

**DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO USANDO COMO ADITIVOS RESIDUOS  
PLASTICOS PROVENIENTES DE CHATARRA ELECTRONICA**

**JORGE ARMANDO AGRESOTT MELENDEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**Cartagena**

**2012**

**DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO USANDO COMO ADITIVOS  
RESIDUOS PLASTICOS PROVENIENTES DE CHATARRA ELECTRONICA**

**JORGE A. AGRESOTT M.**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director de Investigación  
Cesar Eduardo Pereira. M. Sc.  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
Cartagena  
2012**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Cartagena de Indias, 29 de Marzo de 2012**

“Esta meta a la que he llegado se la dedico a Dios por haberme dando la fuerza para alcanzar lo que mas anhelaba, por mostrarme la luz cuando el camino se hacia oscuro y turbulento, sobre todo a mis padres Jorge Agresott y Daicy Meléndez y mi hermana Diana Agresott por apoyarme en todas las decisiones que he tomado y guiarme por el camino correcto, sé que si ellos esto o hubiese sido posible”

Jorge Armando Agresott Meléndez

## RESUMEN

El presente trabajo buscó evaluar en laboratorio el cambio en la resistencia mecánica que experimentan mezclas de concreto hidráulico se adiciona al cemento aditivos poliméricos producto de desechos industriales (Residuos de chatarra electrónica). Para tal fin se empleó para el diseño de la mezcla el método Füller y para los ensayos, ensayo a la compresión y ensayos de asentamiento, de la misma manera se pesaron las muestras y se calculó su densidad. De los resultados obtenidos se concluye que la resistencia mecánica de mezclas de concreto hidráulico modificadas con residuos de chatarra electrónica es mayor en comparación con las convencionales (mezclas que emplean concreto hidráulico sin ningún aditivo).

Los componentes desarrollados son ecológicos, porque se utiliza para su elaboración un residuo que hasta el presente no tiene una disposición final apropiada, siendo su destino habitual, cuando ya no tiene cabida en bodegas, basurales en donde se acumula o quema produciendo contaminación, o se entierra en predios sanitarios desaprovechando un recurso valioso.

La contribución científico – técnica del trabajo consiste en el desarrollo tecnológico de nuevos productos, y el estudio de sus propiedades.

## Contenido

LISTA DE TABLAS .....	9
TABLA DE FIGURAS .....	10
TABLA DE ECUACIONES.....	11
1 INTRODUCCIÓN.....	12
2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
2.1 Objetivo general .....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
3 MARCO TEORICO .....	16
3.1 AGREGADOS .....	16
3.1.1 GENERALIDADES.....	16
3.1.2 ORIGEN DE LOS AGREGADOS.....	17
3.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	17
3.1.4 PROPIEDADES, FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	20
3.1.5 PROPIEDADES FÍSICAS .....	20
3.1.6 FORMA Y TEXTURA .....	21
3.1.7 DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO .....	22
3.1.8 POROSIDAD Y ABSORCIÓN .....	25
3.1.9 GRANULOMETRÍA.....	26
3.1.10 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	29
3.1.11 RESISTENCIA .....	29
3.1.12 TENACIDAD .....	30
3.1.13 ADHERENCIA.....	31

3.1.14	DUREZA .....	32
3.1.15	SUSTANCIAS Y FACTORES PERJUDICIALES.....	32
3.1.16	SANIDAD DE LOS AGREGADOS .....	34
4	CONCRETO .....	36
4.1	GENERALIDADES .....	36
4.2	EVOLUCION HISTORICA Y ESTADO DEL ARTE DEL CONCRETO .....	37
4.3	COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO .....	39
4.4	CLASIFICACION DEL CEMENTO.....	41
4.5	PROPIEDADES DEL CEMENTO .....	42
4.6	FINURA.....	43
4.7	SANIDAD .....	43
4.8	PESO ESPECÍFICO .....	44
4.9	PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRATADO.....	44
4.9.1	<i>Cohesión y manejabilidad</i> .....	44
4.9.2	<i>Pérdida de revenimiento</i> .....	45
4.9.3	<i>Asentamiento y sangrado</i> .....	46
4.10	PROPIEDADES DEL CONCRETO FRAGUADO.....	46
4.10.1	<i>Adquisición de resistencia mecánica</i> .....	46
4.10.2	<i>Generación de calor</i> .....	48
4.10.3	<i>Estabilidad volumétrica</i> .....	49
4.10.4	<i>Estabilidad química</i> .....	49
4.11	ENSAYOS PARA EL CONCRETO .....	50
4.11.1	<i>ASENTAMIENTO</i> .....	50
4.11.2	<i>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</i> .....	51
4.12	METODO DE FULLER .....	52
4.12.1	<i>GENERALIDADES</i> .....	52
5	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR .....	56
5.1	AGREGADOS .....	56

5.2	CEMENTO .....	57
5.3	RESIDUOS DE CHATARRA ELECTRONICA .....	57
6	METODOLOGIA Y CALCULOS.....	59
6.1	METODO DE FULLER PARA DOSIFICACION DE MEZCLAS.....	59
6.2	METODO DE ELABORACION DE LAS MUESTRAS .....	59
6.2.1	<i>Numero de muestras.....</i>	<i>59</i>
6.2.2	<i>Preparación de los agregados.....</i>	<i>60</i>
7	TABULACION DE LOS RESULTADOS.....	61
7.1	ANALISIS DE RESULTADOS .....	65
7.2	DISEÑO DE MEZCLA .....	66
7.3	PREPARACION DE LA MEZCLA .....	67
7.4	OBTENCION DE PROBETAS DE CONCRETO .....	68
7.4.1	<i>EQUIPO NECESARIO .....</i>	<i>68</i>
7.4.2	<i>Procedimiento y Muestreo:.....</i>	<i>70</i>
7.4.3	<i>Desmoldado:.....</i>	<i>71</i>



## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Clasificación según el tamaño de las partículas.....	20
<b>Tabla 2.</b> Denominación y aberturas de tamices.....	71
<b>Tabla 3.</b> Tabla para ingreso de información .....	28
<b>Tabla 4.</b> Principales componentes del cemento portland .....	23
<b>Tabla 5.</b> Límites de componentes para diferentes tipos de cemento portland .....	34
<b>Tabla 6.</b> Análisis toxicológico de muestra de chatarra electrónica.....	39
<b>Tabla 5.</b> Límites de componentes para diferentes tipos de cemento portland.....	45

## TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Tamaño de las partículas .....	17
Figura 2: Procedencia de Agregados .....	18
Figura 3: Angularidad, Forma y Textura .....	20
Figura 4. Tamices para análisis granulométrico .....	25
Figura 5. Curva de granulometría o de cribado .....	27
Figura 6: Resistencia de un material a la compresión .....	28
Figura 7. Tenacidad de un material .....	29
Figura 8: Adherencia del concreto en el acero .....	30
Figura 9. Asentamiento .....	48
Figura 10. Maquina de compresión .....	49
Figura 11. Tabla de método de Füller .....	52
Figura 12. Gravilla y arena .....	53
Figura 13. Cilindros de concreto .....	56
Figura 14. Determinación de las cantidades necesarias para muestras de cilindro .....	57
Figura 15. Preparación de la mezcla .....	63
Figura 16. Moldes de cilindro .....	64
Figura 17. Varilla .....	64
Figura 18. Mazo .....	65
Figura 19. Mezcla de pasta .....	67
Figura 20. Limpieza y vaciado en cilindros .....	67
Figura 21. Vaciado en cilindros de mezcla .....	68
Figura 22. Compresión de la mezcla en moldes .....	68
Figura 23. Enrazado .....	68
Figura 24. Enrazado de cilindros .....	69

## TABLA DE ECUACIONES

pág.

Ecuación 1. Densidad nominal.....	22
Ecuación 2. Densidad absoluta.....	22
Ecuación 3. Densidad aparente.....	23
Ecuación 4. Capacidad de absorción.....	24

# 1 INTRODUCCIÓN

La tecnología del concreto hidráulico modificado, en el mundo, ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas convencionales. Por lo general, lo que se busca con este tipo de tecnología es mejorar algunas de las propiedades mecánicas, tales como la rigidez, la resistencia al envejecimiento, a la fatiga y la susceptibilidad térmica.

Para esto se han empleado diferentes métodos o se han utilizado diferentes materiales en los diseños de mezcla para comprobar si estas adiciones o modificaciones hacen variar las características del material.

Unos de los materiales mas utilizados en estos diseños de mezclas de concreto hidráulico no convencionales han sido los polímeros, ya sea que provengan de desechos o que se haya elaborado un material sintético para cumplir con este requisito, estos son los materiales de uso “común” para tratar de mejorar las propiedades del concreto.

La chatarra electrónica es un conjunto de residuos que son descartadas porque ya no tienen un uso y provienen de aparatos electrónicos como los computadores y celulares, cuyo grado de peligrosidad es elevado debido a que están compuestos por materiales tóxicos que pueden afectar la salud humana como lo son el plomo, arsénico, cadmio y mercurio<sup>1</sup>.

C.I. Recycables S.A es una empresa ubicada en la ciudad de Cartagena que cuenta con tecnología que le permita captar y procesar materiales provenientes de la chatarra electrónica de manera que después puedan ser

---

<sup>1</sup><http://www.arqhys.com>

comercializados al interior o exterior del país. Este propósito principal de la empresa le ha permitido mantener un enfoque ambiental que busque la conservación del medio ambiente mediante el reciclaje de materiales que aun no han llegado al fin de su vida útil y que eran dispuestos en los rellenos de la ciudad sin un tratamiento previo y sin conocimiento alguno de sus características contaminantes o degradables. Aun cuando gran parte de los residuos provenientes de la chatarra electrónica son procesados adecuadamente, se ha presentado una problemática en lo referente a unos residuos en particular que ha generado la preocupación ambiental de la empresa debido a que no se tiene un tratamiento o disposición específico. Estos materiales son los plásticos que son separados, triturados y almacenados en bodegas, que cuentan con características variadas dependiendo de la función electrónica que desempeñaban, es decir, la resistencia a los metales, sulfatos y altas temperaturas. Así mismo la empresa cuenta con un problema un poco más acentuado enfocado a la falta de espacio puesto que todo este material plástico inservible es almacenado en bodegas ocupando terreno que es necesario para la captación, procesamiento y disposición de los demás residuos que si tienen un destino definido.<sup>2</sup>

La necesidad de incluir estos residuos en una mezcla de concreto se encuentra determinada en tres razones principales. La primera está enfocada en la búsqueda de mejorar la resistencia de los concretos prefabricados teniendo en cuenta las propiedades de estos plásticos así como su exposición a condiciones de temperatura elevada que permitirían tener un concreto mucho más resistente al calor. La segunda razón está basada en el tratamiento de los plásticos comunes que se ha venido dando a nivel mundial en diversas aplicaciones desde el reciclaje de las botellas hasta la utilización

---

<sup>2</sup><http://www.recycables.com.co>

en la elaboración de bloques de arcilla. Finalmente, está la necesidad de disminuir y/o sustituir gradualmente el uso de los componentes convencionales para una mezcla de concreto hidráulico.

## **2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto causado por los restos de plástico de chatarra electrónica en concreto hidráulico, mediante el estudio y el análisis del comportamiento mecánico, con el fin de encontrar una mezcla de concreto óptima, que permita una mejora de las diferentes características de ésta con respecto a una mezcla convencional.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar referentes bibliográficos sobre el manejo de residuos plásticos y su utilización en mezclas de concreto mediante la consulta de documentos en formato digital y en formato físico para conocer que se ha venido realizando con respecto al tema de la tesis en mención.
- Analizar las características y propiedades del material plástico, mediante ensayos físico-químicos, de manera que se pueda descartar su carácter toxico.
- Realizar diferentes pruebas de laboratorio a las mezclas de concreto elaboradas evaluando la influencia de los residuos plásticos adicionados en la resistencia.
- Evaluar los resultados y determinar las mejores mezclas para ser utilizadas en la construcción.

## **3 MARCO TEORICO**

### **3.1 AGREGADOS**

#### **3.1.1 GENERALIDADES**

También conocidos como áridos, son un conjunto de materiales pétreos naturales seleccionados, materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, el cual es mezclado con cemento portland y agua, para formar lo que conocemos como concreto. Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en volumen de una mezcla típica de concreto.

Los agregados sirven como refuerzo para adicionar fuerza al material compuesto total. Los agregados también se utilizan como materia prima bajo fundaciones, camino y ferrocarriles.

