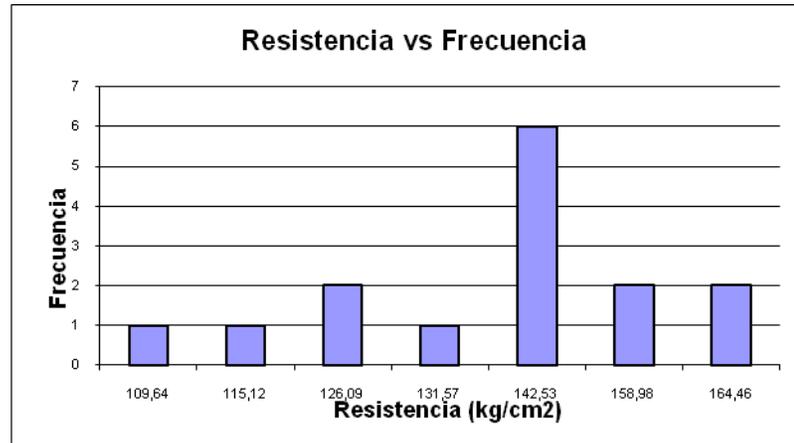
Aplicando los criterios de la Norma Colombiana De Diseño y Construcción Sismo-Resistente (NSR-98), la mezcla que produce los resultados obtenidos del análisis estadísticos presentado anteriormente debe tener un una resistencia promedio de diseño  $f'_{cr}$  minima según las ecuaciones (C.5-1) y (C.5-2) de las cuales se toma el mayor. Por lo tanto tenemos que

$$f'_{cr} = 175 + (1.34 * 19.48 \text{ Kg/cm}^2) = 201 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 175 + (2.33 * 19.48 \text{ Kg/cm}^2) - 3.5 = 220 \text{ Kg/cm}^2$$

Es decir que la mezcla debe diseñarse para un  $f'_{cr}$  220 Kg/cm<sup>2</sup>, para que se garantice un concreto de 175 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados estadísticos de muestran gráficamente en las siguientes graficas, donde se resaltan cada una de las pruebas y se relacionan con su distribución normal, representados en la campana de gauss.



## CONCRETO DE 3000 Psi

Resistencia Psi	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>
2662,692676	186,39
2662,692676	186,39
2349,434714	164,46
3054,265129	213,80
2388,591959	167,20
2349,434714	164,46
1997,019507	139,79

2662,692676	186,39
2036,176752	142,53
2662,692676	186,39
2271,120224	158,98
2114,491243	148,01
2662,692676	186,39
2741,007167	191,87
1957,862262	137,05

<b>Promedio</b>	2438,19 PSi	170,67 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Media</b>	2418,03 PSi	169,26 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Desviacion estándar</b>	323,06 PSi	22,61 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de modificacion = 1,16 (NSR-98, C.5)</b>	374,75 PSi	26,23 Kg/cm <sup>2</sup>

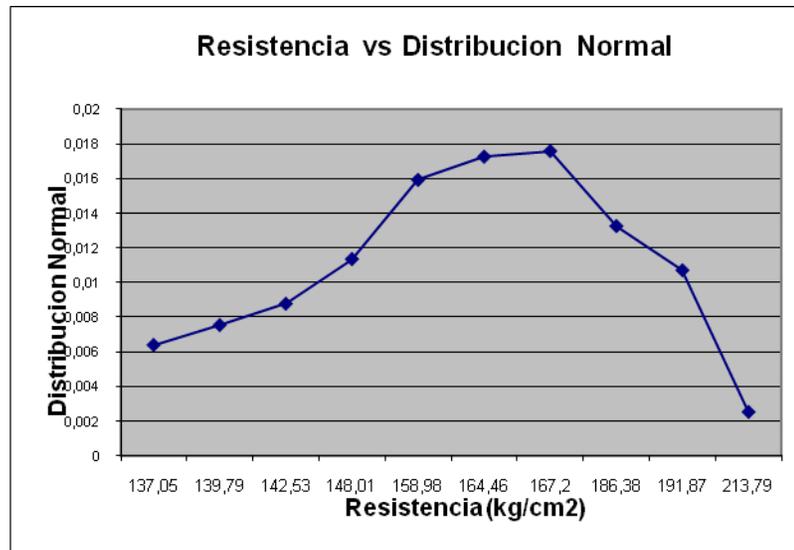
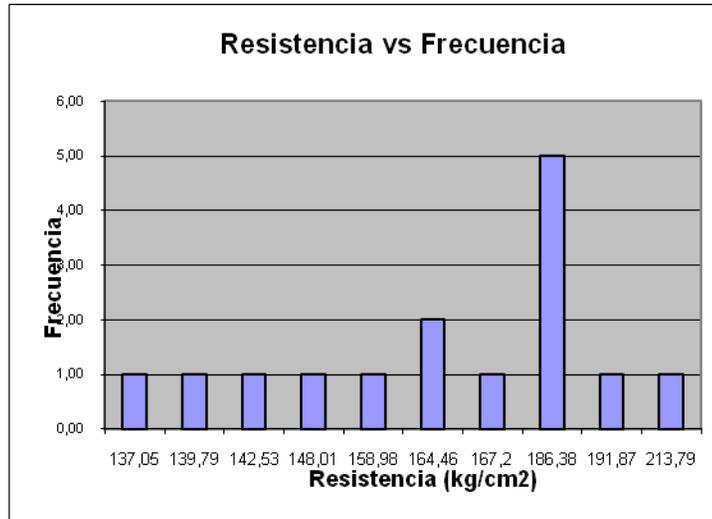
Aplicando los criterios de la Norma Colombiana De Diseño y Construcción Sismo-Resistente (NSR-98), la mezcla que produce los resultados obtenidos del análisis estadísticos presentado anteriormente debe tener un una resistencia promedio de diseño  $f'_{cr}$  mínima según las ecuaciones (C.5-1) y (C.5-2) de las cuales se toma el mayor. Por lo tanto tenemos que

$$f'_{cr} = 210 + (1.34 * 26.23 \text{ Kg/cm}^2) = 245 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 210 + (2.33 * 26.23 \text{ Kg/cm}^2) - 3.5 = 270 \text{ Kg/cm}^2$$

Es decir que la mezcla debe diseñarse para un  $f'_{cr}$  270 Kg/cm<sup>2</sup>, y de esta forma se obtendrá una mezcla de 270 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados estadísticos de muestran gráficamente en las siguientes graficas, donde se resaltan cada una de las pruebas y se relacionan con su distribución normal, representados en la campana de gauss.



## REGISTRO FOTOGRAFICO



































# **CAPITULO 5**

## 5. CONCLUSIONES

Luego de las pruebas realizadas a los especímenes, se ha podido comprobar que es posible hacer diseños de mezcla con materiales distintos a los tradicionales, el vidrio reciclado, usado como agregado grueso, es un material que según los resultados en los ensayos a la compresión hecha en esta investigación podría ser utilizado como tal.

Los resultados arrojados por los ensayos, a pesar de no alcanzar las resistencias diseñadas en principio (2500 y 3000 PSI), se logró un promedio de 2100 PSI (Correspondiente al 85% del valor esperado) y 2450 PSI (Correspondiente al 82% del valor esperado) a los 28 días respectivamente, pero, algunos de los especímenes alcanzaron resistencias de 2400 (96%) en el caso del diseño de 2500 y 3054 (102%) en el de 3000, esto debido a algunas fallas en el momento del llenado, compactación y raseo de los cilindros cuando fueron realizados. A pesar de que el promedio no alcanzó la resistencia antes nombrada y no sería recomendable usarlo como concreto estructural, con la que se logro, es preciso decir que el concreto se puede usar en: Muros divisorios, parques, bloques de mampostería, andenes peatonales e incluso en pisos y mesones de cocina.

Cabe resaltar que las limitaciones con el vidrio reciclado, fueron determinantes a la hora de ensayar los cilindros, esto debido a que las fallas en la mayoría de los casos se presentaron por el tamaño máximo utilizado. La forma laminar tipo laja que tiene el vidrio reciclado, dependiendo la posición dentro del el espécimen puede ocasionar deformaciones en la distribución de la mezcla.

Es importante añadir que si se tiene un manejo exhaustivo del vidrio reciclado y partiendo con los resultados hechos en esta investigación, se podría mejorar las resistencias propuestas en principio.

### **5.1. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

Es muy importante hacer parte de los grupos de investigación tanto en la etapa de estudiante como en la profesional, ya que esto nos sirve para el desarrollo integral en nuestra preparación para enfrentar el futuro.

