

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LADRILLOS  
ESTRUCTURALES UTILIZANDO EL POLIPROPILENO DE MATERIALES  
PLÁSTICOS RECICLABLES**

**EMERSON DAVID ROJAS VELANDIA  
RICARDO RUEDA MARTÍNEZ**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2014**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LADRILLOS  
ESTRUCTURALES UTILIZANDO EL POLIPROPILENO DE MATERIALES  
PLÁSTICOS RECICLABLES**

**EMERSON DAVID ROJAS VELANDIA  
RICARDO RUEDA MARTÍNEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil**

**Director  
LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser mi principal guía durante toda mi vida y en especial durante este proceso, que ha tenido momentos muy agradables, como también ciertas dificultades que siempre sirvieron para mejorar.

A mis padres Ricardo y Edelia, porque gracias a su entrega y dedicación, pudieron formarme con valores que han sido de gran ayuda a lo largo de mi vida y mi carrera, y siempre me han apoyado en todas mis etapas.

A mis hermanas y demás familiares, porque siempre estuvieron apoyándome y aconsejándome.

A mi esposa Sandra Juliana y mis hijos Camilo y Tomás, quienes han sido mi gran motivación para alcanzar esta meta.

A mis suegros Jorge y Janeth, por apoyarme como si fuera uno de sus hijos y brindarme su experiencia y ayuda.

***RICARDO RUEDA MARTINEZ***

*Dedico este trabajo a mi madre Mariela Velandia la que como madre soltera y gracias a su esfuerzo y sacrificio logro darme estudio hasta nivel profesional, que pese a todas las dificultades es un triunfo también de ella*

**EMERSON DAVID ROJAS VELANDIA**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por darme la oportunidad de realizar este trabajo de grado que es el fruto de años de dedicación, ya que ha sido un proceso con algunas dificultades, pero ante todo le agradezco por darme la fortaleza para seguir y en este momento alcanzar uno de mis mas grandes metas.*

*A mis padres por ser mi apoyo a lo largo de este proceso de manera incondicional, por ser ejemplo de honestidad y trabajo y por enseñarme que las cosas se consiguen con esfuerzo y dedicación.*

*A mi esposa e hijos que han sido motivación para día a día continuar trabajando para alcanzar mis objetivos y poder ser ejemplo para ellos.*

*A mis hermanas por haberme aconsejado y acompañado en este tiempo.*

*En general a toda mi familia porque cada uno de ellos han aportado de diferentes maneras a mi vida personal y a la realización de este proyecto.*

*A mis compañeros de estudio y docentes que en algún momento formaron parte de este proceso y me brindaron su ayuda y enriquecieron mi formación académica y personal.*

*A la ingeniera Luz Marina Torrado por comprometerse con este proyecto y aportarme de su conocimiento y tiempo.*

**RICARDO RUEDA MARTINEZ**

*Agradezco a Dios por brindarme la salud para sacar esta meta adelante.*

*Agradezco a mi mamá y mi hermana que como mi hogar me brindó siempre su apoyo e insistieron que como hijo mayor lograra este título para ser un ejemplo.*

*Agradezco a mis familiares que estuvieron en cada alegría y tristeza que en este camino se presentaron, nunca dejaron que abandonara esta idea de ser profesional gracias a sus consejos.*

*Agradezco a mi directora Luz Marina Torrado y a mi compañero de tesis Ricardo Rueda por conformar este grupo de trabajo donde aplicamos lo aprendido en el proceso de la carrera.*

*Agradezco a la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme haber hecho parte de esta gran familia de Bolivarianos y crear un buen grupo de amigos.*

**EMERSON DAVID ROJAS VELANDIA**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. ALCANCE	18
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1 CONCRETO	19
4.2 TIPOS DE CONCRETO	21
4.2.1 Concreto Convencional	21
4.2.2 Concreto autocompactante	22
4.2.3 Concreto bombeable con inductor de aire.	23
4.2.4 Concreto de alta resistencia.	24
4.2.5 Concreto de fraguado acelerado.	25
4.2.6 Concreto de fraguado retardado.	26
4.2.7 Concreto lanzado vía húmeda	27
4.2.8. Mortero convencional.	28
4.2.9 Mortero lanzado.	29
4.3 POLIPROPILENO	30
4.3.1 Como se obtiene el polipropileno.	32
4.3.2 Reciclaje del polipropileno	33
4.3.3 Tipos de reciclado	35
4.3.3.1 Reciclado mecánico.	35

4.3.2.2 Reciclado químico	38
4.4 CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO	38
5. METODOLOGÍA	45
5.1 ENSAYOS REALIZADOS	48
5.1.1 Caracterización de los materiales	48
5.1.1.1 Peso específico y absorción de agregados finos	48
5.1.1.2 Peso específico y absorción de agregados gruesos	52
5.1.1.3 Masas unitarias suelta y compacta para agregado grueso	54
5.1.1.4 Masas unitarias suelta y compacta para agregado plástico	55
5.1.1.5 Granulometría	56
5.1.1.6 Peso específico del cemento	60
5.1.1.7 Consistencia normal del cemento	61
5.1.1.8 Tiempo de fraguado del cemento hidráulico	62
5.1.1.9 Finura del cemento portland método del aparato Blaine	64
5.1.1.10 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes de concreto	66
5.1.1.11 Ensayo de unidades de mampostería (ladrillos en concreto reciclado)	
NTC 4017	70
6. DISEÑO DE MEZCLA	74
7. RESULTADOS OBTENIDOS	85
7.1 MASAS UNITARIAS INV – 405	85
7.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS	
INV E – 222	86
7.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INV E -	
223	87
7.4 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS	87
7.5 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS	88
7.6 GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PLÁSTICO	89

7.7 CONSISTENCIA NORMAL CEMENTO PORTLAND	89
7.8 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO	90
7.9 TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO	90
7.10 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LADRILLOS CON MATERIAL RECICLADO	91
7.11 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO	92
7.11.1 Cilindros en concreto normal	92
7.11.2 Cilindros con 10% de agregado plástico	93
7.11.3 Cilindros con 20% de agregado plástico	94
7.11.4 Cilindros con 30% de agregado plástico	96
7.12 ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA	98
8. ANALISIS DE RESULTADOS	100
9. CONCLUSIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	103

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Concreto convencional	22
Figura 2. Estructura realizada con concreto autocompactante	23
Figura 3. Concreto bombeable con incluso de aire	24
Figura 4. Concreto de alta resistencia	25
Figura 5. Concreto de fraguado acelerado	26
Figura 6. Concreto de fraguado acelerado	27
Figura 7. Concreto lanzado vía húmeda	28
Figura 8. Mortero convencional	29
Figura 9. Mortero lanzado	30
Figura 10. Polipropileno reciclado	31
Figura 11. Procesó de obtención del polipropileno	32
Figura 12. Materia prima reciclable	33
Figura 13. Símbolo del reciclaje	34
Figura 14. Proceso reciclaje	36
Figura 15. Reciclado Mecánico	37
Figura 16. Ladrillos con material reciclado	39
Figura 17. Material reciclado	40
Figura 18. Muros con material reciclado	42
Figura 19. Concreto con material reciclado	43
Figura 20. Bloques con material reciclado	44
Figura 21. Material reciclado	46
Figura 22. Secado al aire de arena y agregado grueso	49
Figura 23. Proceso de cuarteo	49
Figura 24. Ensayo de cono	50
Figura 25. Picnómetro	51
Figura 26. Peso específico y absorción de finos	51

Figura 27. Horno de secado	53
Figura 28. Balanza usada para ensayo peso específico y absorción de gruesos	53
Figura 29. Masas unitarias suelta y compacta	55
Figura 30. Agregado plástico y cuarteo	55
Figura 31. Ensayo masas unitarias sueltas y compactas	56
Figura 32. Equipo usado Granulometría	57
Figura 33. Equipo Granulometría triturado	58
Figura 34. Granulometría agregado grueso	59
Figura 35. Granulometría agregado plástico	59
Figura 36. Peso específico del cemento	61
Figura 37. Consistencia normal del cemento. (Aparato de Vicat)	62
Figura 38. Tiempos de fraguado	63
Figura 39. Aparato Blaine	64
Figura 40. Equipo usado ensayo Finura Blaine	66
Figura 41. Tipos de fallas	67
Figura 42. Prensa Hidráulica para ensayos de concreto	68
Figura 43. Cilindros de concreto normal	68
Figura 44. Medición de especímenes es concreto	69
Figura 45. Ensayo Resistencia a la compresión	69
Figura 46. Falla fisura diagonal	70
Figura 47. Formaleta para fundir ladrillos	71
Figura 48. Llenado de formaletas	72
Figura 49. Compactación ladrillos	72
Figura 50. Determinación de la resistencia a la compresión de ladrillos	73
Figura 51. Montaje Resistencia a la compresión de ladrillos	73
Figura 52. Pesar material necesario para llenar los moldes	81
Figura 53. Llenado y compactación	82
Figura 54. Vibrado para eliminar burbujas de aire	82
Figura 55. Cilindros terminados	83
Figura 56. Desencofrado	83

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.	74
Tabla 2. Tamaño máximo nominal	75
Tabla 3. Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición	75
Tabla 4. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN del agregado	76
Tabla 5. Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c	77
Tabla 6. Volumen de gravilla por unidad de volumen de concreto (b/bo)	78
Tabla 7. Diseño de mezcla	79
Tabla 8. Cantidades para cada porcentaje de plástico	80
Tabla 9. 1.1. Masas Unitarias INV – 405	85
Tabla 10. Peso específico y absorción de agregados finos INV E – 222	86
Tabla 11. Peso específico y absorción de agregados gruesos INV E -223	87
Tabla 12. Granulometría de agregados gruesos	87
Tabla 13. Granulometría de agregados finos	88
Tabla 14. Granulometría de agregado plástico	89
Tabla 15. Consistencia normal cemento Portland	89
Tabla 16. Tiempos de fraguado del cemento hidráulico	90
Tabla 17. Propiedades físicas de los ladrillos con material reciclado	91
Tabla 18. Cilindros en concreto normal	92
Tabla 19. Cilindros con 10% de agregado plástico	93
Tabla 20. Cilindros con 20% de agregado plástico	94
Tabla 21. Cilindros con 30% de agregado plástico	96

Tabla 22. Ensayo resistencia a la compresión de unidades de mampostería	98
Tabla 23. Resistencia a la compresión de ladrillos en concreto normal NTC 402699	
Tabla 24. Materiales para preparar 1 m <sup>3</sup> de concreto	101

## **RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO**

**TÍTULO:** ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LADRILLOS ESTRUCTURALES UTILIZANDO EL POLIPROPILENO DE MATERIALES PLASTICOS RECICLABLE.