El suelo es considerado como un cúmulo de agregados naturales de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, ya sea con el método de agitación en agua o por la forma mas practica por la separación granular mediante un proceso de tamizado.

Los agregados deben estar libres de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas que puedan afectar las reacciones químicas de fraguado o produzcan porosidades indeseables.



### **3.1.2 ORIGEN DE LOS AGREGADOS**

Los yacimientos de agregados comúnmente son localizados en ríos, lagos, lechos marinos, cerros o lomas a partir de una exploración visual de las formaciones geológicas, y una vez localizados se realiza una exploración mecánica con equipos de barrenación para realizar un muestreo.

Luego se prosigue con el procesamiento. En el caso de la arena solo se criba, pero si se trata de grava, se tritura en diversas fases, según se requiera, hasta que, mediante bandas de transportación arriba a una quebradora, en donde se obtiene el material en las medidas requeridas; este se clasifica y almacena cuidadosamente para evitar contaminación y segregación.

### **3.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS**

En general, los agregados se han clasificado de varias maneras a través del tiempo, pero principalmente desde los puntos de vista de su tamaño, procedencia y densidad

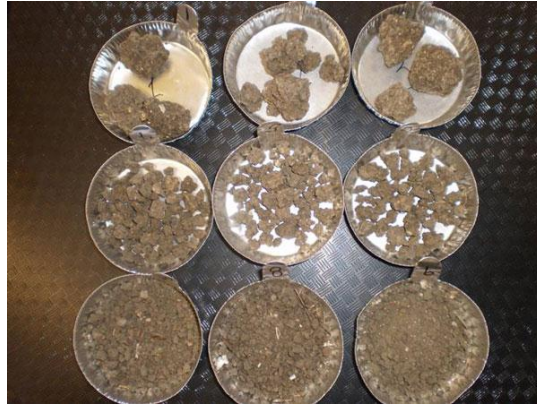
#### **3.1.3.1 SEGÚN SU TAMAÑO**

- Agregado grueso: Agregado retenido de modo predominante por el tamiz No. 4; o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4. El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado grava, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.
- Agregado fino: Agregado que pasa por el tamiz de 3/4 in y casi pasa por completo por el tamiz No. 4 y es retenido de modo predominante

por el tamiz No. 200 ;o bien, aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz No. 4 y es retenida de modo predominante por el No. 200. El agregado fino utilizado en nuestro medio se denomina arena, este resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.

Tamaño de las partículas en mm(pulg)	Denominación mas corriente	Clasificación
<b>Inferior a 0.002</b>	Arena	Fracción muy fina
<b>Entre 0.002-0.074(No.200)</b>	Limo	
<b>Entre 0.074-4.76(No.200)-(No. 4)</b>	Arena	Agregado Fino
<b>Entre 4.76-19.1 (No. 4)-(No. ¾")</b>	Gravilla	Agregado grueso
<b>Entre 19.1-50.8(No. ¾")-(2")</b>	Grava	
<b>Entre 50.8-152.4 (2")-(6")</b>	Piedra	
<b>Superior a 152..4(6")</b>	Rajón, piedra bola	

**Tabla1.**Clasificación según el Tamaño de las Partículas



Fuente: [http://www.ucm.es/info/otri/cult\\_cient/infocientifica/201201\\_01not.htm](http://www.ucm.es/info/otri/cult_cient/infocientifica/201201_01not.htm)

### **3.1.3.2 SEGÚN SU PROCEDENCIA**

- Agregados naturales: Formados por procesos geológicos.
- Agregados artificiales: Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios. Algunos de estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada, etc.
- Piedra triturada: Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedras boleadas o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.
- Escoria siderúrgica: Residuo mineral no metálico, que consta de esencia de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, y que se produce simultáneamente con la obtención del hierro.



**Figura 2:** Procedencia de Agregados

**Fuente:** <http://www.mercosur.com/es~producto-3419~Escoria-Siderurgica-.aspx>

**Fuente:** [http://www.agregados.biz/faq/concreto\\_agregado.php](http://www.agregados.biz/faq/concreto_agregado.php)

### **3.1.4 PROPIEDADES, FÍSICAS Y MECÁNICAS**

Los agregados como los elementos de mas volumen dentro de las mezclas de concreto, influyen mucho en el comportamiento mecánico y dinámico del aglomerado final del concreto. Por esta razón es muy importante la caracterización de los agregados debido a que esto nos brinda una imagen de como los agregados van a comportarse en las estructuras de concreto.

### **3.1.5 PROPIEDADES FÍSICAS**

Las propiedades físicas de los materiales son de gran importancia a la hora de seleccionarlos para la elaboración de concreto debido a que estas características le darán ya sea mayor o menor rendimiento del concreto. Las propiedades que se mostraran a continuación son ciertas propiedades que se consideran de mayor importancia para poder tener claro los conceptos que mas adelante se necesitan para lograr entender mejor el camino de la investigación.

### 3.1.6 FORMA Y TEXTURA

La forma y textura de las partículas de agregados influyen mucho en los resultados a obtenerse en las propiedades del concreto. Existiendo un efecto de anclaje mecánico que resulta mas o menos favorable en la relación con el tamaño, la forma, la textura superficial y el acomodo entre ellas, también producen fenómenos de adherencia entre el ligante, que es el asfalto, y los agregados, condicionados por estos factores; todos estos puntos contribuyen en el comportamiento de la resistencia y durabilidad de la estructura del concreto hidráulico.

Por naturaleza los agregados tienen una forma irregularmente geométrica, compuesta por combinaciones aleatorias de caras redondeadas y angularidades.

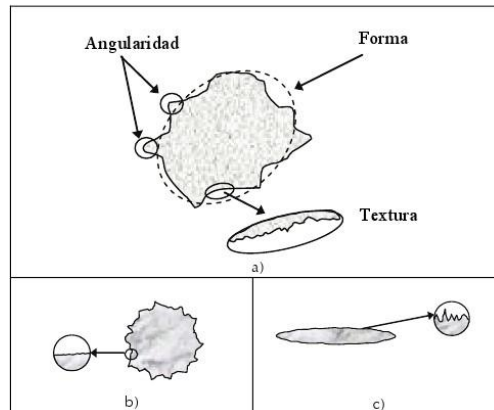
En términos meramente descriptivos, la forma de los agregados se define en:

- Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub-angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub-redondeada: Bordes casi eliminados.
- Muy redondeadas: Sin caras ni bordes.

La redondez de los agregados se relaciona mas con la dureza y la resistencia al desgaste de la abrasión pero la esfericidad tiende mas al procesado de agregados es decir que depende mucho del tipo de trituración y la manera como esta es operada.

La textura nos da la idea de que tan lisa o que tan rugosa es la superficie de un agregado, esta es una característica que posee mucha relación con la

absorción debido a que entre mas liso sea un agregado menor absorción de líquidos tendrá este.



**Figura 3: Angularidad, Forma y Textura**

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/47927858/AIMS-para-el-estudio-de-mezclas>

### 3.1.7 DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO

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 del agregado.

Como generalmente las partículas del 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 entonces, una serie de estados de humedad a los que corresponde idéntico número de tipos de densidad, descritos en las Normas Técnicas Colombianas 176 y 237.

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.

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. El valor de la densidad de la roca madre varía entre 2.48 y 2.8 kg/cm<sup>3</sup>. El procedimiento para determinarla está se encuentra en la NTC 176 para los agregados gruesos y la NTC 327 para los agregados finos.

Existen tres tipos de densidades, las cuales están basadas en la relación entre la masa en el aire y el volumen del material; se describen entonces los siguientes tipos de densidades.

### **Densidad Nominal**

Es la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material, incluidos los poros no saturables.

$$Densidad\ nominal = \frac{P_s}{V_m - VP_S}$$

**Ecuación 1. Densidad Nominal**

**Fuente:** <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

Donde:

$P_s$  = Peso seco de la masa m

$V_m$  = Volumen ocupado por la masa m

$VP_S$  = Volumen de los poros saturables

## Densidad Absoluta

Se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupa única y exclusivamente la masa sólida, es decir, que se excluyen todos los poros, saturables y no saturables.

$$\text{Densidad Absoluta} = \frac{P_s}{V_m - V_p}$$

Ecuación 2. Densidad Absoluta

Fuente: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

Donde:

$P_s$  = Peso seco de la masa m

$V_m$  = Volumen ocupado por la masa m

$V_p$  = Volumen ocupado por los poros (saturables y no saturables)

## Densidad Aparente

La densidad aparente está definida como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material, incluidos los poros, saturables y no saturables.

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{P_s}{V_m}$$

Ecuación 3. Densidad Aparente

Fuente: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

Donde:

$P_s$  = Peso seco de la masa m



$V_m$  = Volumen ocupado por la masa m

Es conveniente definir que la densidad aparente puede ser determinada, ya sea en estado seco o en estado húmedo.

### 3.1.8 POROSIDAD Y ABSORCIÓN

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen. Todas las rocas que constituyen los agregados de peso normal son porosas en mayor o menor grado, pero algunas poseen un sistema de poros que incluye numerosos vacíos relativamente grandes (visibles al microscopio), que en su mayoría se hallan interconectados, y que las hace permeables. De este modo algunas rocas, aunque poseen un bajo porcentaje de porosidad, manifiestan un coeficiente de permeabilidad comparativamente alto, es decir, más que el contenido de vacíos influye en este aspecto su forma, tamaño y distribución.

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{P_{SSS} - P_s}{P_s} \times 100$$

**Ecuación4. Capacidad de Absorción**

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/53742834/4/PORCENTAJE-DE-ABSORCION>

Donde:

$P_{SSS}$  = peso de la muestra saturada y superficialmente seca

$P_s$  = peso seco de la muestra

### 3.1.9 GRANULOMETRÍA

Es la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen un material, de acuerdo a los intervalos teóricos de clasificación, se refiere también al tamaño máximo y mínimo de agregados. Este estudio es importante debido a que una mala graduación de los agregados provoca huecos o deficiencia en tamaño, así mismo se obtendrá un concreto sumamente caro por el alto contenido de cemento; por consiguiente, el elemento estructural resulta antieconómico también, la cantidad excesiva de arena en un concreto ocasiona que se eleve el costo. La graduación del agregado es muy importante para la trabajabilidad del concreto, nos ayuda a bombear con mayor rapidez en las superficies lisas. Para tener una mejor concepción del concepto de granulometría, se pasa a definir varios puntos que son respecto a esta propiedad.

#### 3.1.9.1 Análisis Granulométrico

En un análisis granulométrico se separan de una masa de agregado sus fracciones de igual tamaño mediante el uso de tamices que su función es separar y depositar en cada sección de estos el tamaño apropiado de cada diámetro del agregado de aberturas cuadradas y cuyas características se ajustan a la Norma Técnica Colombiana NTC-32.



**Figura 4. Tamices para análisis granulométrico**  
Fuente: <http://www2.ing.puc.cl/~ingeot/ice1603/lab3/lab3.htm>

<b>TAMIZ</b>	
<b>Milímetros (mm)</b>	<b>Pulgadas (In)</b>
25	1
19	¾
12.5	½
9.5	3/8
4.75	No. 4
2	No. 10
0.425	No. 40
0.180	No. 80
0.075	No. 200
<b>FONDO</b>	

Tabla 2. Denominación y Aberturas de Tamices

Fuente: <http://especificacionestecnicasingenieria.blogspot.com/2010/06/camaras-de-inspeccion-ii.html>

<b>TAMIZ</b>	<b>Diametro</b>	<b>W. Ret</b>	<b>% Ret.</b>	<b>% Pasa</b>
1 1/2	38			
1	25			
3/4	19			
1/2	12.5			
3/8	9.5			
N°4	4.76			
N°8	2.38			
N°16	1.2			
N°30	0.6			
N°50	0.3			
N°100	0.15			
N°200	0.075			

Tabla 3. Tabla para ingreso de información

Fuente: <http://ingcivileinfraestructura.blogspot.com/2010/11/granulometrias-parte-1.html>

De la tabla anterior podremos observar de una manera más cómoda y cuantitativa la cantidad de materiales retenidos en cada tamiz y además el porcentaje que pasa en cada uno. Luego de esto se puede crear una curva granulométrica en la cual se podrá mostrar todo lo tabulado de una manera grafica

### 3.1.9.2 Curvas de Granulometría

La gráfica de la distribución granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semi logaritmica resulta preferible a la simple presentación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos.