Someternos a incursionar en el campo de la realización de concretos, utilizando materiales no tradicionales, fue y seguirá siendo un reto muy importante para nosotros como ingenieros. Ayudar a las comunidades menos favorecidas es una consigna para nosotros, ya que si logramos conseguir materiales más económicos y a las ves que cumplan con los requerimientos establecidos por las normas, estas personas tendrán un mayor acceso a dichos materiales.

Tenemos la certeza que nuestra investigación servirá a quienes se atrevan a seguir con este tipo de proyectos innovador-social-ambiental, a tener una base de donde partir y lograr resultados mucho más precisos con las recomendaciones se aquí mismo encontraran.

1. Asegurarse que el vidrio reciclado este libre de otro material distinto a el ya sea, polvo, papel, plástico o residuos.
2. Tratar que al momento de partir el vidrio reciclado, todos los tamaños queden con una gradación no mayor a 1”.

3. Buscar la asesoría de los ingenieros mas experimentados en cuanto a los concretos que laboren en la universidad.
4. Cuando realicen los especímenes, tener el cuidado suficiente para que las caras queden a ras y totalmente niveladas, para evitar la perdida de resistencia.
5. Compactar bien cada una de las capas en el momento del llenado de los cilindros para evitar problemas de hormigqueo ya que esto también disminuye considerablemente la resistencia de los mismos.
6. Siempre hacer todos los procesos sometidos a las normas NTC, INVIAS y NSR-98, para que los resultados puedan ser tenidos en cuenta como parte de seria de la investigación.

# **ANEXOS**

# **ANTEPROYECTO**

## 1. INTRODUCCION

Con esta investigación se pretende implementar, un concreto a base de vidrio reciclado. Con esta novedad intentaremos darle un nuevo sentido a las obras civiles, pensando en el medio ambiente y brindando importantes avances en la fabricación de concretos con materiales diferentes a los tradicionales.

Con la fabricación de este tipo de concretos se podrán construir diferentes tipos de obras civiles principalmente las que favorecen a las comunidades más necesitadas ya que se podría utilizar este material reciclable en la fabricación de unidades de mampostería que permitan la construcción de viviendas de interés social involucrando a la comunidad en campañas de reciclaje, para así obtener las cantidades de vidrio necesarios para la preparación de este tipo de mezclas.

De este tipo de concreto se han realizado pocas investigaciones y con este proyecto estaríamos aportando y marcando el inicio de un proceso de investigación en el país, referente al concreto realizado con vidrio reciclado.

La investigación busca obtener un concreto eficiente, a partir de dos diseños de mezclas diferentes, incorporando el vidrio en lugar de agregado grueso, cemento, agregado fino y agua.

Para lograr este nuevo concreto se planteo realizar un proceso de pruebas de cilindros de concreto, en tamaños y procedimientos estándares cumpliendo con las normas INVIAS, NTC y NRS 98.

Las normas que serán usadas, nos plantean el uso de curvas granulométricas características, las cuales fueron tomadas como referencia

para controlar los materiales usados por nosotros en las mezclas empleadas. Las curvas características son las adoptadas en Colombia, inicialmente plantadas por fuller y thomson y posteriormente modificadas por Bolomey.

Para el vidrio, no se tendrá ninguna referencia previa, por esta razón la curva granulométrica del vidrio será obtenida mediante un ensayo de granulometría convencional.

Una vez conocidas las características de cada uno de los materiales, se elaboraran dos diseños de mezclas cumpliendo con la normatividad necesaria. Con estos diseños se realizaran las probetas que luego serán ensayadas mediante el ensayo de resistencia a la compresión en el laboratorio, y de esta manera conocer las resistencias a los que podrán llegar los diseños propuestos.

Los diseños de mezclas propuestos serán de 2500 y 3000 PSI respectivamente.

## **1. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Con esta investigación pretendemos aplicar los conocimientos adquiridos durante nuestro ciclo de formación académica como ingenieros civiles, tales como lo son los ensayos de laboratorios necesarios para la obtención de los resultados esperados en esta investigación.

Esta investigación podrá ayudar con el medio ambiente, ya que usaremos vidrio reciclado, un material que requiere de muchísimos años para descomponerse y mucho de este está tirado en las calles, arroyos, ríos, parques, etc. De esta forma se estaría evitando accidentes como cortadas o un incendio forestal y las emisiones tóxicas que son lanzadas en el reproceso de la fabricación del vidrio.

Con esto estaríamos realizando una innovación en la fabricación de mezclas de concreto para la posible construcción de algunos tipos de mampostería tales como, baldosines para pisos, losas para mesones, sillas para parques.

Como nuestro material clave es el vidrio, haría pensar que los concretos hechos en esta investigación serían más costosos ya que el vidrio es más caro que el agregado grueso tradicional. Por tal razón solo será utilizado el vidrio reciclado, el cual sería recolectado en campañas de reciclaje entre las comunidades en las cuales sea implementado nuestro concreto, teniendo en cuenta las grandes cantidades que serían necesarias para su elaboración.

Para la realización de esta investigación fue necesario someter los procesos tal cual como lo indican las normas NTC, NSR 98, y INVIAS, para la elaboración de las mezclas de concreto.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Obtener dos diseños de mezclas de concreto a partir del vidrio reciclado como agregado grueso y su posible uso en la fabricación de elementos utilizados en la construcción.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las proporciones de materiales requeridas en las mezclas para obtener concretos que cumplan con resistencias escogidas
- Realizar pruebas de laboratorio y obtener las variables requeridas en los diseños, para elaborar concretos incluyendo el vidrio reciclado como agregado grueso.
- Realizar ensayos de resistencia a la compresión, de los cilindros fabricados para los dos diseños de mezclas escogidos.
- Estudiar la incidencia del vidrio reciclado como agregado grueso en la resistencia a la compresión del concreto.
- Caracterizar el vidrio como material reciclable considerándolo un material tradicional y aplicándole los criterios de tecnología de la materiales.

- Caracterizar los materiales tradicionales usados en la fabricación de mezclas de concreto.
- Desarrollar procedimientos de ensayos para el vidrio reciclado.
- Verificar el cumplimiento del título C de la NSR-98.
- Aplicar las normas INVIAS y NTC para el desarrollo de la investigación.

### 3. PLAN DE TRABAJO:

Esta investigación consta de 5 capítulos debidamente estructurados y desarrollados, como se muestra a continuación:

- ❖ **Capítulo 1:** Caracterización de materiales tradicionales utilizados en la realización de mezclas de concreto como lo son, Cemento, Agregado Grueso, Agregado Fino y agua.
- ❖ **Capítulo 2:** Caracterización del vidrio reciclado.
- ❖ **Capítulo 3:** Diseños de mezclas y base estadística según la NORMA SISMO RESISTENTE, TITULO C.5 (NSR-98).
- ❖ **Capítulo 4:** Resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación.
- ❖ **Capítulo 5:** Conclusiones, comentarios, recomendaciones y anexos de la investigación.

## **4. DELIMITACIONES**

### **4.1. DELIMITACION TEMPORAL:**

El periodo de estudio de nuestra investigación será a corto plazo, esto debido a que han ocurrido cambios e inconvenientes en el desarrollo de esta. Por lo tanto es necesario desarrollarla de manera rápida y precisa, sometidos a las necesidades que esta exige.

### **4.2. DELIMITACION ESPACIAL:**

La investigación será realizada por los estudiantes de la Corporación Universitaria De La Costa (CUC), realizando recolección de vidrio reciclado en las áreas de la cafetería, mantenimiento, almacenes de vidrios ubicados en la Calle 70 entre carreras 43 y 44, y el centro de la ciudad de Barranquilla.

## 5. MARCO DE REFERENCIA Y TEORICO

Este producto tiene presencia en nuestro territorio desde hace ya varias décadas por lo que se ha vuelto común, aunque no nos hayamos percatado de su existencia. Es originario del Reino Unido (INGLATERRA), por PRETECSA que es la única empresa que cuenta con una licencia de incorporación por parte de Pilkington/Cem-FIL, para su uso y aplicación en México, apoyando tecnológicamente para que sean utilizados en fachadas prefabricadas.

Se trata de una mezcla de mortero compuesto principalmente con fibra de vidrio (1.2 a 5 cm de longitud, resistente a los álcalis del cemento y dosificada a un 5% del peso total de la mezcla), cemento (comúnmente Portland tipo I) y arena (en fachadas arquitectónicas, gruesos y finos de mármol); cuenta con ventajas importantes para su uso en fachadas prefabricadas. Entre sus grandes cualidades destacan: Mayor moldeabilidad debido a sus características de composición y bajo peso. Alta resistencia temprana al impacto, desmolde, transporte. Incombustibilidad, alta resistencia al fuego y funciona como barrera térmica en secciones de menor espesor. Excelente resistencia a la corrosión. Fachadas con menor peso transmitido a la estructura de las edificaciones, pero con mayor resistencia ( $f'c=350-400$  kg/cm<sup>2</sup>) que las fachadas de concreto convencional estructural el cual es de ( $f'c=250-300$ kg/cm<sup>2</sup>).