**AUTOR(ES):** Emerson David Rojas Velandia.  
Ricardo Rueda Martínez.

**FACULTAD:** Ingeniería Civil.

**DIRECTOR:** Luz Marina Torrado Gómez.

### **RESUMEN**

Con este trabajo se logró analizar el comportamiento de ladrillos estructurales adicionando un nuevo material (polipropileno reciclado) para su fabricación, tratando de obtener una resistencia a la compresión de 3000 psi. Con la caracterización de los materiales tradicionales (Agua, cemento, agregado fino y agregado grueso) además con el nuevo material introducido en la mezcla para reemplazar un porcentaje del agregado (polipropileno reciclado) se procedió a fabricar cilindros (altura 20 cm x diámetro 10 cm) con la mezcla alternativa, la cual variaba sus cantidades del nuevo material 10%, 20% y 30% realizando los respectivos ensayos a la compresión de 7 y 28 días. Los resultados arrojaron que la mezcla con 10% alcanzo la resistencia propuesta, con estos valores se elaboran los ladrillos (24.5 cm x 14.5 cm x 7 cm) teniendo en cuenta los límites que presenta la Norma Técnica Colombiana NTC 4026 y comparando los resultados con ladrillos convencionales se concluye que los ladrillos con el nuevo material son óptimos para la construcción y adicional a esto se observa la disminución de peso en cada espécimen ocasionando un beneficio en las estructuras ya que podrán ser ligeras y la cantidad de refuerzo disminuye, otro beneficio de mayor importancia es la reutilización de estos desechos reciclables que día a día contaminan el planeta.

**PALABRAS CLAVES:** Polipropileno, ladrillos, cilindros, reciclado, construcción, contaminan, compresión.

## GENERAL ANALYSIS OF THE WORK OF DEGREE

**TITLE:** ANALYSIS OF STRUCTURAL MECHANICAL BEHAVIOR OF BRICKS USING RECYCLED PLASTIC POLYPROPYLENE MATERIAL.

**AUTHORE(S):** Emerson David Rojas Velandia.  
Ricardo Rueda Martínez.

**FACULTY:** Civil Engineering.

**DIRECTOR:** Luz Marina Torrado Gómez.

### ABSTRACT

This work was possible to analyze the behavior of structural bricks adding a new material (recycled polypropylene) for manufacturing, trying to obtain a compressive strength of 3000 psi. The characterization of traditional materials (water, cement, fine aggregate and coarse aggregate) in addition to the new material introduced into the mix to replace a proportion of the aggregate (recycled polypropylene) proceeded to manufacture cylinders (height 20 cm x diameter 10 cm ) with the alternative blend, which varied the amount of new material 10%, 20% and 30% respective performing compression tests 7 and 28 days. The results showed that the mixture reached 10% resistance proposed, these values bricks (24.5 cm x 14.5 cm x 7 cm) are made taking into account the limitations presented by the Colombian Technical Standard NTC 4026 and comparing the results with bricks conventional bricks is concluded that the new material is optimal for the construction and in addition to this the reduction of weight in each specimen was observed causing a benefit because the structures can be light and the amount of reinforcement decreases, another benefit of greater importance is the reuse of these recyclable wastes daily pollute the planet.

**KEYWORDS:** Polypropylene, bricks, cylinders, recycling, construction, pollute, compression

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar el comportamiento mecánico de los ladrillos usando material reciclado para su fabricación.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a utilizar.
- Encontrar las proporciones de los materiales que componen un ladrillo reciclado.
- Realizar los ensayos correspondientes a los ladrillos con material reciclado.
- Analizar y Comparar los resultados de los ladrillos tradicionales con los implementados en este proyecto de grado.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realiza teniendo en cuenta principalmente la problemática que se presenta desde hace tiempo a nivel mundial con los desechos de material plástico, puesto que diariamente se desechan grandes cantidades de material plástico sin tener un uso alternativo, para evitar la acumulación de estos materiales y por consiguiente la contaminación, que es un problema que no sólo se presenta a nivel local sino a nivel mundial.

Estos materiales que son desechados en la mayoría de los casos, sin elaboración de material de construcción.

La reutilización de los materiales plásticos, no sólo proporciona un nuevo material, brinda la posibilidad de reducir los costos en la construcción, ya que como principal componente se propone el material de plástico reciclado.

Por medio de ensayos de laboratorio se pretende demostrar si los ladrillos elaborados con el material reciclado, además de proponer una alternativa de menor costo, presentan óptimas condiciones de resistencia y estabilidad.

Al obtener resultados positivos, podría tenerse en cuenta que la mezcla con polímeros puede ser más liviana, permitiendo realizar placas aligeradas, o disminuir el peso que la mampostería ejerce en las vigas, columnas, placas y demás elementos utilizados.

### **3. ALCANCE**

- Realizar pruebas de resistencia para comparar el concreto normal con el concreto con material reciclado de plástico por medio de ensayos de laboratorio.
- Analizar si el nuevo material implementado es de bajo costo y más liviano realizando pesajes a las diferentes muestras.
- Comparar las muestras y registrar los resultados utilizando tablas con los datos obtenidos a través de los diferentes ensayos o pruebas realizadas a los diferentes materiales utilizados.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 CONCRETO**

#### **DEFINICION**

Es también denominado Hormigón, es el material resultante de una mezcla, compuesta por cemento, arena, grava, agua y aire en poca cantidad; que posee propiedades como trabajabilidad, durabilidad, impermeabilidad y resistencia, que agregándole aditivos proporcionan diferentes características generando así diferentes tipos de concreto<sup>1</sup>

#### **RESEÑA HISTORICA**

El uso de los cementantes se ha dado probablemente desde que existe la humanidad, ya sea para la construcción de vivienda, sin tenerse exactamente conocimiento de cuando se descubrieron<sup>2</sup>.

Los primeros inicios de uso de material cementante se remontan al 2690 A.C., cuando los egipcios construyeron las pirámides, más adelante se produjeron morteros a base de cal viva, agua y arena en Grecia y Roma.

La poca resistencia al agua de los morteros de cal viva, probablemente se fueron incorporando toda clase de agregados en diferentes épocas.

---

<sup>1</sup> HORMIGÓN COLOMBIA S.A Y IMCYC. Conceptos básicos del concreto. Diciembre 2004.

<sup>2</sup> SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del cemento y del mortero. Quinta edición. Bhandar Editores Ltda. 2001.

Cada civilización fue descubriendo diferentes materiales cementantes y esto llevó a la evolución del mortero y al uso de diferentes mezclas en las que se incluía arcilla y arena de diferentes lugares.

La mala calidad de los morteros usados en la edad media, al parecer, fue debido a una mala cocción de la cal, y a la carencia de tobas volcánicas; después del siglo XII se mejoró la calidad y se notó que esto iba acompañado de una perfecta calcinación de la cal y del uso de algún material similar a las tobas.

Con el paso del tiempo, los avances obtenidos fueron mínimos, y fue sólo hasta el siglo XVIII que el ingeniero inglés John Smeaton realizó estudios deduciendo que la cal hidráulica (resistente al agua) podía obtenerse únicamente de una caliza que tuviera impurezas de tipo arcilloso en gran cantidad.

A partir del mejoramiento de diversos tipos de morteros se dio inicio al desarrollo del concreto. Y gracias a estos avances, en 1824 el inglés Joseph Aspdin, utilizó tres partes de piedra caliza por una de arcilla molida y pulverizada y las calcinó en un horno, y obtuvo la patente del cemento Portland.

Luego vino Isaac Johnson y elevó la temperatura de la calcinación de los componentes y describió sus experimentos, de manera que fueron tomados como base para dar inicio a la fabricación de cemento Portland en Europa.

Pero el crecimiento empezó a ser notable después del año 1900, debido a más estudios realizados por los químicos franceses Vicat y Le Chatelier, y el alemán Michaélis; logrando producir cemento de calidad uniforme; también influyó en este avance la invención de los hornos rotatorios para la calcinación y el molino tubular para la molienda, quienes permitieron una producción de mayor cantidad y contribuyó al desarrollo de la industria.

En el año 1861, fue fabricado un jarrón de mortero de cemento, reforzado con un enrejado de alambre por el parisiense Jack Monier, este material fue conocido un siglo después como ferrocemento. Este trabajo llevó a reforzar el uso del concreto como material de construcción y con ello vinieron las normas para fabricar bóvedas, tubos, etc. las cuales fueron establecidas por el ingeniero francés Coignet.