La forma de la curva da idea inmediata de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un solo tamaño estará representado por una línea vertical, una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado)

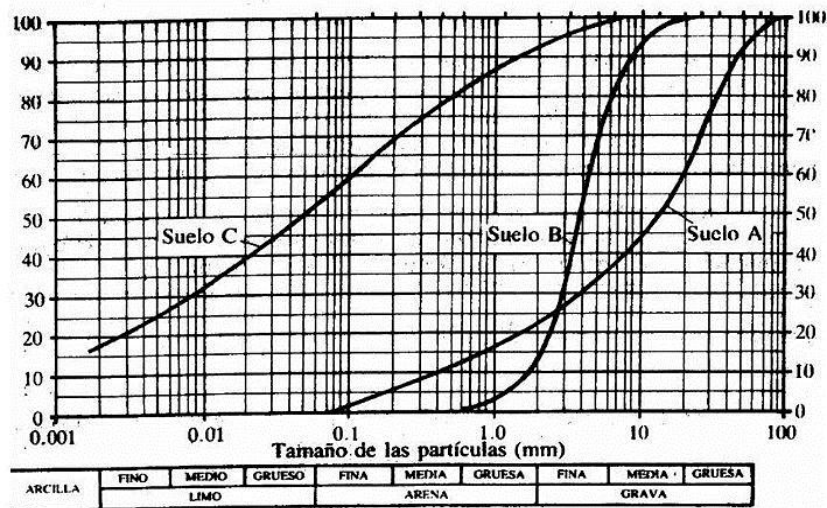


Figura 5. Curva de granulometría o de cribado  
Fuente: <http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Granulometr%C3%ADa>

### 3.1.10 PROPIEDADES MECÁNICAS

Dentro de las propiedades inherentes de los agregados, se ha concluido a través de la explotación a fondo de estos materiales, las siguientes propiedades que intervienen directamente con el comportamiento mecanico, junto con las propiedades físicas, que también son de vital importancia respecto a este comportamiento específico.

### 3.1.11 RESISTENCIA

Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

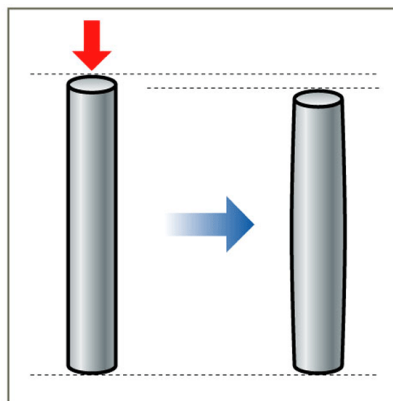


Figura 6: Resistencia de un material a la compresión  
Fuente: <http://laneweradelatecnologia.blogspot.com/>

### 3.1.12 TENACIDAD

La tenacidad tiene que ver con la capacidad que tiene un material para absorber energía sin romperse. Todos los materiales tienen grietas internas que se propagan más rápido mientras menos tenaz sea el material. Cuando el material se deforma con facilidad, es decir, es blando, la porción del material que rodea la grieta se deforma. Este proceso consume energía lo que retarda la propagación de la grieta y consigue que el material sea tenaz. En los materiales más duros, esta deformación no ocurre por lo que las grietas disponen de mucha más energía para propagarse, lo que lleva al material a tener una baja tenacidad.

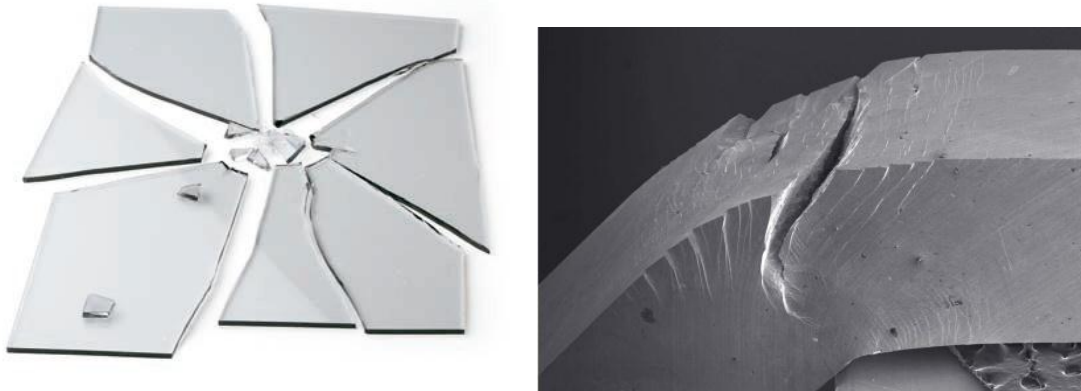


Figura 7. Tenacidad de un material

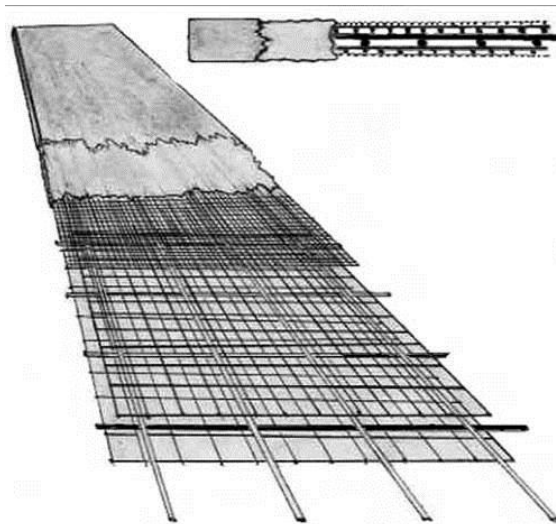
Fuente: <http://misactividadesdeprimaria.blogspot.com/2011/11/relacion-entre-las-propiedades-de-los.html>

Fuente: <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/01/10/ciencia/1294654709.html>

### 3.1.13 ADHERENCIA

En un elemento de concreto reforzado es necesario que exista adherencia entre el concreto y las varillas de refuerzos, de manera que ambos materiales estén íntimamente ligados entre si. Si no existe esta adherencia, el comportamiento del elemento difiere. Por ejemplo, si la diferencia en comportamiento entre viga con refuerzo adherido y otra en la que el refuerzo se encuentra libre dentro de la masa de concreto. En el primer caso, los esfuerzos en refuerzo varían a lo largo del elemento, ya que son prácticamente proporcionales a la magnitud del momento flexionante. En cambio, en el segundo caso, los esfuerzos en el refuerzo son constantes a lo largo del claro, ya que, como las varillas están libres, el elemento se comporta como un arco atirantado y no como una viga; en este caso es necesario anclar mecánicamente las varillas en los extremos del elementos por medio de placas u otro dispositivos adecuados.

La adherencia depende más exactamente, del tamaño, forma, rigidez y textura de las partículas de los agregados.



**Figura 8: Adherencia del concreto en el acero**  
Fuente: <http://red.fau.ucv.ve:8080/dti/stories/3258/>

### **3.1.14 DUREZA**

La dureza se relaciona con la capacidad que tiene un material de soportar esfuerzos sin deformarse permanentemente. Hay diversas formas de medir la dureza, si bien la mayoría consiste en utilizar un indentador; esto es, un dispositivo que trata de penetrar el material, que podría ser un pequeño balón o una aguja. Por ejemplo, si pretendemos comparar la dureza de un trozo de plastilina con la de un vaso de vidrio, podríamos utilizar un lápiz como indentador. El lápiz penetra sin dificultad la plastilina, demostrando que el lápiz es más duro que la plastilina. Por otra parte, el lápiz no puede atravesar el vaso de vidrio, así que el vidrio es más duro que el lápiz. Del resultado de ambos experimentos también podemos concluir que el vidrio es más duro que la plastilina.

La forma más usual de medir la dureza y determinar si es lo suficientemente dura como para garantizar un lejano desgaste, es mediante el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles, ensayo que está descrito bajo la Norma Técnica Colombiana, NTC-90 y 98, para agregados gruesos.

### **3.1.15 SUSTANCIAS Y FACTORES PERJUDICIALES**

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto. Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcilla), la materia orgánica, el carbón y el lignito, las partículas ligeras y los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables.



Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales, en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual se hace necesario tolerarlas en proporciones suficientemente reducidas para que sus efectos nocivos resulten poco significativos.

**a) Limo y arcilla**

El limo es el material granular fino, sin propiedades plásticas, cuyas partículas tienen tamaños normalmente comprendidos entre 2 y 60 micras aproximadamente, en tanto que la arcilla corresponde al material más fino, integrado por partículas que son menores de 2 micras y que sí posee propiedades plásticas.

**b) Materia orgánica**

La materia orgánica que contamina los agregados suele hallarse principalmente en forma de humus, fragmentos de raíces y plantas, y trozos de madera. La contaminación excesiva con estos materiales, básicamente en la arena, ocasiona interferencia en el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y durabilidad del concreto.

**c) Partículas inconvenientes**

Además de los contaminantes ya mencionados, hay fragmentos de materiales de calidad inadecuada que con cierta frecuencia se encuentran en los agregados, principalmente en los de origen natural. Entre dichos materiales inconvenientes cabe mencionar las partículas suaves y desmenuzables, como los terrones de arcilla y los fragmentos de rocas

alteradas, las partículas ligeras como las de carbón y lignito y las de rocas muy porosas y débiles.

#### ***d) Sales inorgánicas***

Las sales inorgánicas que ocasionalmente pueden hallarse como contaminación en los agregados de origen natural son los sulfatos y los cloruros, principalmente estos últimos, como ocurre en los agregados de procedencia marina. La presencia excesiva de estas sales en el seno del concreto es indeseable por los daños que pueden ocasionar, si bien difieren en su forma de actuar y en la manifestación e intensidad de sus efectos. Debido a lo mencionado anteriormente es necesario el control del contenido de material orgánico u otro tipo de material que no coincida con las características de los agregados a utilizar al momento de la realización de la mezcla, para lo cual debe tenerse en cuenta la Norma Técnica Colombiana, NTC-78, para determinar el porcentaje de material que pasa el tamiz de 74 micras.

### **3.1.16 SANIDAD DE LOS AGREGADOS**

Es la capacidad que tienen éstos para resistir el deterioro y la desintegración por intemperismo. Los efectos del intemperismo se traducen en cambios volumétricos como la expansión y la contracción que poco a poco van minando la resistencia de los agregados hasta que los desintegran. El intemperismo está asociado a los efectos del frío y el calor, el humedecimiento y el secado y las heladas o el congelamiento-deshielo. La norma ASTM C-88 establece un procedimiento para detectar las cantidades de los agregados, la prueba consiste en someter a un determinado peso de agregados a ciclos sucesivos de inmersión en una solución de sulfato de sodio o de magnesio por aproximadamente 18 horas combinadas con

aproximadamente 6 horas de secado en horno. En cada uno de los ciclos la muestra se enfría, se criba y se calcula el porcentaje de pérdida de peso. La prueba se considera como una prueba acelerada de intemperismo, en la que artificialmente se provoca que las soluciones salinas generen cristales en las porosidades de los agregados, causando el efecto expansor que termina por desintegrar rápidamente a los agregados que no son resistentes.

## 3.2 CONCRETO

### 3.2.1 GENERALIDADES

El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su estado fresco, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la cual es muy utilizado en la construcción. El concreto proporciona solidez y permanencia para cualquier estructura con la cual uno quiera trabajar o construir debido a que posee ciertas características que lo hacen muy resistente a muchos factores ambientales

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos

como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

### **3.2.2 EVOLUCION HISTORICA Y ESTADO DEL ARTE DEL CONCRETO**

La historia de los cementantes es tan antigua como la misma humanidad ya que la necesidad que ha tenido el hombre de construir su propia habitación así como las estructuras necesarias para su progreso ha constituido el factor principal en la búsqueda de materiales apropiados para esta finalidad.

Los griegos y los romanos usaron tanto la cal común como la cal hidráulica. La primera se obtiene al calcinar piedra caliza y la segunda cuando esta piedra caliza calcinada contiene impurezas de tipo arcilloso.

La diferencia entre las dos radica en que la cal común endurece en presencia del CO<sub>2</sub> contenido en el aire y por lo tanto esto no puede ocurrir bajo el agua.

La cal hidráulica por proceder de caliza impura endurece, principalmente, por la reacción que se produce entre sus elementos constitutivos lo cual permite que su fraguado pueda tener lugar bajo agua; de ahí procede el nombre de cal hidráulica.