En paneles de fachada su peso por M<sup>2</sup> es inferior (60-90kg m<sup>2</sup>) al del concreto estructural (240 kg/m<sup>2</sup>, macizo de 10 cm o 180 kg/m<sup>2</sup> nervurado), un 25-38% del estructural y un 33-50% de un panel con nervaduras de 15 cm.

Por todas estas cualidades, se puede usar en paneles prefabricados de fachadas con acabados que van del concreto aparente, estampado, lijado, pulido, sandblastado, martelinados, agregados expuestos, graneados hasta picoleteados profundos.

### **5.1. CONCRETO CON VIDRIO COMO AGREGADO GRUESO**

A pesar que las fibras de vidrio resistentes a medios alcalinos han estado disponibles en el mercado durante más de 30 años, no ha habido una norma oficial que defina claramente los requerimientos para fabricar fibras de vidrio resistentes a los ataques alcalinos sin necesidad de revestimiento protector. El Comité C27 de ASTM International sobre Productos de concreto precolado ha desarrollado recientemente una norma al respecto, la C 1666/C 1666M, Especificación para fibras de vidrio resistentes al medio alcalino (AR por sus siglas en inglés) para GFRC (concreto reforzado con fibra de vidrio) y concreto reforzado con fibra y cemento. La C 1666/C 1666M está bajo la jurisdicción del Subcomité C27.40 sobre Concreto reforzado con fibra de vidrio.

John Jones, miembro del C27 y gerente de área de Nippon Electric Glass America, Inc., indicó que la nueva norma resulta importante ya que las fibras de vidrio AR se utilizan en concreto reforzado con fibras de vidrio (generalmente denominado GFRC), concreto reforzado con fibras y otros productos cementantes en los que el ataque alcalino es una preocupación. La especificación abarca los requerimientos mínimos para las fibras de vidrio AR para ser utilizadas en concreto reforzado con fibras de vidrio por rociado, GFRC premezclado, concreto reforzado con fibras y otros productos de base cementante.

Para obtener estos resultados es necesario realizar una serie de ensayos con los agregados a utilizar y las características del cemento, para conocer sus propiedades de cada uno; estos ensayos son estudiados a continuación.

### **5.1.1 Cemento**

Es un material pulverizado, que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerada capaz de endurecer tanto en el aire como en el agua. Antiguamente, se denominaba cemento a numerosos materiales cuya característica principal era su calidad aglomerante. Para evitar confusiones, la Comisión Alemana de Normas estableció que se llaman Cementos a aquellos materiales que se endurecen tanto en el aire como bajo el agua, y después de su endurecimiento son aglomerantes resistentes a la acción del agua se componen principalmente por combinaciones de óxido de calcio (CaO) con sílice (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), y que además cumplen con las normas dictadas para tales materiales como especialmente, lo relativo a resistencias y estabilidad de volumen.

### **5.1.2. COMPONENTES DEL CEMENTO**

Los componentes básicos para la obtención del cemento son:

#### **CLINKER**

Es el producto que se obtiene a partir de una mezcla homogénea de cal (CaO), sílice (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y fierro como óxido (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Todos estos componentes son parcialmente fusionados en un horno para formar clinker, el cual consta básicamente de silicatos de calcio.

#### **YESO**

Básicamente es sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), el cual se adiciona el clinker para controlar el tiempo de fraguado del cemento.

## **PUZOLANA**

Es un material silicio aluminoso, que por sí mismo no posee propiedades aglomerantes, pero que al reaccionar con cal a temperatura ambiente y en presencia de agua forma compuestos estables insolubles que si poseen Propiedades aglomerantes. La reacción de la cal con la puzolana es muy lenta, y por esto, la puzolana no empieza a contribuir a la resistencia del cemento en forma inmediata, sino hasta los 28 días. Así, para producir un cemento con propiedades de resistencia a 7 días, se requiere de una molienda muy fina para acelerar la reacción señalada.

## **5.2. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND**

### **5.2.1. Cemento portland**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker y yeso, y que puede aceptar hasta un 3% de materiales extraños, excluido el  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

### **5.2.2. Cemento portland puzolánico**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, yeso y Puzolana. Con este último hasta un máximo de 30% en peso.

### **3.2.3. Cemento puzolánico**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, yeso y puzolana. Con este último hasta un máximo de 50% en peso. Este cemento puede aceptar hasta un 3% de materiales extraños, excluido el  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

En cuanto a la resistencia de los sulfatos, ésta será inversa el contenido de C3A. Por éste motivo la norma A.S.T.M. clasifica los cementos portland en cinco tipos:

**Tipo I:** cemento portland común, apto para toda obra que no requiere cementos con requisitos especiales.

**Tipo II:** cemento portland de moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos con un contenido máximo de 8% de C3A.

**Tipo III:** cemento portland de alta resistencia inicial.

**Tipo IV:** cemento portland de bajo calor de hidratación con un contenido máximo de C3S y 7% de C3A.

**Tipo V:** cemento portland resistente a los sulfatos, con un contenido máximo de 5% de C3A y la suma de C4AF + 2C3A máxima de 20%.

### **5.3. CALOR DE HIDRATACION**

El endurecimiento de los cementos se produce por reacciones químicas entre los compuestos mineralógicos del cemento y agua de amasado. Estas reacciones transforman a los componentes anhidros inestables en compuestos hidratados estables.

Las reacciones se producen con desprendimiento de calor y según la proporción en que esté presente cada uno de los compuestos principales, será el calor resultante desprendido por el cemento, de tal forma que habrá cementos con bajos, medianos y alto calor de hidratación.

### **5.4. PROPIEDADES DEL CEMENTO**

Dentro de estas propiedades tenemos el modulo de finura, peso especifico, tiempo de fraguado y la consistencia; cada una de estas propiedades nos ayudan a realizar el diseño de mezclas.

#### **5.4.1. Modulo de finura**

El tamaño de los granos del cemento está comprendido entre 2 y 15 micrones. Los granos más activos son aquellos comprendidos en 3 y 30 micrones. Los granos menores de 3 micrones se hidratan casi instantáneamente al entrar en contacto con el agua, mientras que los granos superiores a 60 micrones son prácticamente inertes, ya que su hidratación es extremadamente lenta.

La finura se puede determinar por diversos métodos:

Tamizado: sólo hasta cierto tamaño.

Superficies específicas: permeabilímetro Blaine.

Separación por corrientes de aire: Alpine.

Otros: rayo láser, sedimentación.

El procedimiento a seguir para la obtención del modulo de finura se efectúa según la Norma (NTC 226) y es el siguiente:

Se colocan 50gr de cemento, previamente desecado a 105°C, sobre el tamiz 75  $\mu m$  debajo del cual estará ensamblado el de 45  $\mu m$ . Tape el tamiz superior y tamices a razón de unas 250 sacudidas de más o menos 15cm de amplitud, por minuto. Después de cada 50 sacudidas golpee ligeramente los costados y continúe la operación, hasta que la diferencia entre dos verificaciones consecutivas d-1 e la masa del material retenido por el tamiz

masa fina, sea inferior al 0.1% de la masa ensayada. Entre cada toma de masas el número de sacudidas no es inferior a 50.

#### **5.4.2. Peso específico**

El peso específico expresa la relación entre la muestra de cemento y el volumen absoluto. El peso específico del cemento debe estar entre 3.10 a 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. El valor del peso específico no indica la calidad de un tipo de cemento, sino que su valor es usado para el diseño de la mezcla. Con el valor del peso específico se pueden encontrar otras características del concreto.

Para determinar el peso específico seguimos el procedimiento encontrado en la Norma (NTC 221) que establece:

Llene el frasco con kerosene libres de agua o tetracloruro de carbono, hasta un punto intermedio situado entre 1 y 0 asegúrese de que quede seco el interior por encima de este nivel y así, tome la lectura inicial del líquido (Lo).

Nota: coloque el frasco dentro de agua a temperatura ambiente, antes de hacer cualquier lectura, con el objeto de que esta en el líquido interior no varíe en más de 0.2°C. Las lecturas se deben comprobar hasta obtener un valor constante.