## 4.2 TIPOS DE CONCRETO

**4.2.1 Concreto Convencional.** Es un concreto de uso general para todo tipo de construcciones recomendado para elementos que en su colocación no requieren de equipo de bombeo.

**Beneficios:** las dosificaciones se realizan por peso, controlando los cambios en agregados por humedad y absorción en plantas totalmente sistematizadas. El concreto es mezclado en planta y llega a la obra listo para usar.

**Usos y aplicaciones:** se emplea en placas macizas y aligeradas, muros de contención y en toda estructura donde no se requiera de equipo de bombeo<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> CEMEX COLOMBIA. Concretos especiales, 2014, [en línea] disponible en: <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/ConcretosEspeciales.aspx>, [Citado el 12 junio de 2014]

**Figura 1. Concreto convencional**



Fuente: GEOTESC Archivos de tags: concreto sustentável [en línea] disponible en: <http://www.geotesc.com.br/site/tag/concreto-sustentavel/> [Citado el 12 junio de 2014]

**4.2.2 Concreto autocompactante.** Es un concreto altamente fluido, sin segregación que llena la formaleta y encapsula el refuerzo sin ningún tipo de consolidación mecánica. La viscosidad es una de sus características más importantes en estado plástico. ACI 237

**Beneficios:** Puede colocarse rápidamente sin vibración interna y por su alta calidad de acabado genera ahorros en tiempos de obra y disminución de costos de construcción. Mejora la consolidación alrededor del refuerzo y adherencia del mismo. Permite la producción de elementos arquitectónicos de formas complejas. Por la ausencia de segregación y alta cohesión genera concretos de baja permeabilidad y gran durabilidad. Es amigable con el medio ambiente y disminuye el ruido durante la colocación.

**Usos y aplicaciones:** adecuado para estructuras con complejas y esbeltas. Ideal para tanques de agua potable o residual, teniendo en cuenta las condiciones de durabilidad. Uso en reparaciones y elementos prefabricados.

**Figura 2. Estructura realizada con concreto autocompactante**



Fuente: NOTICONCRETO VIRTUAL. Concretos claros y la seguridad vial en túneles [en línea] disponible en: [http://www.asocreto.org.co/noticreto/noticreto\\_98.html](http://www.asocreto.org.co/noticreto/noticreto_98.html) [Citado el 12 junio de 2014]

**4.2.3 Concreto bombeable con inclusor de aire.** Concreto diseñado para estructuras expuestas permanentemente al agua como tanques, muros y vigas. Cuenta con unas características especiales de permeabilidad que permiten a la estructura reducir la penetración de agua. Debe incluirse la opción de concretos no bombeados con aire incluido.

**Beneficios:** dado a que es un concreto bombeable, presenta mayor facilidad en la colocación y en estructuras esbeltas. Disminuye la permeabilidad del concreto. El aire incluido aumenta la durabilidad y ayuda a reducir la exudación del concreto mejorando su manejabilidad.

**Usos y aplicaciones:** ideal para cámaras de refrigeración, estructuras hidráulicas menores, piscinas, fosas de ascensor y cubiertas.

**Figura 3. Concreto bombeable con incluso de aire**



Fuente: CONSTRUCCION Y TECNOLOGIA EN CONCRETO. Concreto lanzado: prospectiva parte II. [en línea] disponible en: [http://www.revistacyt.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=104:concreto-lanzado-prospectiva-parte-ii&catid=12&Itemid=113](http://www.revistacyt.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=104:concreto-lanzado-prospectiva-parte-ii&catid=12&Itemid=113) [Citado el 12 junio de 2014]

**4.2.4 Concreto de alta resistencia.** Es un concreto con resistencia a la compresión igual o superior a  $490 \text{ Kg/cm}^2$  (7000 psi) a una edad de 28 días.

**Beneficios:** La resistencia obtenida ofrece la posibilidad de menores secciones y por lo tanto un menor peso de la estructura. Asimismo, presenta una mayor resistencia a la erosión. Posee alta fluidez que hace posible su colocación aún en zonas congestionadas de acero de refuerzo, permitiendo un mayor rendimiento en ejecución de obras.

**Usos y aplicaciones:** adecuado para estructuras donde se requiera obtener una alta resistencia a 28 días. Útil para superestructuras de puentes de amplia luz donde se requiera mejorar la durabilidad de los elementos e ideal para vías de sistemas de transporte.

**Figura 4. Concreto de alta resistencia**



Fuente: NOTAS DE CONCRETO. Exposición del concreto al agua del mar [en línea] disponible en: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/exposicion-del-concreto-al-agua-del-mar.html>  
[Citado el 12 junio de 2014]

**4.2.5 Concreto de fraguado acelerado.** Es un concreto que presenta un proceso de fraguado más rápido y con la curva de evolución de resistencia similar a la del concreto bombeable. En estado fresco presenta menores tiempos de manejabilidad. Es apto para sistemas constructivos que demanden acabados rápidos, pronto desencofrado y mayor rotación de formaleta. Puede ser solicitado con incluso de aire.

**Beneficios:** es un concreto que permite un rápido acabado generando un mayor rendimiento de obra. Se puede bombear.

**Usos y aplicaciones:** los concretos de fraguado acelerado son usados en sistemas constructivos que demandan acabado rápido y pronto desencofrado de formaleta. En general son convenientes en la industria de los prefabricados.

**Figura 5. Concreto de fraguado acelerado**



Fuente: Catalogo de soluciones Cemex

**4.2.6 Concreto de fraguado retardado.** Es un concreto que en estado fresco posee mayores tiempos de manejabilidad y un proceso de fraguado más lento que el concreto convencional, permitiendo una adecuada colocación del producto y reduciendo la posibilidad de juntas frías.

**Beneficios:** ofrece un mayor tiempo de manejabilidad que permite la adecuada colocación del concreto. Su uso es conveniente en espacios donde se requiera reducir la temperatura generada por calor o de altas temperaturas.

**Usos y aplicaciones:** el concreto retardado es ideal cuando la colocación está expuesta a altas temperaturas ambientales. Su mayor tiempo de manejabilidad tiene como objeto evitar juntas frías en el elemento construido.

**Figura 6. Concreto de fraguado acelerado**



Fuente: Catalogo de soluciones Cemex

**4.2.7 Concreto lanzado vía húmeda.** Es un concreto transportado a través de tubería o manguera, proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie, adhiriéndose con una excelente compactación. ACI 506.2- 95.

**Beneficios:** debido a su cohesión se facilita la colocación de la mezcla, permite dar el acabado deseado y reduce costos de formaletas.

**Usos y aplicaciones:** para estructuras con secciones curvas o alabeadas, revestimiento de túneles, recubrimiento de mampostería para protección de acabados, refuerzos o reparación de estructuras de concreto, estabilización de taludes, muros de contención y canales de agua y cunetas.

**Figura 7. Concreto lanzado vía húmeda**



Fuente: ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y OBRAS VIALES Sistemas de estabilización de taludes y obras viales [en línea] disponible en: <http://estabilizaciondetaludesyobrasviales.blogspot.com/2013/06/estabilizacion-de-taludes-y-obras-viales.html> [Citado el 14 junio de 2014]

**4.2.8. Mortero convencional.** Es una mezcla de cemento, arena, agua y aditivos con proporciones técnicamente controladas, con propiedades, fluidez y textura en estado fresco y adecuado desempeño mecánico en estado endurecido.

**Beneficios:** Ayuda a la disminución de desperdicios propios de las mezclas en obra. Ofrece una resistencia garantizada, es de fácil manejo e incrementa la productividad de la mano de obra. Tiene una menor demanda de equipo así como de espacio para almacenamiento de materiales.

**Usos y aplicaciones:** adecuado para nivelación de pisos.

**Figura 8. Mortero convencional**



Fuente: PREZI. Copy of efecto del medio salino en morteros modificados con fibra-metalica [en línea] disponible en: <http://prezi.com/vxbymkmcovg/copy-of-efecto-del-medio-salino-en-morteros-modificados-con-fibra-metalica/> [citado el 14 de junio de 2014]

**4.2.9 Mortero lanzado.** Es un mortero con alta capacidad de cohesión y manejabilidad utilizado para mampostería. Su colocación en muros se hace a través de un equipo de tecnología avanzada.

**Beneficios:** ofrece rapidez y eficiencia con un rendimiento de 150m<sup>2</sup> al día por máquina. Ayuda obtener excelentes acabados y uniformidad en el mortero. Facilita la limpieza en la obra durante y después de la aplicación. Ahorra personal de mano de obra y disminuye el desperdicio de materiales. Asimismo, demanda un menor espacio de almacenamiento.

**Usos y aplicaciones:** el mortero lanzado se aplica en los espesores requeridos en la obra sobre materiales como:

- Bloque de arcilla
- Bloque de concreto
- Sistema dura panel

- Sistema prefabricado
- Sistema industrializado (previa preparación de la superficie)

Las obras en ideales para su uso y aplicación son bodegas, centros comerciales y vivienda.

**Figura 9. Mortero lanzado**



Fuente: REFRACERAN. Hormigones y morteros. [en línea] disponible: <http://refraceram.com/es/productos/3/hormigones-y-morteros> [citado el 14 de junio de 2014]

### **4.3 POLIPROPILENO**

Es un polímero termoplástico formado por enlaces simples carbono-carbono y carbono – hidrógeno, perteneciente a la familia de las poliolefinas.