Los egipcios usaron el yeso, además de la cal. Posteriormente tanto los romanos como los griegos emplearon cenizas volcánicas, las cuales mezclaron con la cal, obteniendo un material de condiciones muy superiores a las de la cal común. Estos materiales que mezclados con la cal dan lugar a un producto que puede fraguarse en presencia del agua se llaman puzolanas. Este nombre se deriva de Pozzuoli en Italia sitio de donde extraían el material volcánico que los romanos mezclaban con la cal. Los griegos

obtenían materiales de la isla de Santorin.

En 1756 John Smeaton, un ingeniero inglés al hacer investigaciones sobre materiales cementantes encontró que se obtenía un buen producto al calcinar mezclas de caliza y arcilla. Sin embargo a estos estudios no se les prestó atención y el descubrimiento no tuvo ningún uso de importancia.

Posteriormente en el año 1824 Joseph Aspdin desenterró los estudios de Smeaton y continuó las investigaciones obteniendo un material que al mezclarlo con agua reaccionaba dando lugar al endurecimiento de la pasta producida. Ese material endurecido presentaba un aspecto similar al de unas piedras de construcción extraídas en Portland Inglaterra; esto dio lugar a que este tipo de cemento tomara el nombre de cemento Portland.

Solamente a partir de los últimos años del siglo pasado y con motivo de los avances industriales se inicia el estudio científico de los cementos con la intervención de Michaelis Le Chatelier y Vicat quienes sentaron las bases de la tecnología del cemento Portland.

Hoy día diferentes universidades en el mundo se encuentran relacionadas con la reutilización de los desechos plásticos en el concreto, adelantando serios estudios con el objeto de encontrar un aditivo útil y de bajo costo para la construcción.

La facultad de ingeniería de la Universidad de Sripatumha trabajó con la reutilización de los desechos de plásticos termoestables para el concreto ligero y la universidad de Bagdad realizó una investigación basada en el uso de desechos plásticos como remplazo de agregados en mezclas de concreto en el cual se dio como resultado que la reutilización de este material puede reducir los costos de materias y solucionar problemas planteados por los

residuos sólidos plásticos. En universidades como la de Wisconsin-Milwaukee se han realizado investigaciones donde se han utilizado desechos plásticos post-consumo como componente base en cementos realizándole un tratamiento químico a los plásticos y por otro lado en la universidad Jamia MillialIslamia también se realizó una investigación en la cual se evalúa el desempeño de las propiedades de la mezcla de concreto que contiene plástico.

Todas ellas se han percatado que no solo el desecho plástico puede ser reutilizado creando plástico nuevo, si no que puede ser utilizado como aditivo o parte de los agregados de una mezcla de concreto mediante el cual existe la posibilidad de aumentar su resistencia mecánica y otras propiedades.

De esta misma manera hemos querido seguir investigando de qué manera el plástico puede afectar la composición en la mezcla de concreto.

### **3.2.3 COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO**

Por ser uno de los cementos más ampliamente usado y fabricado en todo el mundo, el cemento Portland representa un ejemplo adecuado en el análisis de composición y propiedades de los cementos.

Las materias primas para la fabricación de cemento portland son los minerales ricos en CaO, Sílice, Alúmina y Oxido de Hierro. Estos minerales al ser horneados reaccionan unos con otros y forman una serie de óxidos complejos (Clinker) que, junto con el CaO que no reaccionó, alcanzan un equilibrio. La tabla 4 muestra los principales componentes del cemento Portland con sus respectivas abreviaciones. En este caso C=CaO, S=SiO<sub>2</sub>, A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y F= Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y agua es denotada con H. la variación porcentual de estos componentes en el cemento da como resultado diferentes tipos de cemento. La tabla 5 muestra la composición límite de los componentes para

diferentes tipos de cemento.

Aparte de los componentes listados en la tabla 4 existen otros que se encuentran en menor proporción como MgO, TiO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O y Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, los cuales ocupan solo un porcentaje mínimo del cemento, sin embargo, el MgO y K<sub>2</sub>O conocidos como álcalis, son de gran importancia ya que estos reaccionan con algunos agregados y causan la desintegración y la pérdida de fortaleza del concreto.

Las propiedades de cada elemento pueden variar considerablemente de cemento a cemento y de esa manera se pueden obtener diferentes tipos de cementos con solo modificar las cantidades de sus componentes. Existen una serie de ecuaciones y métodos para calcular la composición en relación al peso total del cemento.<sup>3</sup>

Nombre del componente	Composición del óxido	Abreviación
Silicato tricálcico	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato bicálcico	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Aluminoferrico tetracálcico	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Tabla 4. Principales componentes del cemento portland

Fuente: <http://www.notasconstructorcivil.com/2011/05/composicion-quimica-del-cementos.html>

<sup>3</sup><http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3235/Capitulo2.pdf>



Componente	Tipo de cemento				
	I	II	III	IV	V
C <sub>3</sub> S máximo				35	
C <sub>2</sub> S máximo				40	
C <sub>3</sub> A máximo		8	15	7	5

Tabla 5. Límites de componentes para diferentes tipos de cemento portland  
Fuente: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/tipos-de-cemento-portland.html>

### 3.2.4 CLASIFICACION DEL CEMENTO

#### Portland I

- Básico.
- Sin propiedades esenciales.
- Uso: Para todo tipo de obras
- Adición de aditivos.

#### Portland IP

- Mayor porcentaje de puzolana.
- Propiedades hidráulicas.
- Usado en climas con temperaturas elevadas.
- Utilizado en climas muy lluviosos.

#### Portland II

- Menor calor de hidratación (1)
- Óptimo para climas con temperaturas elevadas.
- Determina resistencia a los sulfatos.(2)
- Óptimo en las circunstancias (1) y (2)
- Orillas del mar.
- Selva donde hay presencia de aguas servidas.

#### Portland IIA

- Elevada resistencia a las heladas.

- Moderada resistencia a los sulfatos.

#### Portland III

- Resistencia inicial elevada.
- Estribos de puentes, presas, etc.
- Presencia del silicato cálcico.
- La pulverización es mas fina.

#### Portland IIIA

- Endurecimiento rápido.
- Mayor costo de adquirían.
- Resistencia al efecto de las heladas.

#### Portland IV

- Mínimo calor de hidratación.
- Menor porcentaje de silicatos y aluminatos.
- Puede controlar la temperatura del cemento con respecto al clima.
- Logra controlar el equilibrio térmico del concreto y componentes.

#### Portland V

- Cemento marítimo.
- Alta resistencia a sulfatos y álcalis.
- Mayor porcentaje de silicatos y aluminatos.

### **3.2.5 PROPIEDADES DEL CEMENTO**

La mayor parte de especificaciones para el cemento limitan su composición química y sus propiedades físicas. La comprensión del significado de algunas de estas propiedades físicas es útil para interpretar los resultados de las pruebas que se efectúan al cemento. En general, las pruebas de las propiedades físicas del cemento deben ser utilizadas exclusivamente para evaluar las propiedades del cemento más que para el concreto

### **3.2.6 FINURA**

La finura del cemento depende del tiempo de molido del Clinker, la finura del cemento se mide en metros cuadrados por Kg, como se ha mencionado en un cemento normal la superficie específica puede estar alrededor de 200 m<sup>2</sup>/kg. Una finura alta favorece la hidratación rápida del cemento y al mismo tiempo favorece también una generación rápida de calor. Para la industria cementera una finura alta representa invariablemente un mayor costo de molienda, por lo que el tratamiento sólo se justifica en el caso de que se pretenda producir un cemento especial de resistencia rápida, por ejemplo, la finura en cementos de ultrarrápida resistencia se deben alcanzar finuras del orden de 700-900 m<sup>2</sup>/kg. En un cemento tipo III la finura se encuentra alrededor de los 300 m<sup>2</sup>/kg. Las cifras anteriores corresponden a resultados obtenidos con el método Blaine, ya que las cifras varían dependiendo del método empleado en su determinación. La finura del cemento también puede ser estimada por cribado, detectando el porcentaje de material que pasa la malla No 200, esto sin embargo, no es suficiente para tener una idea de la superficie específica que tiene dicho cemento.

### **3.2.7 SANIDAD**

La sanidad del cemento consiste en verificar que no se producirán expansión eso contracciones dañinas en el cemento endurecido, ya que éstas provocarían la destrucción del concreto. La no-sanidad del cemento se atribuye a la presencia de magnesio de calibre en cantidades excesivas.

La cal o la magnesia hidratadas desarrollan con el tiempo fuerzas expansivas que afectan la pasta endurecida. Como el fenómeno toma tiempo en caso de que las sustancias mencionadas se encuentren en cantidades excesivas, se realiza normalmente una prueba acelerada, que consiste en someter barras de pasta de cemento a un curado en autoclave, en este aparato se mantiene vapor

de agua a presión, con lo que se acelera la hidratación y la generación de productos sólidos, si las barras muestran expansiones mayores al 0.8% se dice que el cemento no pasa la prueba de sanidad.<sup>4</sup>

### **3.2.8 PESO ESPECÍFICO**

La densidad o peso específico se define como la relación de peso a volumen; su valor varía entre 3.08 a 3.20 gr/cm<sup>3</sup> para el cemento portland tipo 1, pero el cemento que tiene adiciones tiene un peso específico menor porque el contenido de Clinker es menor. El peso específico del cemento no indica la calidad del cemento, pero se emplea en el diseño y control de mezclas de concreto; sin embargo un peso específico bajo y una finura alta indican que el cemento tiene adiciones. La norma ICONTEC 221 Indica el procedimiento para determinar el peso específico del cemento.

### **3.2.9 PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRATADO**

#### ***3.2.9.1 Cohesión y manejabilidad***

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Consecuentemente, son aspectos del comportamiento del concreto fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad.

Prácticamente, la finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto, por tanto, los cementos de mayor finura como el portland tipo III o los portland-puzolana serían recomendables en este aspecto. Sin embargo,

---

<sup>4</sup><http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/sanidad-del-cemento.html>

existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto segreguen durante su manejo y colocación. Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cementante, los aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

### **3.2.9.2 Pérdida de revenimiento**

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

Para unas condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de revenimiento también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de ésta, la humedad de los agregados, el uso de ciertos aditivos y las características y contenido unitario del cemento. La eventual contribución de estos factores intrínsecos, en el sentido de incrementar la pérdida normal de revenimiento del concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado

### **3.2.9.3 Asentamiento y sangrado**

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante. Consecuentemente, las medidas aplicables para moderar el asentamiento y el sangrado consisten en inhibir la presencia de dichos factores

## **3.2.10 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRAGUADO**

### **3.2.10.1 Adquisición de resistencia mecánica**

Conforme se expuso previamente, la velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento portland depende básicamente de la composición química del Clinker y de la

finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento portland.

En cuanto a los cementos portland-puzolana, su adquisición inicial de resistencia suele ser un tanto lenta debido a que las puzolanas no aportan prácticamente resistencia a edad temprana. Por otra parte, resulta difícil predecir la evolución de resistencia de estos cementos porque hay varios factores que influyen y no siempre se conocen, como son el tipo de Clinker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico.

De acuerdo con las tendencias mostradas puede considerarse que, para obtener el beneficio adecuado de resistencia de cada tipo y clase de cemento en función de sus características, lo conveniente es especificar la resistencia de proyecto del concreto a edades que sean congruentes con dichas características. Consecuentemente, estas edades pueden ser como sigue:

Tipo de cemento que se emplea en el concreto la resistencia de proyecto

Tipo de cemento que se emplea en el concreto	Edad recomendable para especificar la resistencia de proyecto
Portland III	14 ó 28 días

Portland I, II y V 28 ó 90 días

Portland-puzolana 90 días, o más

En ausencia de cemento tipo III, cuya disponibilidad en el mercado local es limitada, puede emplearse cemento tipo I junto con un aditivo acelerante, previa verificación de su compatibilidad y efectos en el concreto, tanto en lo que se refiere a su adquisición de resistencia como a la durabilidad potencial de la estructura. También es posible adelantar la obtención de la resistencia deseada en el concreto, proporcionando la mezcla para una resistencia potencial más alta, ya sea aumentando el consumo unitario de cemento, o empleando un aditivo reductor de agua para disminuir la relación agua/cemento.

### **3.2.10.2 Generación de calor**

En el curso de la reacción del cemento con el agua, o hidratación del cemento, se produce desprendimiento de calor porque se trata de una reacción de carácter exotérmico. Si el calor que se genera en el seno de la masa de concreto no se disipa con la misma rapidez con que se produce, queda un remanente que al acumularse incrementa la temperatura de la masa.