Agregue cemento Pórtland (64 gr. aproximadamente) en pequeñas cantidades, registrando la masa exacta, a la misma temperatura del líquido y teniendo cuidado de no derramar ni untar las paredes del frasco por encima del nivel.

Ponga el tapón del frasco y gire lentamente sobre su base describiendo círculos concéntricos hasta que ya no salgan burbujas de aire. Luego tome la lectura final (Lf).

### **5.4.3. Tiempo de fraguado**

El tiempo de fraguado de una pasta de cemento varía de acuerdo a factores como temperatura, proporción de agua a cemento, tipo de cemento y aditivos añadidos. Para establecer un procedimiento estándar se escoge la proporción de agua a cemento resultante de la prueba de consistencia normal del cemento, no se incluyen aditivos y las demás condiciones se mantienen constantes.

El método a ser utilizado será el del aparato Vicat. Esto es una designación arbitraria de tiempo de fraguado. El fraguado inicial se produce cuando la aguja de 1 mm de diámetro penetra 25 mm. El mismo toma de 1 a 4 horas con un mínimo especificado de 45 minutos. Esta condición es aquella donde se ha perdido la plasticidad de la mezcla.

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados y alcanza un valor de 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del

proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio.

El procedimiento para determinar el tiempo de fraguado según la norma (NTC 118) es el siguiente:

Pesar 500 gramos de cemento.

Añadir la cantidad de agua previamente determinada del laboratorio anterior de consistencia normal del cemento.

Se sigue el mismo procedimiento de mezclado que en la prueba de consistencia normal.

Se coloca la aguja de 1 mm de diámetro sobre la muestra y se deja penetrar por 30 segundos, y se anota esta penetración.

Se repiten lecturas cada 15 minutos hasta que la penetración sea menor de 25 mm.

Nota: es necesario cambiar la posición de la capela para que la penetración no sea en el mismo lugar.

#### **5.4.4. Falso fraguado**

Eventualmente, el cemento puede experimentar un endurecimiento prematuro al ser mezclado con agua para constituir la pasta de cemento.

Este proceso parece provenir de un comportamiento anómalo del yeso adicionado al cemento en la etapa de molienda del clínker como regulador de

su fraguado, el cual, debido a las altas temperaturas originadas durante la molienda, puede perder parte del agua de cristalización.

El agua perdida es recuperada, extrayéndola del agua de amasado del hormigón, con lo cual el yeso cristaliza, adquiriendo rigidez.

Este endurecimiento se conoce con el nombre de falso fraguado y produce una rigidización del concreto aún en estado fresco, en los primeros minutos posteriores a la adición del agua de amasado, lo cual dificulta grandemente su manipulación en los procesos de transporte, colocación y compactación.

El procedimiento para conocer esta propiedad según la norma (NTC 297) es el siguiente:

Deben mezclarse 500 g de cemento con agua suficiente para obtener una pasta con una penetración inicial de  $34 \pm 4$  mm.

Al obtener la pasta, hacemos la penetración para determinar que este entre  $34 \pm 4$  mm.

Dejamos pasar 5 minutos para realizar una nueva penetración, que será la inicial.

Luego movemos la pasta sobre el vidrio por 30 segundos y hacemos una nueva penetración que va a ser la final.

#### **5.4.5. Consistencia Normal Aparato de Vicat**

La consistencia normal es un estado de fluidez alcanzado por la pasta del cemento que tiene una propiedad óptima de hidratación. Se expresa como un porcentaje en peso o volumen de agua con relación al peso seco del cemento.

Para determinar el principio y final de fraguado del cemento, es necesario determinar primeramente el contenido de agua que la pasta necesita para

producir una pasta normal, es decir el contenido de agua que el cemento necesita para adquirir una 'consistencia normal.

El procedimiento para medir la fluidez o consistencia según la norma (NTC 110) es el siguiente:

**Equipo:**

Balanza de capacidad de 100 g y sensibilidad de  $\pm 1.0$  g, probetas graduadas de vidrio con una capacidad de 100 a 150 mls, de acuerdo a la norma NTC 107, y aparato de Vicat.

**Condiciones ambientales:**

La temperatura ambiente del laboratorio debe mantenerse entre 20 y 27°C, con una humedad relativa del 50%. El agua de amasado debe estar a 23°C  $\pm$  2°C, mientras que las herramientas y demás materiales deben estar a la misma temperatura del laboratorio.

**Procedimiento:**

**Preparación de la pasta de cemento:**

Sobre una superficie no absorbente, coloque una muestra de 500g de cemento en forma de cono y haga un orificio en el centro, sobre el cual vierta una cantidad de agua destilada y luego, mediante un palustre llene el orificio con el cemento seco que lo rodee exteriormente, empleando en esta operación 30s.

Mientras se permite la absorción del agua el cemento que aun está seco debe mezclarse durante un periodo de 30 segundos con la pasta húmeda, con el fin de reducir las pérdidas por evaporación.

Por último mezcle con las manos durante 90 s. En este último paso el operador debe usar guantes de caucho.

**Llenado de moldes:**

Moldee con las manos dándole forma esférica a la pasta de cemento preparada de la manera descrita anteriormente y pase 6 veces de una mano a otra a través de una distancia aproximada de 15 cm, y luego llene el molde por la base mayor, colocando sobre esta base la placa de vidrio, volteando todo el conjunto de tal manera que se nivele con un palustre la pasta en la base menor. Finalmente, se puede afinar la superficie con la ayuda del palustre teniendo la precaución de no comprimir la muestra.

**Determinación de la consistencia normal:**

La determinación de la consistencia es un ensayo de aproximación por prueba y error en que se repite las veces que sea necesario, hasta encontrar la cantidad de agua, que para determinado cemento se produce una penetración de  $10\text{mm} \pm 1,0\text{mm}$  con el aparato de Vicat.

Ponga el molde que contiene la pasta en el aparato y centre debajo del vástago, descienda el mismo hasta el extremo del vástago haga contacto con la superficie de la pasta y fije mediante esta posición un tornillo.

Lea la posición inicial en la escala o ponerla en cero. Después de 30 segundos de colocada la muestra en el molde suelte la aguja. Se considera que la pasta posee consistencia normal cuando la aguja penetra  $10\text{ mm} \pm 1,0\text{ mm}$  en 30 segundos, después de haber sido soltada. Si no se tiene la consistencia normal en el primer ensayo repita toda la operación, variando la cantidad de agua, hasta obtenerla.

**5.5. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS****5.5.1. Granulometría**

Este método cubre la determinación de la distribución de tamaños de las partículas del agregado fino y grueso por tamizado. Los resultados de éste

método se usan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica con los requerimientos de las especificaciones aplicables y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos agregados y mezclas que contiene agregados. La gradación de un suministro de agregados se determina con un análisis de tamizado. Se pasa una muestra representativa del agregado por una pila de tamices dispuesta en orden decreciente de tamaños de la abertura. Es una práctica convencional dividir los agregados en fracción gruesa y fina. La gradación y el tamaño máximo del agregado en una mezcla de concreto afectan varias propiedades, incluyendo la resistencia y la trabajabilidad. El procedimiento en agregados finos y gruesos a seguir según la norma NTC 77 es el siguiente:

#### **5.5.2. Agregado fino**

Se pesan alrededor de 500 g de material seco al horno y tamice mecánica o manualmente usando la serie de tamices ensamblados en forma decreciente. Luego determine la masa retenida en cada tamiz y el que queda en el fondo. Si la suma de estos no es igual al masa original dentro de una tolerancia del 1 %, repetir el ensayo.

#### **5.5.3. Agregado grueso**

Peso dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado, tamice mecánicamente o manualmente usando la serie para agregado grueso de tamices ensamblados en forma decreciente. Luego determine la masa retenida en cada tamiz y el que quede en el fondo. Si la suma de estos no es igual a la masa original dentro de una tolerancia de 1 %, se debe repetir el ensayo.

#### **5.5.4. Densidad y absorción (NTC 176 AG) (NTC 237 AF)**

La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano de agregado.

Como generalmente las partículas de agregado tienen poros tanto saturables como no saturables, dependiendo de su permeabilidad interna pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua se genera una serie de estados de humedad a los que corresponde idéntico número de tipos de densidad; la que más interesa en el diseño de mezclas es la densidad aparente que se define como la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables).

Este factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, debido a que los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y además porque el agua se aloja dentro de los poros saturables.