Conocido como PP, es un material muy utilizado, debido a su versatilidad, resistencia y durabilidad, además de que puede ser reutilizado sin perder sus propiedades básicas, lo que lo hace más atractivo para la industria, y, en este caso para la construcción.

El polipropileno tiene diferentes usos, como la elaboración de envases de alimentos, partes automotrices, elementos decorativos, muebles, equipos médicos, etc.

Debido a su baja densidad (0,99 gr /cc), peso y elasticidad, reúne propiedades como:

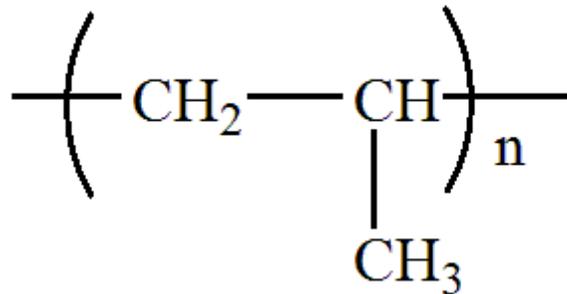
- Alta estabilidad térmica, la cual le permite trabajar durante mucho tiempo a una temperatura de 100°C en el aire.
- Es resistente al agua hirviendo, pudiendo esterilizarse a temperaturas de hasta 140°C sin temor a la deformación.
- Presenta resistencia a la fatiga.
- Es resistente al impacto.
- Tiene buena resistencia superficial y estabilidad dimensional.
- Es un material fácil de reciclar.

**Figura 10. Polipropileno reciclado**



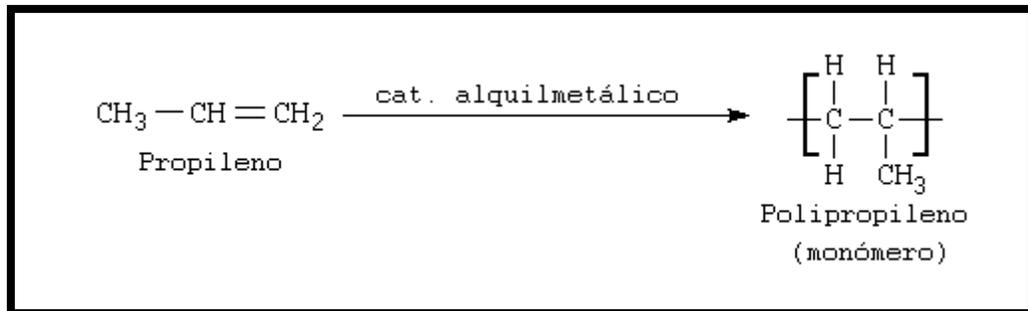
Fuente: VERDIGO. ¿Cuánto tiempo se tardan las cosas en degradarse? [en línea] disponible en: [http://verdi-go.blogspot.com/2011\\_03\\_01\\_archive.html](http://verdi-go.blogspot.com/2011_03_01_archive.html) [citado el 24 de junio de 2014]

El polipropileno en su estructura molecular consiste de un grupo metilo (CH<sub>3</sub>) unido a un grupo vinilo (CH<sub>2</sub>)



**4.3.1 Como se obtiene el polipropileno.** El polipropileno se obtiene mediante la polimerización del propileno en presencia de catalizadores alquilmetálicos:

**Figura 11. Procesó de obtención del polipropileno**



Fuente: QUIMINET. Todo acerca del polipropileno [en línea] disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/todo-acerca-del-polipropileno-4455.htm> [citado el 24 de junio de 2014]

El polipropileno puede obtenerse utilizando diferentes tipos de procesos, que pueden ser clasificados dependiendo del medio de reacción y la temperatura de operación.

Entre otros se pueden mencionar:

- *Proceso de solución:* en este proceso, la polimerización se realiza teniendo como base un disolvente hidrocarbonado a una temperatura de fusión superior a la del polímero. Aunque este proceso está prácticamente obsoleto, presentó ventajas como la fácil transición entre grados, debido a la pequeña dimensión de los reactores empleados.
- *Proceso de suspensión:* este proceso está configurado para que la reacción se dé en un hidrocarburo líquido, ya que el polipropileno es prácticamente insoluble a una temperatura inferior a la de fusión del polímero.
- *Proceso en fase de gas:* se caracteriza principalmente por la omisión de disolvente en el reactor de polimerización<sup>4</sup>.

#### 4.3.2 Reciclaje del polipropileno

**Figura 12. Materia prima reciclable**



Fuente: TODO PRODUCTIVIDAD. Reciclaje de plásticos: Envases de polipropileno [en línea] disponible en: <http://todoproductividad.blogspot.com/2012/04/reciclaje-de-plasticos-envases-de.html> [citado el 13 de junio de 2014].

---

<sup>4</sup> TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS Polipropileno [en línea] disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>. [citado el 13 de junio de 2014].

Así como el polipropileno representa una fuente importante para la fabricación de diversos tipos de elementos utilizados diariamente como envases de alimentos, muebles y demás, estos, al ser desechados representan un problema serio para el ambiente, y por esta razón, cada día se buscan opciones para reutilizar el polipropileno.

Debido a las propiedades del polipropileno, este puede ser reciclado, y nos sirve como materia prima para nuevos productos, representando así gran atractivo para la industria, y por supuesto para la construcción<sup>5</sup> [5].

**Figura 13. Símbolo del reciclaje**



Fuente: QUIMINET Recicla polipropileno y ayuda al medio ambiente [en línea] disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/recicla-polipropileno-y-ayuda-al-medio-ambiente-3502073.htm> [citado el 13 de junio de 2014].

Para el reciclaje del polipropileno, es importante tener en cuenta el uso final que se le dará al producto, ya que durante el proceso las diferentes formas del polipropileno se combinan.

---

<sup>5</sup> ZABALA PÉREZ, Omar Humberto, y SÁNCHEZ NEIRA, Oscar Javier. Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un mortero modificado con pet reciclado. Tesis. Universidad Industrial de Santander. 2006. Pág. 9.

El reciclaje del plástico, consta de varias etapas, teniendo en cuenta que la principal forma es disminuir la fuente que produce los residuos.

- *Recolección:* este proceso inicia principalmente en las viviendas, sitios de trabajo, etc.

El proceso consta de separar los residuos orgánicos de los reciclables, para luego apartar los residuos de plástico y luego disponer según sea necesario.

- *Almacenamiento:* el plástico debe compactarse y almacenarse, puede ser al aire libre, teniendo en cuenta que el tiempo de exposición no debe ser mayor a tres meses, ya que los rayos UV pueden afectar la estructura del material.
- *Clasificación:* luego de separarse, debe ser clasificado por color y tipo de plástico. El método de clasificación puede hacerse en forma manual o automática, según la tecnología disponible<sup>6</sup>.

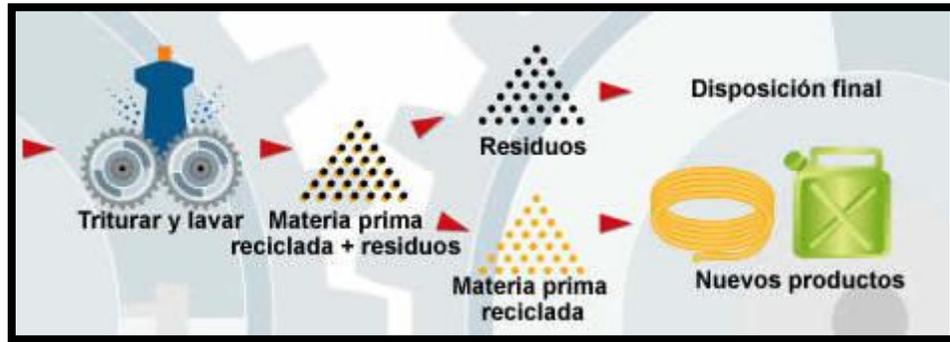
**4.3.3 Tipos de reciclado.** Hay dos tipos de reciclado; mecánico y químico.

**4.3.3.1 Reciclado mecánico.** Consiste en recuperar el plástico post-consumo, permitiendo su reutilización.

---

<sup>6</sup> HERNÁNDEZ MORALES, Mónica Patricia, y ORJUELA GÓMEZ, Miguel Andrés. Estudio de las rutas de síntesis de poliuretanos a través del tratamiento químico de polietileno tereftalato, (pet) post-consumo. Pág. 9.

**Figura 14. Proceso reciclaje**



Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Tipos de reciclado [en línea] disponible en: [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/reciclado\\_auto/tiposdereciclado.htm](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/reciclado_auto/tiposdereciclado.htm) [citado el 13 de junio de 2014].

Este tipo de plástico proviene de dos grandes fuentes.