El calentamiento del concreto lo expande, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación. Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor. Obviamente, la simultaneidad de ambos factores representa las condiciones pésimas en este aspecto.



### **3.2.10.3 Estabilidad volumétrica**

Una característica indeseable del concreto hidráulico es su predisposición a manifestar cambios volumétricos, particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras.

### **3.2.10.4 Estabilidad química**

De tiempo atrás se reconoce que ningún arqueado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos. Algunas de estas reacciones son benéficas porque, contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, mejorando las propiedades mecánicas del concreto, pero otras son perjudiciales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto.

Las principales reacciones químicas que ocurren en el concreto tienen un participante común representado por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento pero eventualmente pueden provenir también de algunos agregados (24). Por tal motivo, estas reacciones se designan genéricamente como álcali-agregado, y a la fecha se le conocen tres modalidades que se distinguen por la naturaleza de las rocas y minerales que comparten el fenómeno.

### 3.2.11 ENSAYOS PARA EL CONCRETO

#### 3.2.11.1 ASENTAMIENTO

El ensayo de consistencia del concreto, o “slump test”, sirve para evaluar su capacidad para adaptarse con facilidad al encofrado que lo va a contener. El procedimiento se explica ampliamente en la norma ASTM C143-78 “Slump of Portland Cement Concrete”<sup>5</sup>



**Figura 9. Asentamiento**  
**Fuente: Tomado Laboratorio C.H. Pereira**

---

<sup>5</sup>Extraído de <http://ingesite.com/2009/06/slump-test/>

### **3.2.11.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requisitos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida mas común mediante la cual se evalúa el desempeño del concreto en edificios y otras estructuras. Esta se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una maquina de ensayos de compresión.



**Figura 10. Maquina de compresión**  
**Fuente: Tomado Laboratorio C.H. Pereira**

Estos resultados se emplearan para determinar que la mezcla de concreto que ha sido suministrada cumpla con los requerimientos establecidos de resistencia.

### **3.2.12 METODO DE FULLER**

#### **3.2.12.1 GENERALIDADES**

Este método es bastante general y es aplicado cuando los agregados no cumplen con la Norma ASTM C33 (Especificaciones de los agregados para el concreto). De esa misma forma también se debe utilizar para dosificaciones de más de  $300\text{kg/m}^3$  de concreto y para tamaños máximos de agregado grueso comprendido entre (3/4") y (2"). Como es en nuestro caso.

El método es simple y sencillo las muestras se van creando dependiendo de las características que uno quiera darle al concreto que uno desea generar. Pero antes de explicar hay que exponer que se debe tener en cuenta en un diseño de mezcla de concreto:

- Granulometría de los agregados, favorece la gradación o acomodamiento de los agregados particulados en la masa de concreto, y se relaciona con la cantidad de superficie en la interfase con la pasta de cemento en la mezcla en estado fresco.
- Modulo de finura de los agregados, es la proporción de los valores de retenidos acumulados en el tamizaje hasta e incluido el tamiz 100, dividido por 100, condiciona el tipo de concreto como concreto de agregados gruesos (ciclópeo), agregados medios (normal), agregados finos (liviano), además de las condiciones superficiales y efecto terminal como concreto arquitectónico.
- Densidades aparentes de los agregados, las densidades aparentes incluyen la humedad normal de los agregados con porcentajes de humedades en los poros de las partículas de los agregados sobre el

volumen total del agregado. Es la característica principal para optimizar tiempos de mezcla, tiempos de fraguado y curado de las mezclas, como también en el proceso constructivo los empujes a tener sobre las superficies de contacto en la obra falsa de los encofrados de los elementos de concreto.

- Absorciones de los agregados, determinante de la capacidad de adhesión mecánica entre la superficie de los agregados y la pasta de cemento, y como consecuencia propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, a la tensión y dureza del concreto terminado.
  
- Masas unitarias de los agregados, las masas de los agregados por unidad de volumen , relaciona la capacidad de acomodamiento de los agregados, en el caso de las densidades compactadas, y las densidades en estado aparentemente seco las condiciones de manejabilidad y consistencia de la mezcla de concreto en estado fresco.
  
- Humedades de los agregados, las humedades se convierten en el factor modificador de la relación agua cemento de las mezclas para evitar excesos de fluidez y consistencias inmanejables en las mezclas frescas.
  
- Tipo de cemento y Densidad del cemento, el tipo de cemento según las condiciones especiales de uso al elemento constructivo que se ejecuta., y su densidad para corroborar con exactitud su consumo por metro cúbico a construir o por kilogramo a vaciar.

- Luego de revisar todos los valores en el método de Fuller se toma la curva de referencia como tipo para componer el agregado fino y esta definida por:

$$y = 100 \times \sqrt{\frac{d}{D}}$$

En la que:

y = % en volumen elemental que pasa por el tamiz de abertura d.

d = Abertura de cada uno de los tamices de la serie utilizada en m.m.

D = Tamaño máximo del árido en m.m.

A continuación se ve la grafica trabajada para el método de Fuller con respecto a los materiales que se estuvieron trabajando en este diseño de mezclas.

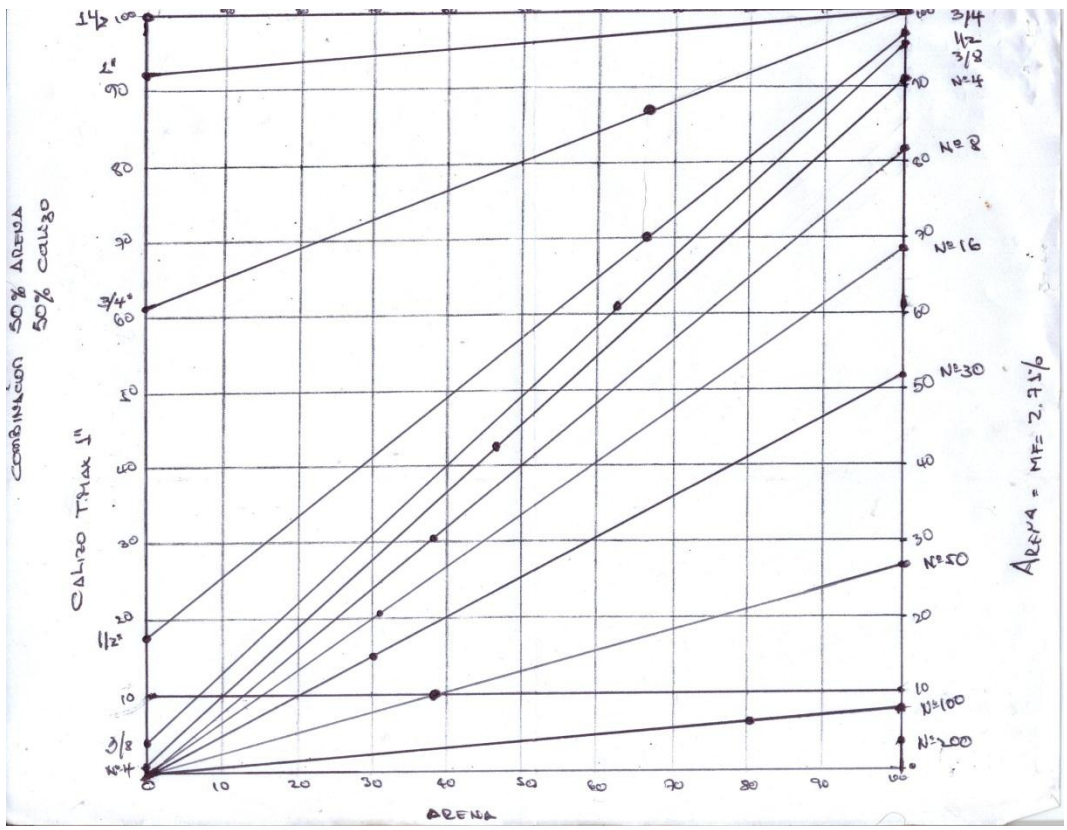


Figura 11. Tabla de método de Fuller  
 Fuente: Tomado de análisis realizado para diseño de mezcla

## 4 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

### 4.1 AGREGADOS

Los materiales a utilizar en la investigación son básicamente los siguientes.

1. Gravilla Caliza. 1”
2. Arena de finura media
3. Cemento Argos
4. Plástico de chatarra electrónica (RCE)



**Figura 12. Gravilla y arena**  
Fuente: <http://alonsoehijos.es/productos.htm>

Antes de poder trabajar con los materiales debemos identificar si todos cumplen con las normas técnicas colombiana para la utilización de agregados en el concreto para columnas, zapatas y otro tipo de estructuras.

Analizando con detalle podemos decir que los materiales si cumplen con las especificaciones exigidas por la NTC.



## 4.2 CEMENTO

En Cartagena podemos encontrar varios tipos de cementos fabricados por la empresa Argos o por la empresa Cemex, el cemento que se uso fue el cemento DIAMANTE fabricado por la empresa Cemex y fue adquirido en cualquier sitio de venta de materiales para la construcción. Las características de este cemento cumplen con las especificaciones de acuerdo a la NTC-121 y NTC-321.

## 4.3 RESIDUOS DE CHATARRA ELECTRONICA

Este es un material inerte el cual es producido de la molienda o trituración de el plástico de chatarra electrónica por la empresa Recycables S.A. es un material que por ser para computador posee características poco comunes debido a que están expuestos a altas temperaturas y son bastante resistentes, debido a esto, se quiere determinar si es posible que le brinden mayor resistencia al concreto.

El Análisis fisicoquímicos practicados a Una muestra de Polímero Plástico proveniente de chatarra electrónica nos brinda los siguientes resultados:

PARAMETROS	RESULTADO	METODO	Limite de Detecc
CADMIO, ppm	N.D.	A.A.	0,032
PLOMO, ppm	160,70	A.A.	
MERCURIO, ppm	0,18	A.A. Vapor Frio	
COBRE, ppm	5,40	A.A.	
CROMO HEXAVALENTE, ppm	N.D.	A.A.	0,05
BIFENILOS POLICLORADOS, ppm (PCBs)	N.D.	C.G. - ECD	0,005

**Tabla 6. Análisis toxicológico de muestra de chatarra electrónica**  
Fuente: Tomado de resultados de laboratorio Universidad de Cartagena.

Los PARAMETROS son los metales analizados en la muestra, Los RESULTADOS son la cantidad de cada metal encontrados en la muestra, el METODO representa que método fue utilizado (A.A, Acido Ascorbico, Vapor frio, C.G.) para cada análisis, el LIMITE DE DETECCION es la cantidad minima que puede ser detectada por cada método.

De acuerdo a lo anterior podemos dar a conocer que los residuos de la chatarra electrónica no son tóxicos debido a que los niveles son menores a los establecidos:

## 5 METODOLOGIA Y CALCULOS

### 5.1 METODO DE FULLER PARA DOSIFICACION DE MEZCLAS.

Los procesos a seguir para el diseño de la mezcla son realizados con respecto a información recolectada sobre el proceso de cálculo mediante la curva de Füller y teniendo en cuenta la NTC (Norma Técnico Colombiana).

En este capítulo se presentaran todo el proceso para el cálculo de la dosificación de la mezcla y los ensayos realizados a los moldes finalizado su periodo de fraguado. Cabe resaltar que todo este proceso se hace sin la adición o la contemplación del aditivo que son los residuos de chatarra electrónica.

### 5.2 METODO DE ELABORACION DE LAS MUESTRAS

#### 5.2.1 Numero de muestras

Las muestras de concreto serán preparadas de acuerdo a la dosificación encontrada. Se realizaran tres muestras para cada porcentaje de adición de el RCE para 7, 14 y 28 días, en total se realizaran 36 muestras las que se estudiaran y tendrán que cumplir las especificaciones respecto a lo establecido.



**Figura 13. Cilindros de concreto**  
Fuente: Tomado en Laboratorio de C.H. Pereira

### 5.2.2 Preparación de los agregados

En esta etapa simplemente se realizaran las cuantías de los agregados para los cilindros sacando la proporción adecuada y luego pesándolos para empezar a realizar la mezcla.