Existen tres tipos de densidad las cuales están basadas en la relación entre la masa (en el aire) y el volumen del material; a saber:

**Densidad Nominal:** Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a temperatura establecida.

**Densidad Aparente:** La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

**Densidad Aparente (SSS):** La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas), pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

La densidad aparente es la característica usada generalmente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diferentes tipos de mezclas, incluyendo el concreto de cemento Portland, el concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre la base de un volumen absoluto. La densidad aparente (SSS) se usa si el agregado está húmedo, es decir, si se ha satisfecho su absorción. Inversamente, la densidad nominal (seco al horno) se usa para cálculos cuando el agregado está seco o se asume que está seco. La densidad nominal concierne a la densidad relativa del material sólido sin incluir los poros saturables de las partículas constituyentes.

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

La capacidad de absorción consiste en sumergir la muestra durante 24 horas luego de lo cual se saca y se lleva a la condición de densidad aparente (SSS); obtenida esta condición, se pesa e inmediatamente se seca en un horno y la diferencia de pesos, expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.

Para el cálculo, tanto las densidades como la absorción para el agregado grueso se calculan de la siguiente manera:

### **Densidad Aparente**

$$D = A / [B - C]$$

#### **Donde:**

A es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (grs)

B es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (grs)

C es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (grs)

Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca).

$$D = B / [B - C]$$

### **Densidad Nominal.**

$$D = A / [A - C]$$

### **Absorción**

$$\text{Absorción} = ([B - A] / A) * 100$$

Para el agregado fino la densidad se calcula de la siguiente manera:

### **Densidad Aparente**

$$D \text{ aparente} = A / [B + S - C]$$

Donde

A = es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (grs)

B = es la masa del picnómetro lleno con agua

S = es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca (grs)

C = es la masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (grs), y

D = densidad grs / cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca)

$$D_{sss} = S / [B + S - C]$$

### **Densidad Nominal**

$$D = A / [B + A - C]$$

### **Absorción**

$$\text{Absorción (\%)} = ([S - A] / A) * 100$$

El procedimiento para determinar estas propiedades es el siguiente:

#### **5.5.4. Agregado fino**

Se toma una muestra representativa de agregado fino la cual se sumerge durante 24 horas. Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de un recipiente o bandeja la cual no es absorbente.

Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces, posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer es porque no existe humedad libre, si es lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca.

Se procede a tomar una muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el picnómetro llenándolo con agua a 20°C hasta más o menos

250 cms<sup>3</sup>, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posibles. Se procede a cuantificar el peso del picnómetro en la balanza anotando su respectivo valor.

Se embaza la muestra en tazas para ser dejadas en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevaron las muestras a la balanza y se cuantifico su valor.

#### **5.5.5. Agregado grueso**

Se escogió una muestra representativa del agregado en este caso el vidrio.

#### **5.5.6. Peso unitario o masa unitaria**

El propósito de este método de ensayo según la norma NTC 92 es determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado, para agregados que no excedan 100 mm de Tamaño Máximo Nominal. La masa de un agregado debe ser siempre relacionada con el volumen específico. La masa unitaria de un agregado debe ser conocida para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto. Este método permite la determinación de la masa unitaria de un agregado en la condición compactada (por apisonado externo o vibración) o en la condición suelta (como viene de una pala o cucharón) después de que el agregado ha sido secado hasta masa constante. El método involucra la determinación de una muestra de agregado en recipiente (medida) de volumen conocido, y entonces se resta la masa del recipiente.

#### **5.5.7. Masa unitaria suelta**

Se determina usando el método de paleo para el cual se sigue el siguiente procedimiento:

Se determina la masa del recipiente y se llena de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm por encima del borde. Enrase la superficie y pese el recipiente lleno. Repite esta operación 3 veces y determine el promedio.

#### **5.5.8. Masa unitaria compacta**

Se determina usando el método de apisonamiento con varillas en agregados con tamaño máximo nominal menor o igual a 37.5 mm, o mediante el método de golpeo si el tamaño máximo nominal es superior a los 37.5 mm e inferior a 150 mm.

Para el método de apisonado con varillas, mida la masa del recipiente y ponga en tres capas de igual volumen, hasta llenarlo. Empareje cada capa con a mano y apisone con 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente en cada capa. Al apisonar la primera capa debe evitarse que la varilla golpee el fondo del recipiente y al apisonar las superiores aplicar la fuerza necesaria, para que la varilla solamente atraviese la respectiva capa. Nivele la superficie con la varilla y determine la masa del recipiente lleno.

#### **5.5.9 Asentamientos**

Es el ensayo más ampliamente usado en todo el mundo por su simplicidad y rapidez, es el ensayo de asentamiento el cual mide la consistencia o fluidez de una mezcla de concreto cuyo tamaño máximo de agregado grueso puede ser hasta de 50,8 mm (2").

Para hacer esta medición se usa un molde hecho en lámina metálica en forma de tronco de cono, el cual tiene las dimensiones de 10cm en el diámetro superior, 20cm en el diámetro inferior y 30cm de altura, y fue desarrollado por Abrams. Este ensayo se encuentra especificado en la norma NTC 396.

## **5.6. RESISTENCIA A LA COMPRESION**

La resistencia a la compresión simple es la características mecánica del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla es, en términos generales de esfuerzos, generalmente en Kg/cm<sup>2</sup> y con alguna frecuencia en Libras por Pulgada cuadrada (PSI). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 PSI es igual a 0.07 Kg/cm<sup>2</sup>. Aunque hoy en días se ha acogido expresarla en Mega-pascales (Mpa), de acuerdo con el SI.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas.

### **5.6.1 Ensayo de resistencia a la compresión**

Este ensayo se realiza mediante la norma NTC 673

#### **Equipo**

Maquina de ensayo equipada con dos bloques de apoyo en acero con caras endurecidas, una de las cuales es un bloque con un asiento esférico que se apoya sobre la superficie superior del espécimen. Y el otro es un bloque solido sobre el cual descansa el espécimen. Las caras del apoyo de los bloques tendrán una dimensión mínima por lo menos 3% mayor que el diámetro de los especímenes.

Indicador de carga

### 5.6.1.2. Procedimiento

Este método consiste en la aplicación de una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos hasta que ocurra la falla. Los especímenes cilíndricos que se ensayan de acuerdo con este método deben ser preparados y curados de acuerdo con las normas NTC 550, NTC 889 y las normas NTC 1377, NTC 504 y ASTM C 873.

Coloque el bloque de apoyo plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o plato de la maquina de ensayo directamente bajo el bloque de asiento esférico (superior). Limpie las caras de apoyos de los bloques de apoyo superior e inferior del espécimen y colóquelos sobre los bloques de apoyo inferior. Alinee el eje del espécimen con el centro de presión del bloque de asiento esférico. A medida que el bloque de asiento esférico se acerca para apoyarse sobre el espécimen, rote su parte movable suavemente con la mano de modo se obtenga un soporte uniforme.

Aplique la carga hasta que el espécimen falle y registre la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anote el tipo de falla y la apariencia del concreto.

Si la relación de longitud a diámetro del espécimen es menor de 1.8 corrija el resultado obtenido en 8.1 multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en la tabla.

L/D	1,75	1,5	1,25	1
FACTOR	0,98	0,96	0,93	0,87

Factor De Corrección.

Estos factores de corrección se aplican a concretos livianos que pesen entre 1600 y 1920 Kg/m<sup>3</sup> y para concretos de masa normal son aplicables a concreto seco o húmedo en el momento de la carga. Los valores no dados

en la tabla se determinan por interpolación. Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales del concreto de 13.8 a 41.4 MPa.

Con el fin de obtener un valor representativo de la resistencia a la compresión, se deben fundir mínimo 6 cilindros, que se ensayarán de la siguiente manera: dos a los 7 días, dos a los 14 días y dos a los 28 días.

## **5.7. RESISTENCIA AL ATAQUE QUIMICO DEL CONCRETO**

Algunos productos químicos atacan a los cementos. Los de mayor incidencia son: ataques de sulfatos, reacción álcalis-áridos, ataque de aguas puras, permutación de cationes y carbonatación.

### **5.7.1. Ataques por cloruro**

La presencia de una concentración crítica ( $C_c$ ) de iones cloruro en contacto con la superficie de la armadura provoca la despasivación del acero y la corrosión localizada de éste. El valor de  $C_c$  depende de diversos factores tales como: el pH, el contenido de aluminato tricálcico (C3A) en el cemento y en casos del contenido de humedad en el hormigón.

El valor de contenido crítico de cloruros (expresado como cloruros totales o solubles en ácido) generalmente adoptado en la práctica es  $C_c = 0.4 \%$  en peso respecto del contenido de cemento en el hormigón.