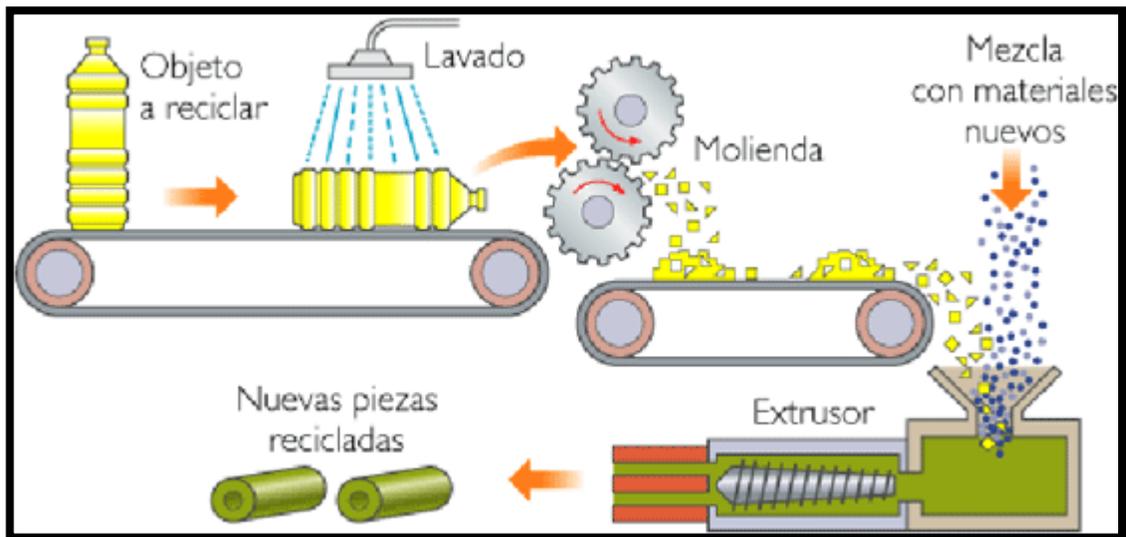
- Residuos plásticos que provienen de la industria en los procesos de fabricación llamados *scrap*. Este tipo de residuos es más fácil de reciclar, ya que aún no han sido mezclados con otro tipo de materiales y presentan una composición homogénea.
- Residuos plásticos urbanos (RSU). Este tipo de residuos se pueden encontrar clasificados en plásticos del mismo tipo, o mezclados con otros materiales como cartón papel o plástico de diferente tipo.

El reciclado mecánico se lleva a cabo en varios pasos; separación, molido, lavado, secado, aglutinación y extrusión.

- *Separación*: se preparan los diferentes tipos de plástico, ya sea por su identificación o aspecto visual, teniendo en cuenta que se deben separar los elementos compuestos por otro tipo de material como tapas, etiquetas, empaques metalizados, mezcla de diferentes tipos de plástico, etc.

- *Molido*: cuando ya está separado, el material es molido hasta quedar en pequeños pedazos.
- *Lavado*: debe ser lavado para eliminar los residuos de suciedad.
- *Secado*: se centrifuga el material para retirar el exceso de agua.
- *Aglutinación*: se compacta el material después de terminar el secado y se envía a la máquina extrusora. En el proceso la fricción lleva a un aumento en la temperatura, lo que hace que se forme una masa plástica. En este procedimiento también se pueden agregar aditivos, colorantes y lubricantes.
- *Extrusión*: en este proceso el plástico es fundido y se vuelve una masa homogénea. El plástico sale en forma de espagueti y es enfriado con agua, para finalmente picarse y quedar en forma granulada<sup>7</sup>.

**Figura 15. Reciclado Mecánico**



Fuente: URDANETACMC1EPR14 Reciclado mecánico [en línea] disponible en: <http://urdanetacmc1ep14.wikispaces.com/4.3+Reciclado+mec%C3%A1nico> [citado el 16 de junio de 2014]

<sup>7</sup> BERNAL CONDIA, Rosa Isabel. Diseño e implementación de una planta piloto para la elaboración de membranas de fibra hueca de polipropileno. Tesis. Universidad Industrial de Santander. 2014. Pag

**4.3.2.2 Reciclado químico.** En este reciclado hay varios tipos de procesos que consisten en romper las moléculas de los polímeros, produciendo nueva materia prima.

Estos procesos se caracterizan porque en algunos de estos métodos no es necesario separar los diferentes tipos de plásticos, lo que hace que tanto el tiempo como los recursos utilizados sean optimizados.

Entre los más utilizados, se pueden encontrar los siguientes:

- **Metanólisis:** es un proceso también conocido como petrectec, consistente en aplicar metanol para lograr la descomposición de las moléculas, que luego producen materia prima al ser repólimerizados.
- **Pirólisis:** en este proceso, las moléculas se craquean por calentamiento en el vacío, produciendo hidrocarburos líquidos o sólidos para ser reutilizados.
- **Chemolysis:** en este proceso se requiere que los materiales se encuentren separados por tipo de resinas y en grandes cantidades, aplicando procesos solvolíticos como hidrólisis, glycólisis o alcoholólisis<sup>8</sup>.

#### **4.4 CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO**

Para la fabricación del concreto con material reciclado, se debe tener en cuenta el tipo de fibra a utilizar; en el caso de las fibras sintéticas se pueden encontrar diferentes tipos como acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno.

---

<sup>8</sup> TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS Polipropileno [en línea] disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>. [citado el 13 junio de 2014].

Al utilizar el polipropileno reciclado como agregado en la fabricación de concreto, se busca, no sólo mejorar propiedades como la resistencia o mecánica en la mezcla, también se pretende contribuir con la preservación del ambiente, formando parte de una cadena que inicia con la producción de elementos para el consumo y que demuestra que una vez dejen de funcionar para lo que fueron creados, puedan ser reutilizados y no generen más contaminación<sup>9</sup>.

**Figura 16. Ladrillos con material reciclado**



Fuente: [https://c1.staticflickr.com/9/8153/7487340190\\_7b5c67ec70\\_z.jpg](https://c1.staticflickr.com/9/8153/7487340190_7b5c67ec70_z.jpg)

El concreto es un material compuesto elaborado principalmente de arena, grava, agua y cemento, y algunas veces aditivos. Es sabido que se está trabajando en mejorar sus propiedades, y para ello se están implementando nuevos materiales para su elaboración, teniendo en cuenta siempre la mejora en la calidad.

---

<sup>9</sup> MENDOZA, Carlos Javier, AIRE Carlos, y DÁVILA Paula. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. [en línea] disponible en: [http://www.imcyc.com/ccid/pdf/ene-jun11\\_3.pdf](http://www.imcyc.com/ccid/pdf/ene-jun11_3.pdf). [citado el 22 de mayo de 2014]

El polipropileno se emplea en algunas investigaciones, llegándose a producir un concreto resistente al fuego, debido a esto hay un interés creciente para la utilización de estos materiales, causando un mejoramiento al impacto ambiental producido cuando se desechan elementos que contiene este material.

**Figura 17. Material reciclado**



Fuente: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Bales\\_of\\_PET\\_bottles\\_2.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Bales_of_PET_bottles_2.jpg)

Las fibras de polipropileno refuerzan el cemento aumentando la dureza del concreto bajo cargas dinámicas, lo cual puede comprobarse realizando diferentes ensayos, estos han arrojado que al trabajar con polipropileno se mejora la manejabilidad, la resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a la flexión, módulo de rotura y tenacidad.

Se han realizado varios estudios para investigar las propiedades mecánicas del concreto y plástico trabajando juntos en una mezcla, con esto se han visto resultados contradictorios ya que en ensayos de compresión no aporta resistencia pero a flexión se ven incrementos.

El concreto reforzado con este material ha empezado a ser aplicado en plantas de prefabricados, en la construcción de pisos industriales, pavimentos, cubiertas, concreto lanzado para taludes y el porcentaje de utilización del material se debe a ensayos experimentales que varía de 0.1% a 25% y el tamaño de las partículas al igual que la resistencia son evaluados en el laboratorio.

Existen numerosos antecedentes con la utilización de plástico reciclado en elementos constructivos, la dosificación, los procedimientos de elaboración, las propiedades físicas y químicas.

Los elementos fabricados con materiales reciclados son elementos constructivos con calidad técnica suficiente para su aplicación en cerramientos no portantes (no son muros estructurales) de viviendas.

Entre otras propiedades pueden encontrar:

1. *Conductividad térmica*: Proveen aislación térmica que superan a la mayoría de componentes constructivos tradicionales.
2. *Comportamiento a la intemperie*: Son resistentes a los rayos ultra violeta y los ciclos alternados de humedad.
3. *Resistencia mecánica*: Es menor a la mayoría de elementos tradicionales pero suficientes para ser utilizados en cerramientos.
4. *Resistencia al fuego*: La tiene buena resistencia al fuego frente a la propagación de la llama.

5. *Resistencia acústica*: Este material es macizo pero reemplaza muy bien al ladrillo hueco<sup>10</sup>.

En cuanto a los costos, la fabricación del concreto con material plástico reciclado hay similitud con la fabricación del concreto tradicional, debido al tratamiento que debe recibir el material reciclado para poder ser utilizado en la mezcla.

Ya en obra, se pueden reducir costos, debido a que este material en los cerramientos puede ser utilizado en menor volumen. Debido a la propiedad de aislamiento térmico, y sencilla fabricación, no es necesario de personal especializado y la infraestructura necesaria para la elaboración no debe ser de gran envergadura.

#### **Figura 18. Muros con material reciclado**



Fuente: MEDIO AMBIENTALES. Ladrillos con botellas de plástico [en línea] disponible en: <http://medioambientales.com/ladrillos-con-botellas-de-plastico/> [citado el 14 de junio de 2014]

Beneficios:

1. Esta tecnología es una alternativa para la construcción de viviendas.

---

<sup>10</sup> COMPONENTES PARA TRANSFERENCIAS TECNOLÓGICAS. Nuevos materiales para mampuestos con plásticos reciclados. 2014. [en línea] disponible en: <http://www.ceve.org.ar/tpplasticos.html>. [citado el 14 de junio de 2014]

2. Reduce la cantidad de residuos que actualmente acumula o entierran, desaprovechando un recurso.
3. Estos elementos son más ecológicos, más livianos y ofrecen una aislación térmica con una resistencia suficiente para su aplicación en cerramientos no portantes.
4. Por su bajo costo son aptos en la construcción de vivienda de interés social.
5. Genera fuente trabajo para personas de bajo recursos tanto en la recolección como en la elaboración.