**Figura 14. Determinación de las cantidades necesarias para muestras de cilindro**  
Fuente: Tomado Laboratorio de C.H. Pereira

## 6 TABULACION DE LOS RESULTADOS

### Peso Unitario

#### Agregado Fino [SUELTO]

Peso Molde	5006.5	[gr]
Volumen molde	3036.4	[cm3]
Peso Molde + Material	8895.5	[gr]
Peso Molde + Material	8919.3	[gr]
Peso Molde + Material	9082.6	[gr]
Peso promedio	8965.80	[gr]
Peso material	3959.30	[gr]

Peso Unitario Suelto	1.3039
----------------------	--------

#### Agregado grueso [SUELTO]

Peso Molde	5006.5	[gr]
Volumen molde	3036.4	[cm3]
Peso Molde + Material	8837.7	[gr]
Peso Molde + Material	8791.5	[gr]
Peso Molde + Material	8962	[gr]
Peso promedio	8863.73	[gr]
Peso material	3857.23	[gr]

Peso Unitario Suelto	1.2703
----------------------	--------

#### Agregado Fino [APISONADO]

Peso Molde	5006.5	[gr]
Volumen molde	3036.4	[cm3]
Peso Molde + Material	9736.5	[gr]
Peso Molde + Material	9755.8	[gr]
Peso Molde + Material	9717.6	[gr]
Peso promedio	9736.63	[gr]
Peso material	4730.13	[gr]

Peso Unitario Apisonado	1.5578
-------------------------	--------

#### Agregado grueso [APISONADO]

Peso Molde	5006.5	[gr]
Volumen molde	3036.4	[cm3]
Peso Molde + Material	9488	[gr]
Peso Molde + Material	9486.5	[gr]
Peso Molde + Material	9488.8	[gr]
Peso promedio	9487.77	[gr]
Peso material	4481.27	[gr]

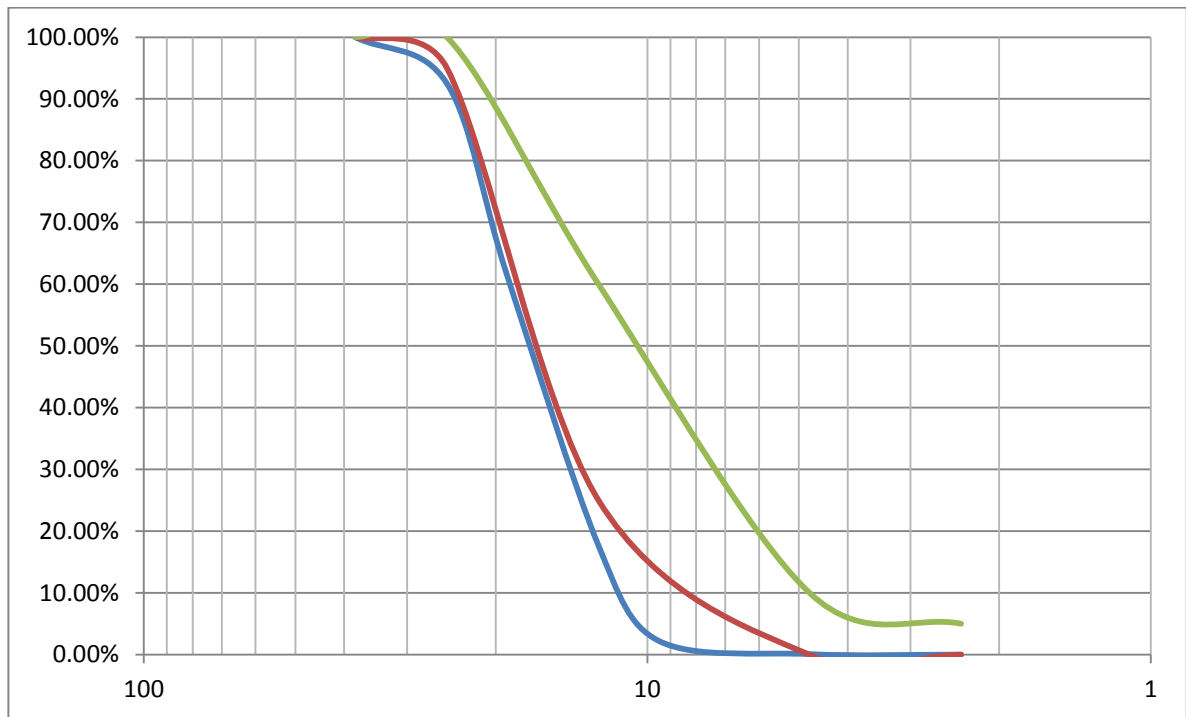
Peso Unitario Apisonado	1.4758
-------------------------	--------

**Tabla 7. Peso unitario de los materiales**  
Fuente: Datos tomados en Laboratorios de C.H. Pereira

## GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO

P1	4480	P2	4425.9	
TAMIZ	Diametro	W. Ret	% Ret.	% Pasa
1 1/2	38	0	0.000%	100.00%
1	25	332.4	7.510%	92.49%
3/4	19	1371.6	30.990%	61.50%
1/2	12.5	1940.1	43.835%	17.66%
3/8	9.5	682.1	15.412%	2.25%
N°4	4.76	95.9	2.167%	0.09%
N°8	2.38	3.8	0.086%	0.00%

**Tabla 8. Granulometria Agregado grueso**  
**Fuente: Tomado de laboratorios de C.H.Pereira**



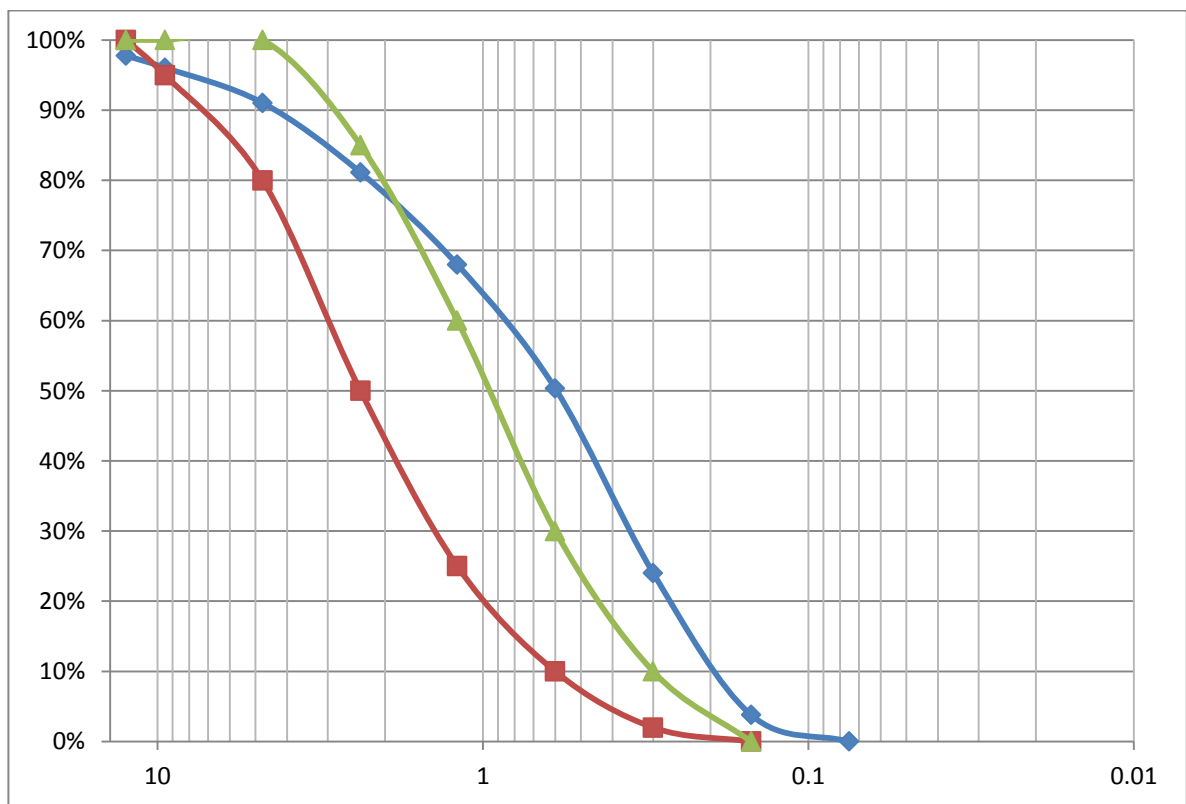
La granulometría del agregado grueso sigue la misma línea de tendencia de las graficas de guía por lo que posee una buena gradación aunque este no se encuentra ajustado entre el rango

## GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

P1	2505	P2	2375.9
----	------	----	--------

TAMIZ	Diametro	W. Ret	% Ret.	% Ret. AC	% Pasa
3/4		0	0.00%	0.00%	100%
1/2	12.5	53.5	2.25%	2.25%	97.75%
3/8	9.5	40.3	1.70%	3.95%	96.05%
N°4	4.76	119.2	5.02%	8.97%	91.03%
N°8	2.38	236	9.93%	18.90%	81.10%
N°16	1.2	311.6	13.12%	32.01%	67.99%
N°30	0.6	419.5	17.66%	49.67%	50.33%
N°50	0.3	625	26.31%	75.98%	24.02%
N°100	0.15	480.6	20.23%	96.20%	3.80%
N°200	0.075	90.2	3.80%	100.00%	0.000%

**Tabla 9. Granulometria agregado fino**  
Fuente: Tomado en laboratorio C.H. Pereira



Aunque la granulometría realizada al material (línea azul) no se ajuste dentro de los márgenes permitidos, el material tiene la misma de tendencia de las

graficas que se toman de base por lo que es un material apto para utilizarlo en diseño de mezcla.

Peso Especifico y Porcentaje de Absorción en Agregado Fino

Pmsss	Pmseca	Ppino+Agua	Psopie+Agua+Muestra
500	482.7	655.5	958.9

% Abs	3.58%
Pespecifico	2692.1

Peso Especifico y Porcentaje de Absorción en Agregado Grueso

Pmsss	Pmseca	Pmss
5513	5363.6	3264.7

% Abs	2.79%
Pespecifico	2385.6

**Tabla 10. Peso Especifico y % de Absorción**  
**Fuente: Datos obtenidos en laboratorios de C.H. Pereira**



## 6.1 ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos de los materiales podemos concluir que estos materiales poseen buenas propiedades para poder ser usados en un diseño de mezcla.

La granulometría de los materiales aunque no se ajustan dentro de las graficas permitidas se encuentran bien gradados (poseen partículas de todos los tamaños).

Con estos datos se inicia el diseño de la mezcla de concreto hidráulico convencional y un diseño de mezcla de concreto utilizando aditivo. Con lo cual obtenemos la siguiente tabla.

## 6.2 DISEÑO DE MEZCLA

Peso especifico aparente		
<b>Arena:</b>	<b>2.69</b>	<b>[gr/cm3]</b>
<b>Grava:</b>	<b>2.39</b>	<b>[gr/cm3]</b>
Cemento	3.14	[gr/cm3]
Metodo de Füller		
<b>Arena</b>	<b>50%</b>	
<b>Grava</b>	<b>50%</b>	

Peso Unitario (suelto)		
<b>Arena</b>	<b>1.30</b>	<b>[gr/cm3]</b>
<b>Grava</b>	<b>1.27</b>	<b>[gr/cm3]</b>
Cemento	1.14	[gr/cm3]

Asentamiento		
<b>TMAX</b>	<b>1"</b>	<b>[pulg]</b>
<b>Asentamiento</b>	<b>10</b>	<b>[cm]</b>
<b>Resistencia</b>	<b>3000</b>	<b>[PSI]</b>

<b>Cemento Para 1"</b>	<b>350</b>	<b>[kg]</b>
<b>Agua de mezcla</b>	<b>180</b>	<b>Lts/m3</b>

<b>Volumen de cemento</b>	<b>0.111</b>	<b>M3</b>
<b>Volumen de agua</b>	<b>0.18</b>	<b>M3</b>
<b>volumen de la Pasta</b>	<b>0.291</b>	<b>M3</b>

<b>Vol (Arena + Grava)</b>	<b>0.709</b>	
----------------------------	--------------	--

CANTIDADES EN PESO		
<b>CEMENTO</b>	<b>350</b>	<b>[kg/m3]</b>
<b>ARENA</b>	<b>953.7</b>	<b>[kg/m3]</b>
<b>GRAVA</b>	<b>844.9</b>	<b>[kg/m3]</b>
<b>Agua de mezcla</b>	<b>180</b>	<b>Lts/m3</b>
<b>A/C</b>	<b>0.51</b>	<b>N.C</b>

CANTIDADES EN VOLUMEN		
<b>CEMENTO</b>	<b>0.31</b>	<b>M3</b>
<b>ARENA</b>	<b>0.73</b>	<b>M3</b>
<b>GRAVA</b>	<b>0.67</b>	<b>M3</b>
<b>AGUA</b>	<b>180.00</b>	<b>Lts/m3</b>

	DOSIFICACION				
	Cemento	Arena	Caliza	RCE	Agua
<b>CALCULADA</b>	1	2.38	2.17	0	180.00
<b>RECOMENDADA</b>	1	<b>2.25</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>180.00</b>
<b>[15%]</b>	1	<b>2.25</b>	<b>1.81</b>	<b>0.36</b>	<b>180.00</b>
<b>[100%]</b>	1	<b>2.25</b>	<b>0</b>	<b>2.17</b>	<b>180.00</b>

Tabla 11. Tablas de Diseño de mezcla  
Fuente: Diseño realizado por Jorge Agresott

### 6.3 PREPARACION DE LA MEZCLA

La mezcla será preparada de acuerdo con los datos obtenidos y luego de haber conseguido la dosificación apropiada proporcional al volumen de los cilindros a ensayar.