El ingreso de los iones cloruros al interior del hormigón puede deberse a la interacción con el medio ambiente, al empleo de sales para el deshielo o a la utilización de aditivos y/o agregado conteniendo este tipo de iones durante la elaboración del hormigón.

### **5.7.2. Pérdida de alcalinidad en el concreto**

La disminución del pH en el hormigón ( $\text{pH} \approx 9$ ), provoca la pérdida de la pasividad del acero. Este proceso puede ocurrir como resultado de la lixiviación de las sustancias alcalinas existentes en los poros del hormigón o bien debido al proceso de carbonatación. La carbonatación ocurre como resultado de la reacción química entre el hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y otros álcalis (Sodio y Potasio) presentes en la solución de los poros con el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico.

Como resultado de esta reacción se forma carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y se acidifica el hormigón. Este fenómeno avanza hacia el interior del hormigón a una velocidad que es generalmente proporcional a  $t^{1/2}$ , siendo  $t$  el tiempo.

El proceso de carbonatación ocurre con mayor rapidez en hormigones de baja calidad y en ambientes cuya humedad relativa varía entre 50 y 70 %.

Sin dudas, uno de los procesos de corrosión más difíciles de identificar y predecir en la práctica es el que ocurre ocasionalmente en el acero de alta resistencia utilizado en las estructuras de hormigón post y pretensadas.

Este fenómeno se denomina Corrosión Bajo Tensión –CBT y se caracteriza por ser de tipo localizado y no presentar pérdida de masa significativa. En consecuencia, la CBT puede provocar la falla de elementos estructurales sin que se observen signos visibles de corrosión en la estructura. El fenómeno está asociado a la aparición de fisuras que se propagan con relativa rapidez, provocando una rotura de tipo frágil del material.

La susceptibilidad a la CBT depende en gran medida de la alcalinidad del hormigón y del contenido de iones cloruro.

Este fenómeno puede ocurrir en hormigones que presentan valores de pH < 12.8 y concentraciones de cloruros aún menores a los niveles establecidos como límite para el inicio de la corrosión del acero en el hormigón armado.

En consecuencia, los componentes estructurales construidos con hormigones de baja calidad, elaborados con aditivos que disminuyen su alcalinidad o expuestos a ambientes con cloruros serán más propensos a presentar problemas de CBT.

### **5.7.3. Ataques por ácidos y bases**

La pasta de cemento es un material fuertemente alcalino (pH > 12,5), por lo tanto, normalmente no se encontrará un ataque específico por materiales básicos.

Altas concentraciones de materiales alcalinos al entrar en contacto con el hormigón durante procesos industriales causan deterioro solamente a través de procesos que no provienen de la reacción química directa con iones hidroxilos, tal como la reacción álcali-sílice.

La situación es enteramente diferente para las soluciones ácidas, que atacan directamente materiales básicos como el hormigón. La consecuencia del ataque de ácidos es la desintegración de la pasta de cemento, quedando expuestos los agregados. Si éstos fueran de tipo calcáreo, también podrían verse atacados.

Como efecto secundario pero no menos importante hay que destacar la reducción de la alcalinidad y la consiguiente pérdida de pasivación de las armaduras, quedando expuestas a fenómenos corrosivos.

#### **5.7.4. Acción de los sulfatos**

Los sulfatos en solución acuosa atacan a los hormigones de cemento portland provocando reacciones expansivas que pueden conducir al deterioro del elemento estructural. Los iones sulfato pueden estar presentes tanto en soluciones ácidas, caso del ácido sulfúrico, en soluciones alcalinas como el sulfato de amonio o en sales, entre las que puede mencionarse los sulfatos de calcio, de magnesio y de sodio.

Se debe separar entonces el proceso de ataque específico del ión sulfato del que corresponde a la especie química o al catión. Por este motivo nos referiremos estrictamente al efecto perjudicial del ión sulfato, independientemente del tipo de especie química.

El mecanismo de daño se asocia a la formación de compuestos expansivos, típicamente la etringita secundaria y yeso cristalizado. La severidad del ataque está condicionada por la velocidad de ingreso de la solución al hormigón, la concentración de esa solución, la especie química propiamente dicha y el tipo de cemento empleado.

#### **5.7.5. Lixiviación y eflorescencia**

Las eflorescencias, ocurren frecuentemente en la superficie del hormigón cuando el agua tiene posibilidad de percolar a través del material, ya sea en forma intermitente o continua, o cuando una cara expuesta sufre el proceso de humedecimiento y mojado en forma alternativa.

Las eflorescencias consisten en el depósito de sales que son lixiviadas fuera del hormigón, las que se cristalizan luego de la evaporación del agua que las transportó o por la interacción con el dióxido de carbono de la atmósfera.

Entre las sales típicas podemos citar los sulfatos y carbonatos de sodio, potasio o calcio. El que generalmente se encuentra en mayor proporción, es el carbonato de calcio.

Las eflorescencias perjudican la estética, pero en sí mismas, no constituyen un problema específico de durabilidad; sin embargo, nos indican que existen procesos de solubilización y transporte de sales desde el interior de la masa, revelando fenómenos de lixiviación. Esto puede llevar a un incremento de la porosidad, disminuyendo la resistencia, aumentando la permeabilidad, haciendo al hormigón más vulnerable a otros ataques y consecuentemente afectar indirectamente la durabilidad.

Se pueden citar casos de estudiados donde una disminución de un 25% del contenido de hidróxido de calcio del hormigón produjo hasta un 50% de reducción de su resistencia original. Influye en el proceso la capacidad de las aguas de solubilizar los compuestos existentes y su solubilidad relativa.

Las aguas puras originadas por la condensación de la niebla o el vapor de agua, y el agua blanda de lluvia o proveniente de la nieve o del hielo son las más agresivas pues no contienen iones calcio y actúan principalmente sobre el hidróxido de calcio que es el más soluble de los compuestos presentes en la pasta de cemento hidratada. Las aguas duras, con alto contenido de iones calcio, son menos peligrosas. La temperatura del agua es un factor que incide ya que la solubilidad del hidróxido de calcio se incrementa con la disminución de la temperatura.

La lixiviación es mayor especialmente cuando el agua pasa a través del hormigón a presión. Cuando el agua circula sobre la superficie, el hormigón puede presentar lixiviación en la cara opuesta o en el caso de tuberías en las zonas próximas al pelo libre de agua. El hidróxido de calcio disuelto reacciona con el dióxido de carbono del aire y genera carbonato de calcio que es una eflorescencia color blancuzco. Una forma de detectar la

presencia de esta sal es verter algunas gotas de ácido clorhídrico, las que en caso de existir formarían un burbujeo.

Los fenómenos de lixiviación de los hidróxidos alcalinos conducen también a una reducción del pH del hormigón y, eventualmente, a una redistribución interna del contenido de álcalis. Estos cambios pueden inducir la ocurrencia de otros fenómenos, dependiendo de las condiciones de exposición y las características de los materiales componentes. Entre estos fenómenos, los más severos son la corrosión de las armaduras de refuerzo y las expansiones en la masa de hormigón por reactividad alcalina de sus agregados.

#### **5.7.6. Carbonatación en el concreto**

La carbonatación es un fenómeno natural que ocurre todos los días en miles de estructuras de concreto en todo el mundo. Es un proceso bien comprendido que ha sido investigado y documentado perfectamente. En concreto que no contiene acero de refuerzo, la carbonatación es, generalmente, un proceso de pocas consecuencias. Sin embargo, en el concreto reforzado, este proceso químico aparentemente inocuo, avanza lenta y progresivamente hacia adentro desde la superficie expuesta del concreto, y asalta al acero de refuerzo causando la corrosión. Aunque la carbonatación es una causa de la corrosión menos importante que los cloruros, no por ello es menos seria en términos del daño que provoca y del dinero que cuesta remediar sus efectos.

La carbonatación en el concreto es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio, que tiene un pH más neutral. Debido a esta pérdida el concreto,

con su ambiente altamente alcalino (rango de pH de 12 a 13), protege al acero de refuerzo ahogado contra la corrosión. Esta protección se logra por la formación de una capa de óxido pasivo sobre la superficie del acero que permanece estable en el ambiente altamente alcalino. Esta es la misma capa pasivadora que atacan los cloruros cuando alcanzan el acero de refuerzo expuesto a sales descongelantes y ambientes marinos. Cuando progresa la carbonatación hacia la profundidad del refuerzo, la capa de óxido protectora y pasivadora deja de ser estable. A este nivel de pH (por debajo de 9.5), es posible que empiece la corrosión, resultando finalmente en el agrietamiento y astillamiento del concreto. Aunque la difusión del dióxido de carbono a través de los poros de concreto pueda requerir años antes de que ocurra el daño por corrosión, puede ser devastadora y muy costosa de reparar.