**Figura 19. Concreto con material reciclado**



Fuente: MARZUA. Blox; bloques de cementos y materiales reciclados [en línea] disponible en: <http://marzua.blogspot.com/2013/02/blox-bloques-de-cemento-y-materiales.html> [citado el 18 de junio de 2014]

Una de las características que permiten definir un material como eficiente visto en el campo energético es su procedencia, la procedencia en cierra el proceso de elaboración como los materiales a partir de los que se obtiene, esto se puede ver

en un proceso con gastos energéticos mínimo o nulo a partir de una fuente renovable y reciclado.

Robustos y fáciles de producir, los ladrillos cocidos han existido hace muchos años, pero la fabricación de estos en método tradicionales requieren enormes cantidades de energía que incluye deforestación y la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

En avances de bioingeniería con el tratamiento de los residuos reciclados se obtiene un ladrillo más limpio, no genera grandes gastos energéticos ni contaminación a la atmosfera ya que implementa materiales rechazados dándole así una segunda vida útil<sup>11</sup>.

**Figura 20. Bloques con material reciclado**

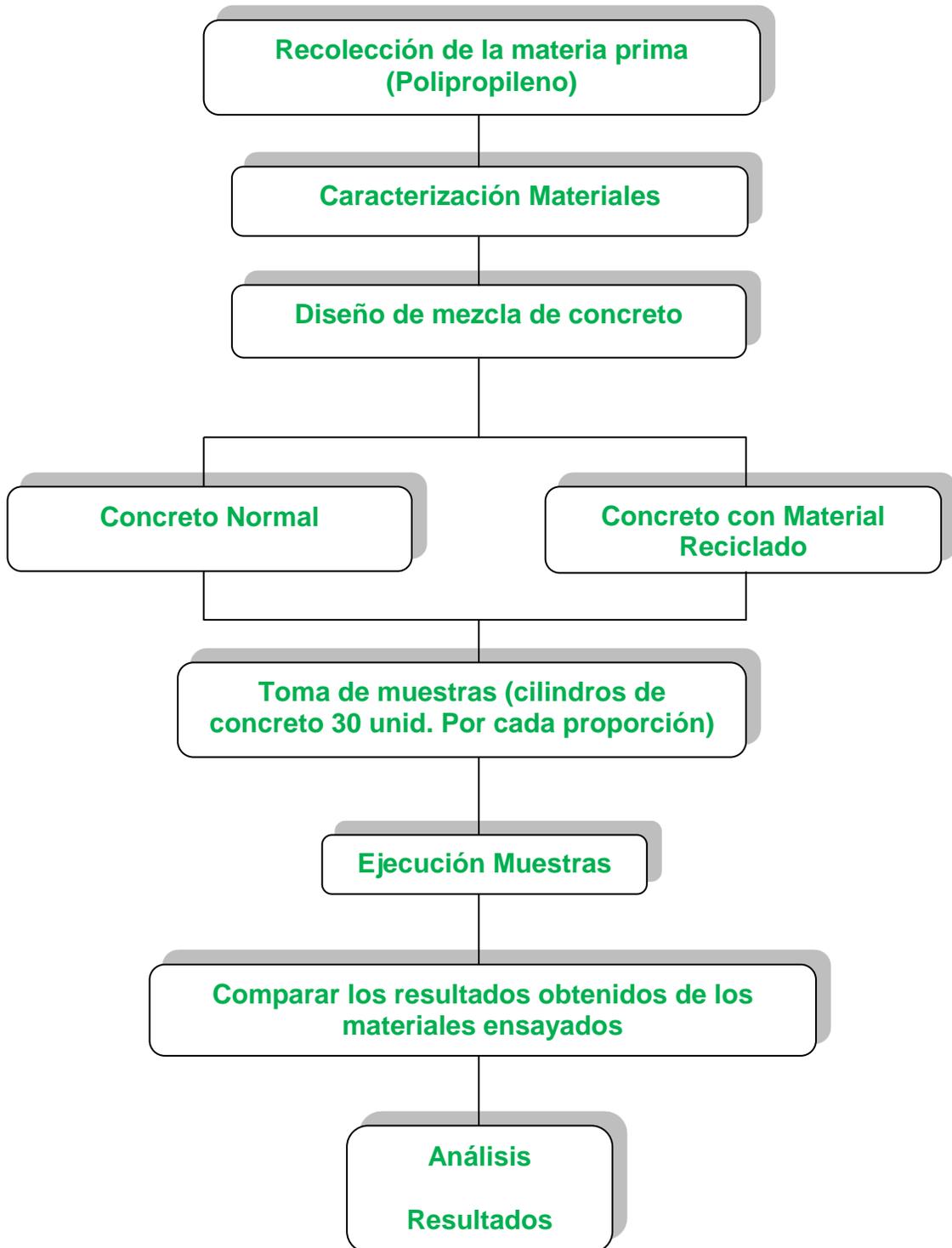


Fuente: MARZUA. Blox; bloques de cementos y materiales reciclados [en línea] disponible en: <http://marzua.blogspot.com/2013/02/blox-bloques-de-cemento-y-materiales.html> [citado el 18 de junio de 2014]

---

<sup>11</sup> MARZUA. Blox; bloques de cementos y materiales reciclados [en línea] disponible en: <http://marzua.blogspot.com/2013/02/blox-bloques-de-cemento-y-materiales.html> [citado el 18 de junio de 2014]

## 5. METODOLOGÍA



Para el desarrollo de este proyecto, se llevó a cabo diferentes actividades que se describen a continuación:

En primera instancia se desarrolló investigación sobre el tema, utilizando bibliografía de proyectos y documentos de internet.

La materia prima, en este caso el polipropileno de material reciclado, se obtuvo ya listo para ser utilizado, es decir, ya procesado. Ver figura 21.

**Figura 21. Material reciclado**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

Se realizó la caracterización de los materiales pétreos realizando los siguientes ensayos:

- peso específico y absorción de agregados finos
- Ensayo cono para la humedad superficial
- peso específico y absorción de agregados gruesos
- peso específico y absorción de agregados finos
- masas unitarias suelta y compacta para agregado grueso

- masas unitarias suelta y compacta para agregado plástico
- granulometría para agregado grueso
- granulometría para agregado fino
- granulometría para agregado plástico
- peso específico del cemento
- consistencia normal del cemento
- tiempo de fraguado del cemento hidráulico
- finura del cemento portland método del aparato Blaine

Estos procedimientos se realizaron en el laboratorio de Materiales de construcción de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga y tuvieron una duración aproximada de tres meses.

Ya caracterizado los materiales se procedió al diseño de la mezcla de concreto, para preparación de 30 cilindros en concreto normal, 30 cilindros con 10% de agregado plástico, 30 cilindros con 20% de agregado plástico y final mente 30 cilindros con 30% de agregado plástico. Este proceso tuvo una duración aproximada de 2 meses incluyendo el tiempo necesario para que los cilindros alcancen su máxima resistencia a la compresión.

Posteriormente, se realizó la resistencia a la compresión de cada grupo de cilindros a los 7, 14 y 28 días respectivamente.

Se compararon los resultados obtenidos teniendo en cuenta los diferentes porcentajes de material plástico para cada tipo de mezcla y las diferentes edades de cada cilindro.

## 5.1 ENSAYOS REALIZADOS

### 5.1.1 Caracterización de los materiales

#### 5.1.1.1 Peso específico y absorción de agregados finos

##### ➤ MATERIALES Y EQUIPO

- Balanza: Capacidad para 1 Kg o mas y sensible hasta 0,1 g.
- Picnómetro o frasco de Le Chatelier
- Molde: Molde metálico en forma de tronco cónico
- Pisón

##### ➤ PREPARACION DE LA MUESTRA DEL ENSAYO

- Se toma 1 Kg de agregado fino
- Se Seca la muestra a una temperatura de 110 °C, y se sumerge en agua durante 24 horas.
- Se extiende la muestra sobre una superficie plana expuesta a una suave corriente de aire, revolver con frecuencia para asegurar un secado homogéneo para obtener la condición saturada y superficialmente seca<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS I.N.V. E - 222 – 07

**Figura 22. Secado al aire de arena y agregado grueso**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 23. Proceso de cuarteo**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

➤ **ENSAYO DE CONO PARA LA HUMEDAD SUPERFICIAL**

- Sostener el molde firmemente sobre una superficie lisa no absorbente
- Llenar el molde con agregado fino parcialmente seco hasta que rebose, se apisona ligeramente con 25 caídas leves del pisón.
- Se remueve la arena suelta de la base y se levanta el molde verticalmente, si al levantar el molde el agregado conserva la forma del molde todavía hay humedad superficial y si el agregado fino se asienta levemente ello indica que ha alcanzado la condición superficialmente seca.

**Figura 24. Ensayo de cono**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

➤ **PROCEDIMIENTO**

- Se Determinan todas las masas
- Se llena el picnómetro con agua parcialmente, inmediatamente se agregan 500 g de material saturado y superficialmente seco y se termina de llenar con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad.
- Agitar el picnómetro, se gira suavemente para eliminar todo el aire acumulado entre las partículas.

- Se termina de llenar con agua hasta su capacidad calibrada.
- Se pesa todo el conjunto.