**Figura 15. Preparación de la mezcla**  
Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira

## 6.4 OBTENCION DE PROBETAS DE CONCRETO

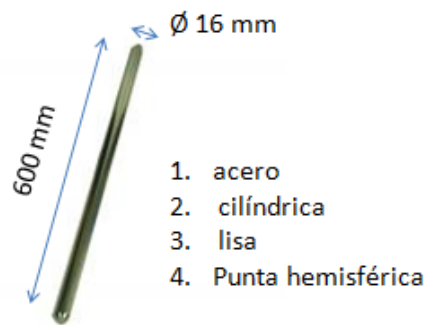
### 6.4.1 EQUIPO NECESARIO

**Moldes:** deben ser de acero, hierro forjado, PVC ú otro material no absorbente y que no reaccione con el cemento. Antes de usarse los moldes deben ser cubiertos ligeramente con aceite mineral o un agente separador de encofrado no reactivo.



Figura 16. Moldes de cilindro  
Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira

**Varilla:** debe ser de hierro liso diámetro 5/8", de 60 cm de largo y con sus extremos redondeados.



**Figura 17. Varilla**

Fuente: <http://construaprendiendo.blogspot.com/2012/02/ensayo-para-determinar-el-asentamiento.html>

**Mazo:** debe usarse un mazo de goma que pese entre 0.60 y 0.80 Kg.



**Figura 18. Mazo**

Fuente: [http://www.joyerios.cl/index.php?cPath=87\\_38](http://www.joyerios.cl/index.php?cPath=87_38)

#### **6.4.2 Procedimiento y Muestreo:**

1. Los especímenes deben ser cilindros de concreto vaciado y fraguado en posición vertical, de altura igual a dos veces el diámetro, siendo el espécimen estándar.
2. Colocar el molde sobre una superficie rígida, horizontal, nivelada y libre de vibración.
3. Colocar el concreto en el interior del molde, depositándolo con cuidado alrededor del borde para asegurar la correcta distribución del concreto y una segregación mínima.
4. Llenar el molde en tres capas de igual volumen. En la última capa agregar la cantidad de concreto suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. Ajustar el sobrante ó faltante de concreto con una porción de mezcla y completar el número de golpes faltantes. Cada capa se debe compactar con 25 penetraciones de la varilla, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro. La capa inferior se compacta en todo su espesor; la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1” en la capa anterior. Después de compactar cada capa golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas. Enrasar el exceso de concreto con la varilla de compactación y completar con una llana metálica para mejorar el acabado superior. Debe darse el menor número de pasadas para obtener una superficie lisa y acabada.
5. Identificar los especímenes con la información correcta respecto a la fecha, tipo de mezcla y lugar de colocación. Hay que proteger adecuadamente la cara descubierta de los moldes con telas humedecidas ó películas plásticas para evitar la pérdida de agua por evaporación.
6. Después de elaboradas las probetas se transportarán al lugar de almacenamiento donde deberán permanecer sin ser perturbados durante

el periodo de curado inicial. Si la parte superior de la probeta se daña durante el traslado se debe dar nuevamente el acabado.

### **6.4.3 Desmoldado:**

Las probetas se retirarán de los moldes entre las 18 y 24 horas después de moldeadas. Hecho esto se marcará en la cara circular de la probeta las anotaciones de la tarjeta de identificación del molde. Luego de esto deben pasar a curado.

- **Curado:**

Después de desmoldar las probetas y antes de que transcurran 30 minutos después de haber removido los moldes, almacene las probetas en condiciones adecuadas de humedad, siempre cubiertas por agua a una temperatura de entre 23 y 25°C. Deben mantenerse las probetas en las mismas condiciones de la estructura origen (protección, humedad, temperatura, etc.).



**Figura 19. Mezcla de pasta**  
Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira



**Figura 20. Limpieza y vaciado en cilindros**  
Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira





**Figura 21. Vaciado en cilindros de mezcla**  
**Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira**



**Figura 22. Compresión de la mezcla en moldes**  
**Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira**



**Figura 23. Enrazado**  
Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira



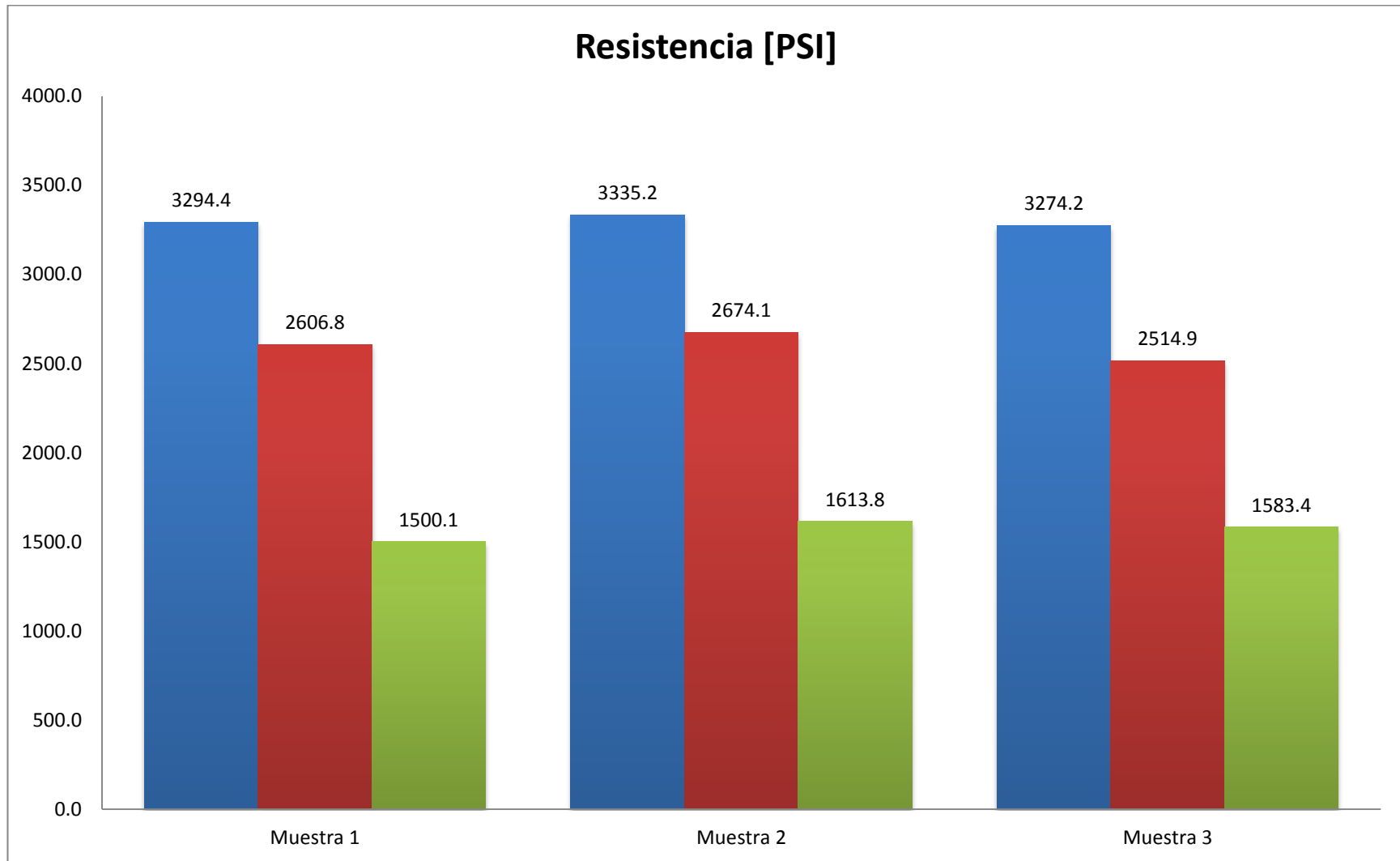
**Figura 24 Enrazado de cilindros**  
Fuente: Tomado en Laboratorios de C.H. Pereira

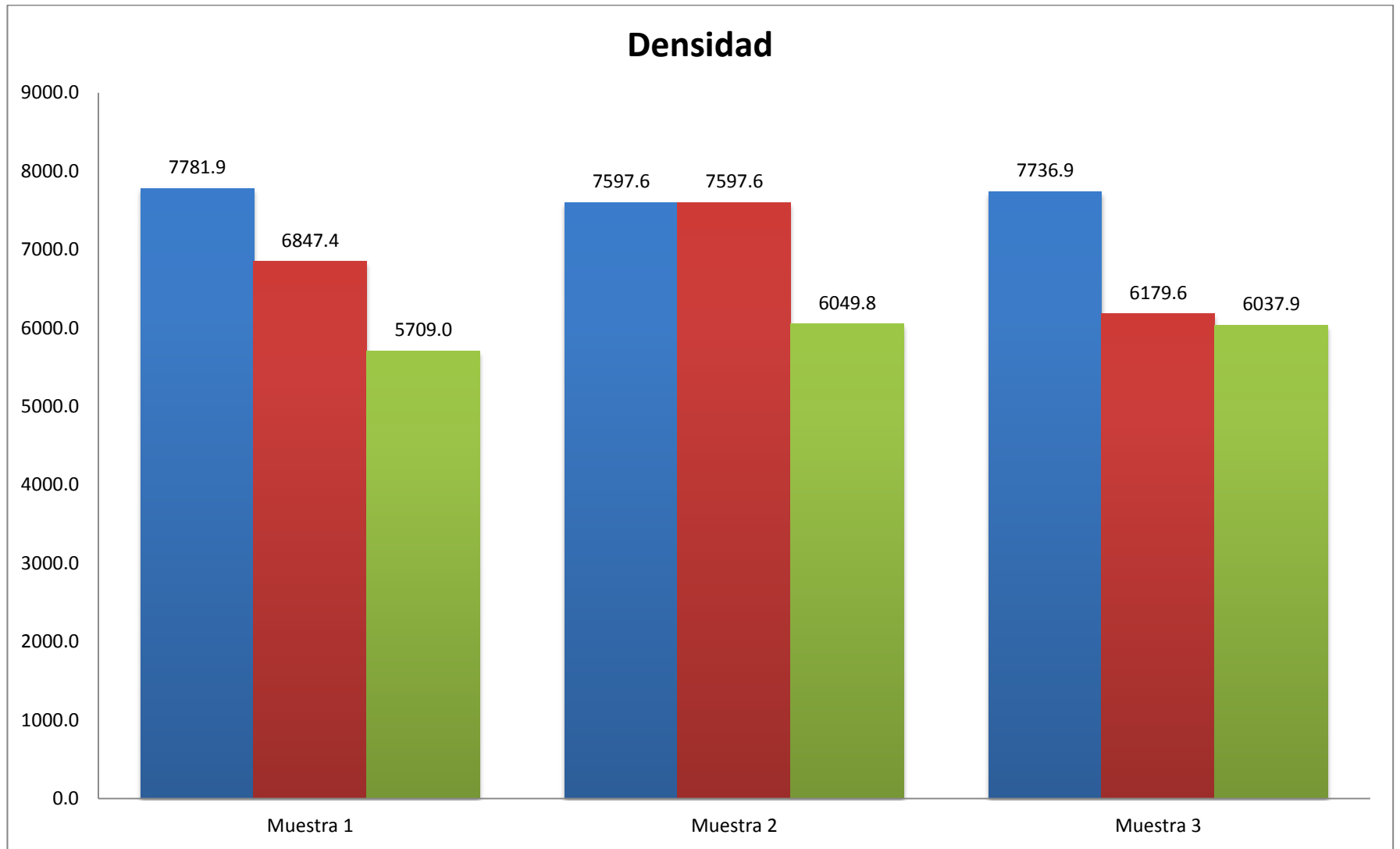
Al momento de obtener las muestras y ser ensayadas los resultados obtenidos fueron.