Es muy importante identificar la presencia de la carbonatación cuando también hay cloruros en el concreto. En el concreto nuevo que tiene un pH de 12 a 13, se requieren aproximadamente de 7,000 a 8,000 partes por millón (ppm) de cloruros para comenzar la corrosión del acero ahogado. Sin embargo, si el pH baja a un rango de 10 a 11, el umbral de cloruro para la corrosión es significativamente menor -100 ppm o menos.

La manera más fácil de detectar la carbonatación en una estructura es romper un pedazo de concreto (preferentemente cerca de un borde) en donde se sospeche que hay carbonatación. Después de soplar todo el polvo residual del espécimen o del substrato, se pulveriza una solución de 1 o 2 por ciento de fenolftaleína en alcohol sobre el concreto. Las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, mientras que las áreas con un pH mayor de 9 a 9.5 adquirirán un color rosado brillante. Este cambio muy apreciable de color muestra cuán profundamente ha progresado el "frente" de carbonatación dentro del concreto. Existen otros métodos y otros indicadores para detectar la carbonatación, pero éste es, con mucho, el método más fácil y común de detección.

Tal como se mencionó antes, el proceso de carbonatación es completamente natural. También se ve afectado por variables naturales que se encuentran en el concreto. El aumento de carbonatación depende, en gran medida, del contenido de humedad y permeabilidad del concreto.

## **5.8. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS MATERIALES AGREGADOS.**

La mayoría de propiedades y características que poseen los materiales pétreos dependen en gran parte de la formación geológica a las cuales pertenecen, pero, en general, los agregados para la realización de concretos se pueden clasificar según su tamaño o densidad.

Para alcanzar el objetivo de este proyecto es necesario realizar una serie de ensayos representativos, los cuales se encuentran especificados en la norma INVIAS Y NTC, el cual nos brinda la oportunidad de conocer cada una de las características físicas, mecánicas y químicas de los agregados, y de igual forma los efectos positivos y negativos que estas puedan causar al concreto.

### **GENERALIDADES**

La clasificación granulométrica determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de un juego de tamices el cual posee aberturas de tipo cuadradas progresivamente decreciente; de esta manera por medio de gráficos conoceremos que tan fino o grueso es el material, detectando así las deficiencias o excesos de un tamaño en particular.

### **TEORIAS SOBRE GRANULOMETRIAS IDEALES**

Las investigaciones que se han desarrollado acerca de lo que es una buena granulometría de agregados para la realización de concretos son muchas, La mayoría de estas investigaciones se basan en la capacidad de acomodamiento y compactación de las partículas (compacidad) dentro de un volumen dado para lograr la máxima densidad y con esto la máxima resistencia, no obstante, esto conduce a mezclas poco trabajables en estado plástico.

El trabajo titulado “Las leyes del proporcionamiento del concreto” presentado en 1907 por Fuller y Thompson se considera como el punto de partida para todos los desarrollos posteriores sobre curvas granulométricas, Fuller y Thompson concluyen que toda curva de gradación ideal presenta un comportamiento elíptico en su fracción fina, la cual incluye al cemento, esta curva converge con una línea recta tangente a la elipse en las fracciones menores a esta. La ecuación general para la parte elíptica de esta curva, está dada por:

$$\frac{(y - b^2)}{b} + \frac{(x - a^2)}{a} = 1$$

## **ECUACIÓN 2. ECUACIÓN GENERAL ELÍPTICA DE LA CURVA.**

**FUENTE:** Diego Sánchez de Guzmán.

Donde:

Y= porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura X.

(a & b) son constantes que representan los ejes de la elipse y su valor depende del tamaño máximo (D) del agregado y de la forma de las partículas; estos valores se muestran en la tabla.

Estas constantes fueron dadas de tal manera que a más angulosas son las partículas de agregado, es más amplio el porcentaje de material fino representado por la parte elíptica.

En esta curva ideal, Fuller y Thompson encontraron que para un valor igual al 7% el valor de  $x$  era de 0.074 mm, es decir, que el 7% de la masa está constituido por partículas de diámetro inferior a 0.074 mm, o sea la fracción que pasa el tamiz N° 200, más el cemento. Posteriormente, la curva continua con su forma elíptica, hasta un valor de  $x$  aproximadamente igual al 10% del tamaño máximo, y a partir de este punto sigue como una línea recta.

CLASE DE MATERIAL	A	B
Agregados redondeados	0.164 D	28.6
Arena natural y grava chancada	0.150 D	30.4
Agregados chancados	0.147 D	30.8

TABLA 1. Valores de las constantes que representan la parte elíptica de la ecuación de Fuller-Thompson.

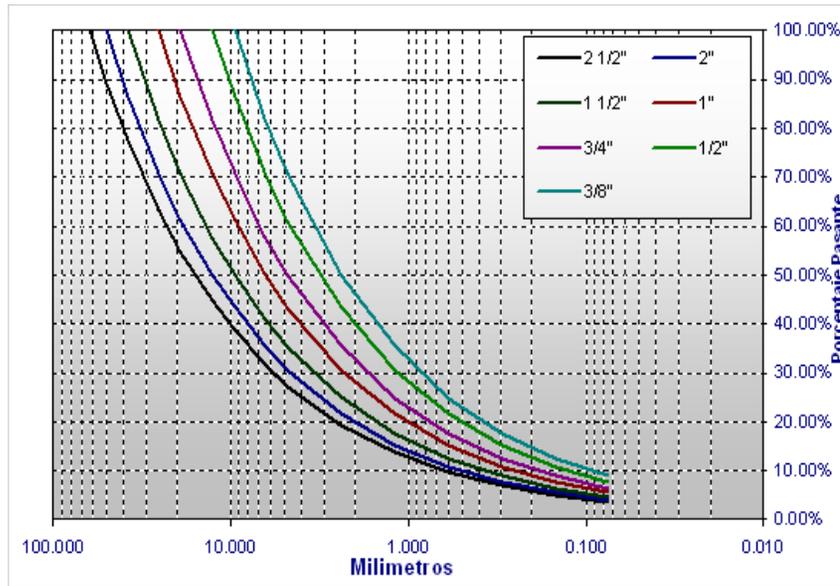


Figura 2. Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos de agregados.

Fuente: <http://www.concrete.0catch.com/Capitulo31.htm>

Pero al analizar este método se observó que los agregados gradados según la ecuación expuesta para producir máxima densidad da lugar a mezclas ásperas y poco manejables en estado plástico debido a falta de finos, especialmente para concretos con bajos contenidos de cemento. Esta es la razón por la que Fuller y Thompson hubieran asumido un 7% de material con diámetro inferior a 0.074 mm.

Luego de estas investigaciones Weymouth concluyó que para obtener la adecuada trabajabilidad con una máxima economía, hay una ley de gradación de los agregados, de tal forma que los granos de un solo tamaño deben tener espacios suficientes para moverse dentro del espacio dejado por los granos del tamaño subsiguiente mayor, evitando la interferencia de las partículas.

De acuerdo con esto, se ha observado que estas gradaciones dan lugar a mezclas con excesos de finos, por lo que se requiere alto contenido de agua y cemento para obtener una misma resistencia.

Sin embargo la modificación más acertada es la propuesta por Bolomey (1947), la cual contempla un mayor contenido de finos dentro de la masa de agregado, (sin excesos) con el objeto de eliminar la aspereza y mejorar la trabajabilidad.

Es conveniente anotar que las granulometrías ideales solo existen a nivel teórico, de tal manera que una buena granulometría, se refiere al aprovechamiento eficiente de condiciones técnicas y económicas.

## **NORMA DE REFERENCIA PARA AGREGADOS GRUESOS Y FINOS I.N.V.E – 213 – 07**

En este método se determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente.

Los resultados se emplean para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes mezclas que contengan agregados. Los datos pueden también servir para el desarrollo de las relaciones referentes a la porosidad y el empaquetamiento.

### **EQUIPOS**

**Balanza:** con sensibilidad de por lo menos 0.1% de la masa de la muestra que va a ser ensayada.

**Tamices:** Se dispondrá del juego de tamices estándar adecuada para obtener la información deseada de acuerdo con las especificaciones para el material que se ensayar. Los marcos de los tamices se deberán acoplar de

forma que se evite cualquier pérdida de material durante el proceso de tamizado.

**Horno:** De tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

**Muestra:** Las muestras para el ensayo se obtendrán por medio de cuarteo, manual o mecánico, (según la norma INVIA E – 202). El agregado debe estar completamente mezclado antes de cuartearlo y tener la suficiente humedad para evitar la segregación y la pérdida de finos. La muestra para el ensayo debe tener la masa seca aproximada y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo. No está permitido seleccionar la muestra con una masa exacta determinada.