**Figura 25. Picnómetro**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 26. Peso específico y absorción de finos**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

### 5.1.1.2 Peso específico y absorción de agregados gruesos

#### ➤ MATERIALES Y EQUIPO

- BALANZA: La balanza debe estar equipada para suspender el recipiente de la muestra en el agua.
- RECIPIENTE DE LA MUESTRA
- TANQUE DE AGUA
- TAMICES

#### ➤ PROCEDIMIENTO

- Se seca la muestra al horno a una temperatura de 110 °C, se espera a que se enfríe y se hace el ensayo de tamaño máximo nominal de 37,5 mm.
- Se sumerge el agregado en agua por 24 horas.
- Se retira la muestra del agua y se procede a secar con un paño absorbente hasta que toda el agua visible sea removida.
- Pesar la muestra en condición superficialmente seca.
- Se coloca inmediatamente la muestra en el recipiente de la muestra y se toman su peso en el agua.
- Se seca al horno a una temperatura de 110°C hasta obtener una masa constante y se pesa nuevamente<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> ]GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS I.N.V. E – 223 – 07

**Figura 27. Horno de secado**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 28. Balanza usada para ensayo peso específico y absorción de gruesos**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

### 5.1.1.3 Masas unitarias suelta y compacta para agregado grueso

#### ➤ MATERIALES Y EQUIPO

- BALANZA
- VARILLA DE APISONAMIENTO: Varilla de acero lisa y recta de 16mm de diámetro y 600 mm de longitud.
- MOLDE: Es un recipiente metálico cilíndrico con las siguientes características diámetro de 18.5 cm y una altura de 18.5 cm y peso de 3079 g.
- PALA O CUCHARON
- MUESTRA DEL ENSAYO: Se toma una muestra de material aproximadamente el doble de la cantidad necesaria para llenar el molde, se seca en el horno a una temperatura de 110°C

#### ➤ PROCEDIMIENTO

- Con el cucharón se agrega una tercera parte del molde se nivela con los dedos, se apisona la capa con 25 golpes con la varilla repartiéndolo por toda la superficie, luego se completan las dos terceras partes del molde, nivelar y apisonar nuevamente con 25 golpes finalmente se llena el molde y aplicar 25 golpes, se enraza el molde con la varilla, se toma el peso del molde con el material y el peso del molde solo, se repite este procedimiento dos veces<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> ASTM C 29/C 29M-97, Standard Test Method for Bulk density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate, Vol 04.02 American Standards of Testing of Materials, Edition 2003.

**Figura 29. Masas unitarias suelta y compacta**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**5.1.1.4 Masas unitarias suelta y compacta para agregado plástico.** Para este ensayo de laboratorio el equipo utilizado y el procedimiento es el mismo usado para el agregado grueso.

**Figura 30. Agregado plástico y cuarteo**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 31. Ensayo masas unitarias sueltas y compactas**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

### **5.1.1.5 Granulometría**

#### **a. Granulometría para agregados finos**

##### **➤ MATERIALES Y EQUIPO**

- BALANZA
- RECIPIENTES
- TAMICES
- BROCHA
- CEPILLO
- HORNO

➤ **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

La muestra para realizar el ensayo se obtiene por medio de cuarteo, se pasa la muestra a un recipiente y se seca en el horno a 110°C, se saca la muestra y se pesa el material.

➤ **PROCEDIMIENTO**

- Se toman los tamices 3/8, No. 4, 8, 15, 30, 50, 100, 200 y fondo
- Se agrega la muestra en el primer tamiz y se agita la serie de tamices de tal manera que las partículas de mayor tamaño se queden en los tamices superiores, después se pesa el material retenido en cada tamiz<sup>15</sup>.

**Figura 32. Equipo usado Granulometría**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**b. Granulometría para agregados gruesos**

➤ **MATERIALES Y EQUIPO**

- **BALANZA**
- **RECIPIENTES**
- **TAMICES**

<sup>15</sup> NORMA TECNICA COLOMBIANA. SUELOS. ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO NTC 1522.

- BROCHA
  - CEPILLO
  - HORNO
- PREPARACION DE LA MUESTRA
- Se toma una muestra significativa de material y se cuartea, se toma dos cuartos opuesto y se vuelve a realizar el cuarteo, se toma una muestra y se lleva al horno a 110°C, después se pesa la muestra.
- PROCEDIMIENTO
- Se toman los tamices de 1", ¾", ½", 3/8", No 4 y No 8 y el fondo.
  - Se agrega la muestra del material en la serie de tamices, se tapa y se agita el conjunto de tamices de tal manera que las partículas de mayor tamaño se queden en los tamices superiores, se separa los tamices con cuidado de no perder el material retenido en cada tamiz y se pesa.

**Figura 33. Equipo Granulometría triturado**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 34. Granulometría agregado grueso**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**c. Granulometría para agregado plástico**

**Figura 35. Granulometría agregado plástico**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

### 5.1.1.6 Peso específico del cemento

#### ➤ MATERIALES Y EQUIPO

- FRASCO DE LE CHATELIER
- KEROSENE
- BALANZA

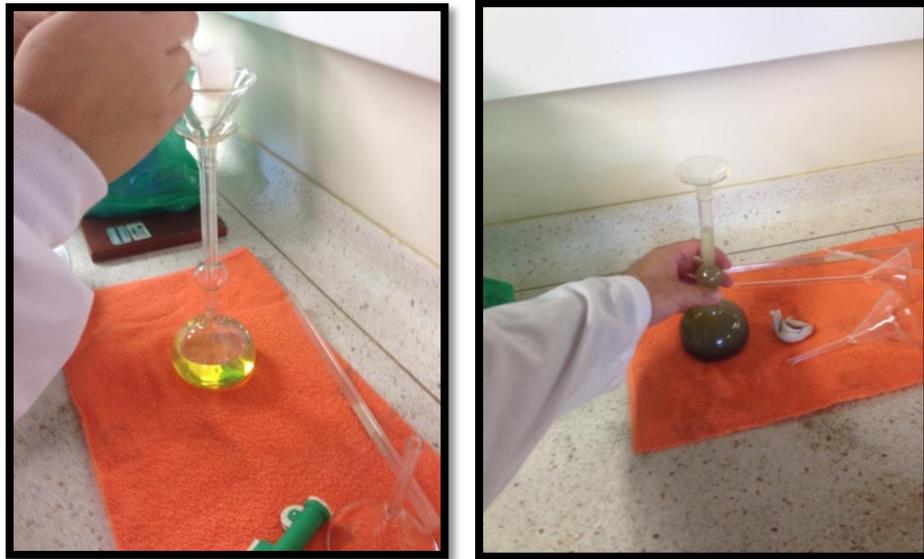
#### ➤ PROCEDIMIENTO

- Se pesan 64 g de Cemento Portland
- Se llena el frasco con kerosene hasta un punto situado entre las marcas 0 ml y 1 ml, se seca el interior del frasco, después de sumergir el frasco en agua se pesa.
- Agregar el cemento en pequeñas cantidades de tal manera que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco, después de agregar todo el cemento se tapa el frasco, se gira en círculos horizontales con la finalidad de sacarle el aire, Sumergir nuevamente el frasco en agua para evitar variaciones de la temperatura y se toma la lectura final<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. Cementos. método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. NTC 221.

**Figura 36. Peso específico del cemento**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

#### **5.1.1.7 Consistencia normal del cemento**

➤ **MATERIALES Y EQUIPO**

- Aparato de Vicat: Molde y base de vidrio.
- Balanza
- Probetas graduables
- Guantes
- Palustre
- Recipientes

➤ **PROCEDIMIENTO**

Se agregan 500 gr de cemento portland en forma de cono en un recipiente no absorbente se hace un hueco en la parte superior del cono sobre el cual se le agrega agua, se mezcla uniformemente con las manos hasta formar una pasta, se hace una esfera con la pasta y se pasa 6 veces de mano en mano, luego se

toma el molde por la parte inferior se introduce la esfera, se pone sobre esta base la placa de vidrio y se voltea todo, con el palustre se nivela.

Se llevamos todo el conjunto (placa de vidrio, pasta y el molde) al aparato de Vicat y se centra bajo el vástago, se nivela la punta del vástago con la pasta y se fija, se pone en cero la escala, luego se deja caer durante 30 segundos, el ensayo está terminado hasta que la aguja del aparato de vicat penetre 10 mm en 30 segundos de lo contrario repetimos el procedimiento con el fin de calcular la relación agua cemento la aguja penetra 10 mm<sup>17</sup>.

**Figura 37. Consistencia normal del cemento. (Aparato de Vicat)**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**5.1.1.8 Tiempo de fraguado del cemento hidráulico.** Conociendo la relación agua cemento se toma un espécimen y se sumerge por 30 minutos se determina

<sup>17</sup> INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. Cementos. Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico. NTC 110.

la penetración de la aguja de 1 mm de diámetro y se toma dicha lectura cada 15 minutos, este proceso se repete la cantidad de veces que sea necesario hasta que la aguja no penetre la pasta , cada vez que la aguja penetre debemos limpiarla para evitar acumulación de pasta en la aguja ya que si hay residuos la penetración va a ser más lenta, las penetraciones deben estar separadas mínimo 6 mm entre si y 10 mm del borde inferior del molde, tomamos los registros de todas las penetraciones y por interpolación se determina el tiempo obtenido para una penetración de 25 mm el cual es el tiempo de fraguado inicial, y el final se toma cuando la aguja no penetra la pasta<sup>18</sup>.