## RESULTADO DE LOS ENAYOS

ENSAYOS DEL CONCRETO TESIS DE GRADO												
Cilindros [% RCE]	Ensayo	Edad	Carga [Ton]	Resistencia [psi]	Pesos [g]	Densidad	Dimensiones Molde					
1 [0%]	15-jun-12	7	40.753	3294.4	13132	7781.9	1687.5					
			41.258	3335.2	12821	7597.6						
			40.503	3274.2	13056	7736.9						
2 [15%]	15-jun-12	7	32.248	2606.8	11555	6847.4			1687.5			
			33.08	2674.1	12821	7597.6						
			31.11	2514.9	10428	6179.6						
3 [100%]	15-jun-12	7	18.557	1500.1	9634	5709.0					1687.5	
			19.964	1613.8	10209	6049.8						
			19.587	1583.4	10189	6037.9						

Tabla 12. Resultados de ensayo de cilindros  
Fuente: Datos obtenidos en Laboratorios C.H. Pereira





## ANALISIS DE RESULTADO # 1

De acuerdo al análisis de los gráficos presentados en la sección de anexos pudimos obtener los siguientes resultados

1. A medida que se le adiciona cierta cantidad del RCE, el peso unitario del concreto empieza a mostrar una disminución debido a que, como sabemos, el plástico posee un menor peso específico con respecto a los materiales utilizados normalmente para una mezcla de concreto. Por esta razón al ir adicionándole mas y mas RCE la mezcla se vuelve mucho menos densa que una mezcla a la cual no se le haya adicionado.
2. Debido a que el plástico es un material impermeable, existe la posibilidad de que la adhesión de la pasta con este material no se haga de manera correcta y puede generar la creación de muchos vacíos en la pasta endurecida, que afectará gravemente su resistencia. Hay que dejar en claro que esto sucede al adicionarle grandes cantidades de RCE.
3. De las graficas podemos observar cómo influye la adición del RCE con respecto a la resistencia del concreto a una baja adición entre 15% ~ 45% puede llegar a obtener una buena resistencia pero entre 45% en adelante las resistencias van disminuyendo eso se debe a la generación de vacíos ya que el RCE puede que evite que la pasta tenga una buena cohesión entre todos sus componentes.
4. De acuerdo a las graficas y a lo anterior podemos establecer que el RCE puede llegar a brindar un cierto aumento a la resistencia si se adiciona entre un 15% y 45% con respecto

a la cantidad de cemento en la pasta.

5. Al adicionarle más del 45% de RCE la mezcla la cantidad de agua queda reducida en un 17%, por lo que la mezcla se hace un poco plástica y es difícil su maniobrabilidad.

## **ANALISIS DE RESULTADO # 2**

Al realizar nuevamente los ensayos para un porcentaje de (RCE) del 15 % podemos obtener ciertos resultados que aclaran mas el análisis.

- Aunque la resistencia del concreto convencional supera las expectativas, entre los 3200 a los 7 días, el concreto con una adición del 15% muestra un nivel de resistencia bastante considerable el cual puede ser tenido en cuenta para este ser usado como un llenante.
- Vemos que la densidad disminuye lo cual puede considerarse positivo debido a que las estructuras pueden realizarse con mucho menos peso.
- Para los cilindros con un 100% de RCE podemos ver que la resistencia que alcanza es demasiado baja aunque la densidad haya sido baja.
- Podemos observar que el RCE no cumple con las expectativas de mejorar la resistencia del concreto al momento de sustituir el agregado fino por un material sintético.

## CONCLUSIONES

Después de realizadas las pruebas, y obtenidos los resultados técnicos, se puede concluir que la adición de material reciclable, obtenidas de desechos electrónicos, no dan mayor resistencia al concreto.

Esto se pudo establecer, debido a que los respectivos muestreos, arrojaron valores de resistencia y consistencia muy similares a los presentados por los materiales tradicionales y además un aumento en la densidad del concreto fraguado.

Por lo anterior se recomienda, seguir haciendo estudios y análisis para verificar, si la adición de algún otro componente o material además de los desechos electrónicos, puedan proporcionar una mayor resistencia y una mayor consistencia al concreto, y al mismo tiempo una significativa reducción de los costos para de esa manera, poder obtener el logro de los objetivo general, propuesto en este trabajo.

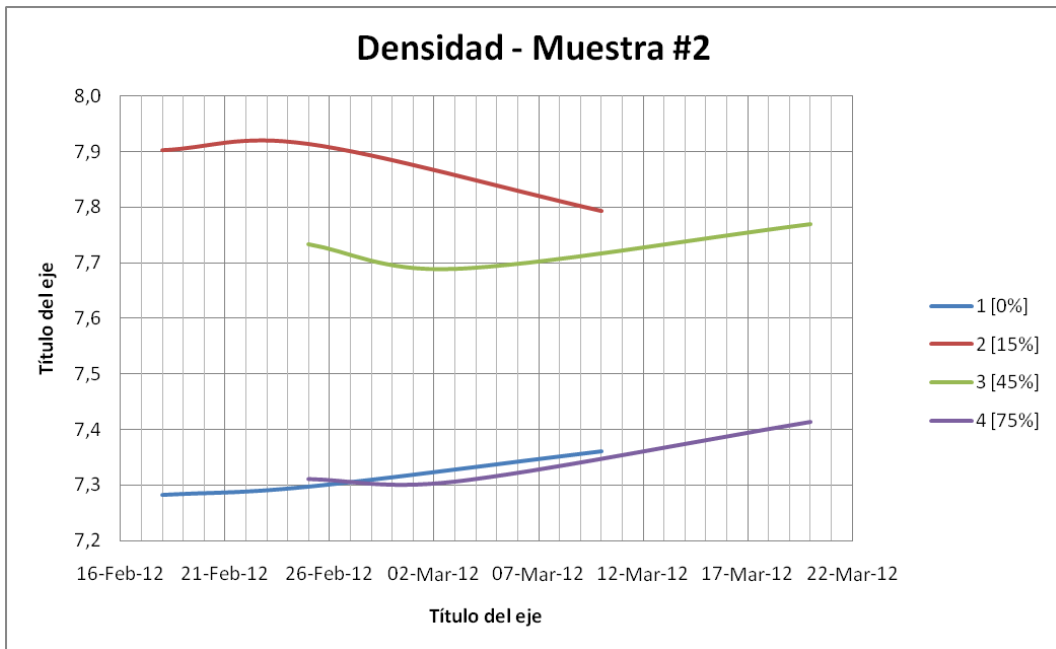
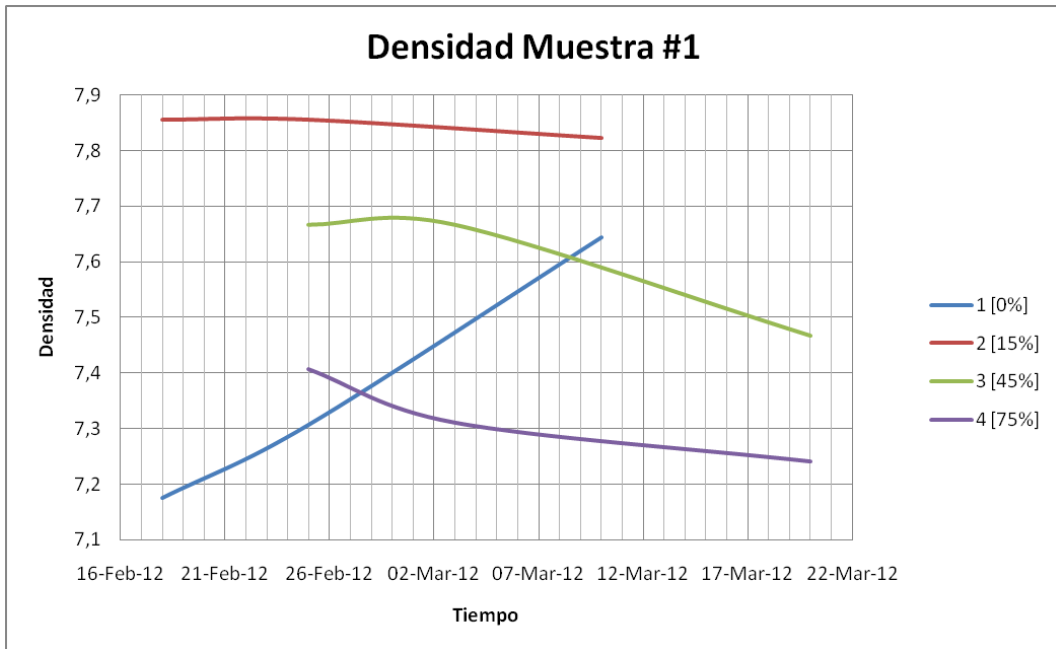
Por otro lado, Aunque con este material no se haya llegado a los resultados deseados, es necesario decir que puede llegar a ser utilizado como un llenante en una cierta proporción y al utilizar este residuo de chatarra electrónica estamos dando un impacto ambiental debido a que estamos encontrándoles un sitio de disposición a ciertos materiales que si no son bien tratados o bien dispuestos repercutirían negativamente en el medio ambiente.



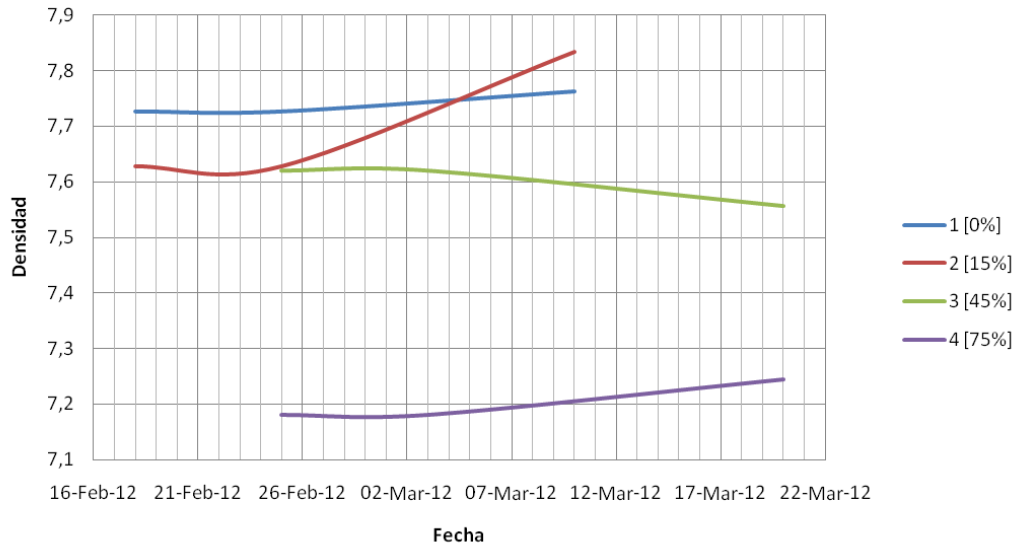
## BIBLIOGRAFIA

1. **ACOSTA MEZA, RAUL. OJEDA CAICEDO, VILMA VIVIANA. ARELLANO CARTAGENA, WILLIAM.** Guía metodológica para el diseño y desarrollo del trabajo de grado. 1ed. Cartagena; 2001. 55p.
2. **HEINECK SALVAGNI, K. RICHARDCOOP, MATTHEW. CESAR CONSOLI, NILO.** Effect of Microreinforcement of Soils From Very Small to Large Shear Strains. ASCE: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering\* 2005; Vol.131, Issue8, p.1024-1033.
3. **BLANCO A., F.** Tecnología de cementos. Universidad de Oviedo. España, 1995.
4. **Norma Técnica Colombiana, NTC - Icontec, 2003**
5. **KIRAN KUMAR B.V., PRAKASHP.** Use of waste plastics in cement concrete pavement. p 1-13
6. **ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MEZCLADOS CON FIBRAS DE POLIPROPILENO/ POLIETILENO, Jhojan Serrano, 109 pag.**

## **ANEXOS RESULTADOS # 1**



### Densidad Muestra #3



### Resistencia [PSI] - Muestra #1