Para el Agregado fino las muestras después de secadas, deberán tener una masa mínima de 300 g y para el Agregado grueso después de secadas, deberán tener aproximadamente las siguientes masas, según el tamaño máximo nominal.

Tabla 2. Masas mínimas para las muestras. INVIA E 213-07

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas		Masa Mínima de la muestra en ensayo
mm	Pulg.	kg.
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 ½)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 ½)	35

75,0	(3)	60
90,0	(3 ½)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

Fuente: INVIA E 213-07

Para mezclas de agregados gruesos y finos, la muestra adecuada deberá tener la misma masa recomendada para agregados gruesos de las muestras.

La cantidad de muestra que se requiere con agregados de tamaño máximo nominal mayor o igual a 50 mm es tal como para imposibilitar el ensayo, a no ser que se realice con una gran tamizadora mecánica. Sin embargo, la finalidad de éste método de ensayo se puede satisfacer para muestras de agregados con tamaños máximos nominales mayores de 50 mm, dividiendo la muestra total en varias porciones y tamizándolas por separado, siempre que el criterio de aceptación o rechazo del material esté basado en el valor medio de los resultados de las porciones ensayadas, de modo que la masa de agregado utilizada en cada porción multiplicada por el número de porciones, iguale a la masa mínima para ensayo.

## **PROCEDIMIENTO.**

Se seca la muestra a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), hasta obtener masa constante, con una aproximación de 0.1% de la masa seca original de la muestra.

También las muestras se pueden secar a las mayores temperaturas asociadas con el uso de planchas de calentamiento, sin que se afecten los

resultados, siempre que el vapor escape sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas y las temperaturas no sean tan altas que causen la rotura química del agregado.

Se selecciona un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por las especificaciones del material que se va a ensayar. El uso de tamices adicionales es aconsejable si se desea otro tipo de información, como el módulo de finura, o para regular la cantidad de material sobre un determinado tamiz. Se encajan los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura y se coloca la muestra sobre el tamiz superior.

La cantidad de material en un tamiz dado se debe limitar de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación de tamizado. Se determina la masa de la muestra retenida en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido.

La masa total del material después del tamizado debe ser muy próxima a la masa de la muestra original colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más de 0.3% de la masa original de la muestra seca, los resultados no podrán ser utilizados para fines de aceptación.

## **CÁLCULOS.**

Se calculan los siguientes porcentajes:

- a) el porcentaje que pasa.
- b) el porcentaje total retenido.

c) el porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, con una aproximación de 0.1%, con base en la masa total de la muestra inicial seca.

Cuando la muestra se haya ensayado por porciones, se deberán totalizar las masas de todas las porciones retenidas en cada tamiz y usar dichos totales para calcular el porcentaje.

Se calcula el módulo de finura, cuando así se prescriba, sumando los porcentajes totales de material en la muestra, retenidos en los tamices siguientes y dividiendo la suma por 100:

**TAMICES:**

TAMIZ	ABERTURA (mm)
(No.100)	150
(No.50)	300
(No.30)	600
(No.16)	1.18
(No.8)	2.36
(No.4)	4.75
(3/8")	9.5
(3/4")	19.0
(1/2")	37.5

Y mayores que aumenten en relación 2 a 1.

**3.9. GRANULOMETRIA DE LOS MATERIALES**

La gradación de los materiales fue determinada por medio de los procedimientos descritos en la norma INVIA E – 213 – 07; los resultados de

este análisis se presentan en forma tabulada para cada una de las muestras; pero para mayor comprensión, estos resultados se representaran de manera grafica mediante curvas.

### **ESPECIFICACIONES DE LAS CURVAS GRANULOMETRICAS SEGÚN LA NORMA NTC – 174**

A raíz de la necesidad de controlar los materiales de construcción para obtener concretos de buena calidad que cumplan con las especificaciones de resistencia y durabilidad, los organismos nacionales a cargo del tema han creado especificaciones sobre granulometrías de los materiales.

Estas especificaciones contempla dos curvas granulométricas, que definen el límite inferior y el límite superior, como intervalos entre los cuales debe estar contemplada la curva de gradación de los materiales utilizados en las obras civiles, y estas dependen del tamaño máximo que la muestra presente.

En este punto es importante recordar que las granulometrías ideales son difíciles de producir y que un excelente concreto puede ser hecho con un amplio rango de gradaciones de agregados, aunque granulometrías por fuera de estos límites pueden ser no económicas y poco manejables.

Para ello, el procedimiento más exacto para calcular la proporción de los agregados en la mezcla es el método grafico, es cual provee las cantidades de cada tamaño de partículas de agregados finos y gruesos, refiriéndose a una curva de gradación recomendada

## 5.10. PASOS A.C.I PARA DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El comité A.C.I. 211 ha establecido una metodología para encontrar las proporciones de cada ingrediente por metro cubico de concreto, siguiendo la siguiente secuencia:

Paso 1. Seleccionar el asentamiento y la resistencia del concreto requeridos: (Importancia dada a las propiedades del concreto en estado fresco, para su manejo, colocación y compactación)

Paso 2. Seleccionar el tamaño máximo del agregado grueso (vidrio), basados en los requerimientos de resistencia: (Se da importancia a las características del tamaño, para la realización de procesos de producción, transporte y colocación de concreto)

Paso 3. Estimación del contenido de aire: (Tiene que ver con las exposiciones de aire que debe tener el concreto para su operación)

Paso 4. Estimar del contenido de agua de mezcla: (Tiene que ver con las exposiciones de agua que debe tener el concreto para su operación y sus funciones principales)

Paso 5. Determinación de la resistencia del diseño: (Determinar las condiciones de resistencia del concreto a la comprensión promedio y su uso bajo normas de Sismo Resistencia)

Paso 6. Selección de la relación agua- cemento: (Se da importancia a la correspondencia entre la resistencia y la relación agua-cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades).

Paso 7. Cálculo del contenido de cemento (Permite calcular la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto, para un uso eficiente de las cantidades y resistencias)

Paso 8. Estimación de las proporciones de agregados (Permite estimar las proporciones de los agregados mediante combinaciones granulométricas, para su uso, dosificaciones y cantidades)

Paso 9. Ajustes por humedad de los agregados: (Tiene que ver con los ajustes que se realizan al diseño de la mezcla para que se adhieran correctamente sus componentes)

Paso 10. Ajustes a la mezcla de concreto (Realizada la mezcla, se deben corregir los pequeños detalles que permitan una adherencia óptima de todos sus componentes)

A continuación se diseñará una mezcla de concreto de acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño de agregados para los materiales en estudio por el método ACI 211, tomando como referencia la dosificación de materiales agregado encontrados. Para los dos diseños de mezcla se utilizará el agregado fino de la cantera Santo Tomás combinándolo con el agregado grueso (Vidrio reciclado).

El cemento a utilizar en los dos diseños de mezcla es Cemento Portland tipo 1 marca ARGOS con un peso específico de 3.130 gr/cm<sup>3</sup>.

## 5. ESUPUESTO

### PRESUPUESTO DE PROYECTO DE GRADO

ITEMS	MATERIALES Y GASTOS	UN	CAN	V. UNITARIO	V.TOTAL
1.	BOLSA DE CEMENTO ARGOS 50 Kg	GL	4	22.000,00	88.000,00
2.	BOLSAS DE ARENA SANTO TOMAS	GL	12	500,00	6.000,00
3.	TRANSPORTE EN LA RECOLECCION DEL VIDRIO	GL	3	10.000,00	30.000,00
4.	TRANPORTE DEL CEMENTO Y ARENA	GL	1	7.000,00	7.000,00
5.	ALQUILER DE MEZCLADORA	GL	1	40.000,00	40.000,00
6.	DÍA AYUDANTE HOMBRE	GL	1	25.000,00	25.000,00
7.	GASTOS DEL GRUPO ( COMIDA, TRANSPORTETE)	GL	1	120.000,00	120.000,00
	<b>TOTAL:</b>				<b>316.000,00</b>

## **BIBLIOGRAFIA**

**NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO-RESISTENTE (NSR-98).**

**MANUAL DE LABORATORIO DE ASOCRETO.**

**NORMA INVIAS, Tomo II.**

**SANCHEZ DE GUZMAN, Diego, Tecnología Del Concreto Y Del Mortero, Bahndar Ediciones, 5ta edición.**

**VERGEL, GUSTAVO, Metodología De La Investigación.**