**Figura 38. Tiempos de fraguado**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

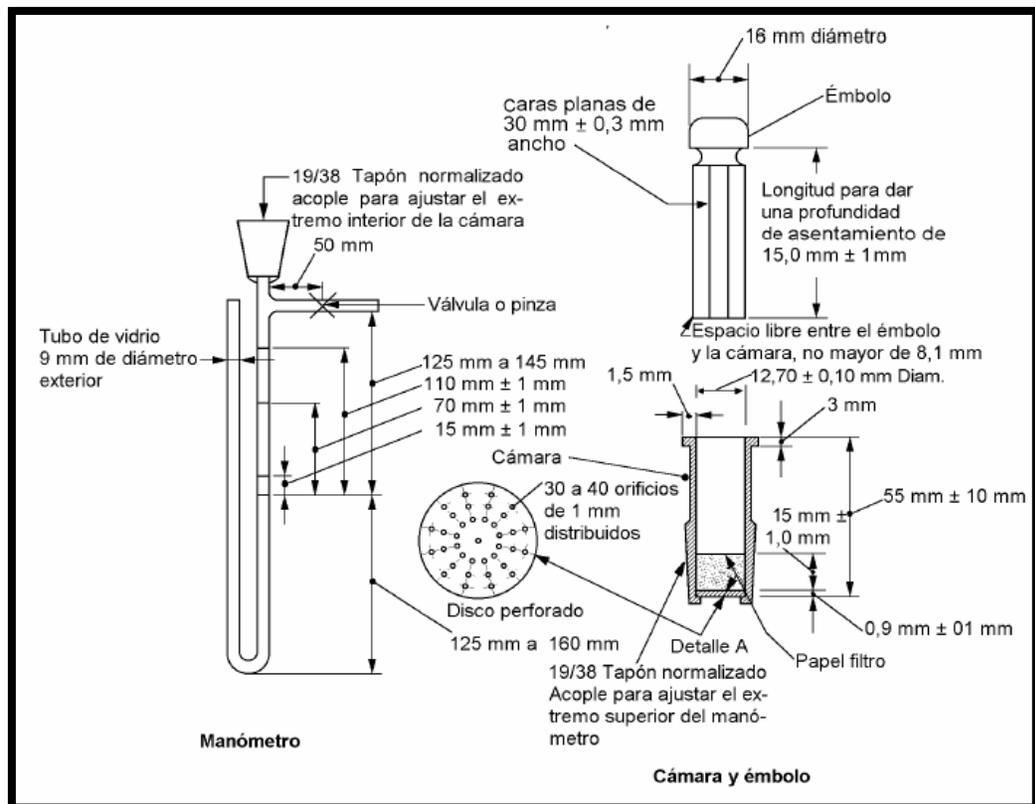
<sup>18</sup> CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de VICAT. NTC 118.

### 5.1.1.9 Finura del cemento portland método del aparato Blaine

#### MATERIALES Y EQUIPO

- Aparato Blaine: Consta de las siguientes partes
- Cámara de permeabilidad
- Disco perforado
- Émbolo
- Manómetro
- Líquido para llenar el manómetro
- Papel de filtro
- Cronometro

Figura 39. Aparato Blaine



Fuente: Norma I.N.V. E - 302 - 07

## PROCEDIMIENTO

- Cuando se vaya a realizar el ensayo la muestra de cemento debe estar a la temperatura ambiente.
- La masa de la muestra debe ser la misma usada en la calibración del aparato, excepto para determinar la finura de un cemento de alta resistencia, la masa de la muestra debe ser la necesaria para obtener una capa con porosidad de 0.530.
- Preparación de la capa de cemento: Se coloca en el reborde de la cámara de permeabilidad el disco perforado, se pone un disco de papel filtro sobre el disco perforado y se presiona con una varilla, se añade cemento y se da unos ligeros golpes para que la capa de cemento quede nivelada, se pone un disco papel filtro sobre el cemento. Se baja el embolo hasta que su reborde toque el extremo superior de la cámara, se levanta un poco el embolo y se rota 90 grados y se vuelve a bajar por último se saca el embolo lentamente. Para cada ensayo es necesario usar discos nuevos<sup>19</sup>.

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD

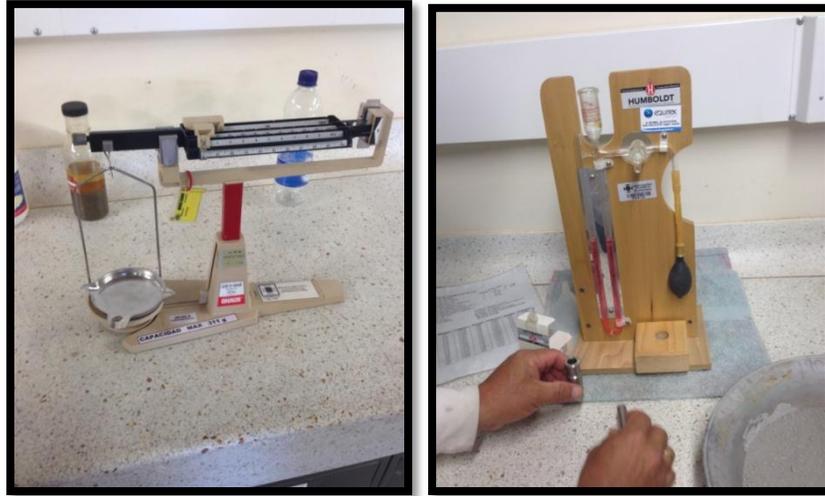
- La cámara de permeabilidad se conecta con el manómetro, cerciorándose que haya una conexión hermética, y teniendo en cuenta que la capa de cemento no se altere.
- Se eliminamos el aire contenido en el manómetro hasta que el líquido alcance la marca más alta y luego se cierra la válvula herméticamente. El cronometro se hacemos funcionar en el momento que el menisco del líquido llegue a la segunda marca y se detiene cuando llegue a la tercera marca. Se apunta el tiempo en segundos, y la temperatura a la que se realizó el ensayo.

---

<sup>19</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Determinación de la finura del cemento portland por medio del turbidímetro. NTC 597.

- Para calibrar el aparato se hacen como mínimo tres determinaciones del tiempo de flujo en cada una de tres capas diferentes de la muestra patrón.

**Figura 40. Equipo usado ensayo Finura Blaine**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

#### **5.1.1.10 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes de concreto.**

Consiste en aplicar una carga axial a una velocidad controlada al cilindro de concreto, hasta llevarlo a la falla.

Para calcular la resistencia a la compresión se divide la carga máxima alcanzada sobre el área transversal del cilindro.

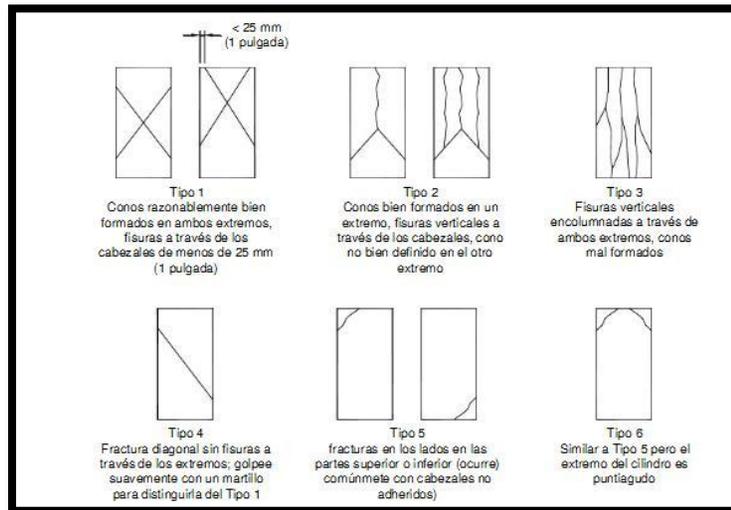
Con este ensayo se determina la resistencia a la compresión de los cilindros, los resultados obtenidos son usados para el control de calidad de la dosificación de los materiales, en caso de tener aditivos, para ver la calidad de los aditivos.

#### **➤ PROCEDIMIENTO**

Los ensayos de compresión de especímenes curados tienen que ser realizados tan pronto sea sacado del almacenamiento húmedo.

Ambas caras del cilindro deben estar limpias y las superficies que comprimirán el cilindro, se acomoda el cilindro en la superficie inferior de la máquina de falla, se alinea el cilindro y se aplica la carga continuamente y sin impactos, la velocidad de la carga ira disminuyendo a medida que el espécimen llega a la carga última<sup>20</sup>.

**Figura 41. Tipos de fallas**



Fuente: PROYECTO 1-GRUPO 1 RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES Entrega #2 [en línea] disponible en: <http://proyecto1reciclaje-grupo1.blogspot.com/2012/10/entrega-2.html> [citado el 20 de junio de 2014]

<sup>20</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. concretos. ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. NTC 673.

**Figura 42. Prensa Hidráulica para ensayos de concreto**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 43. Cilindros de concreto normal**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 44. Medición de especímenes es concreto**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 45. Ensayo Resistencia a la compresión**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 46. Falla fisura diagonal**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

#### **5.1.1.11 Ensayo de unidades de mampostería (ladrillos en concreto reciclado) NTC 4017**

##### **➤ RESISTENCIA A LA COMPRESION**

Para unidades de mampostería o ladrillos que sean macizos, semimacizos o adoquines, los especímenes de ensayos deben ser unidades secas que contengan la altura y el ancho completo de la unidad tal como se usa en el muro o enladrillado, pero con una longitud igual a la mitad de la longitud de la pieza entera, la carga es aplicada en la misma posición que en uso. Si los especímenes exceden la capacidad de la máquina de ensayo, entonces el ensayo se realizara con las dimensiones de la unidad original.

Los especímenes para ladrillos perforados o bloques de cualquier tipo o clase, son unidades enteras que se someten a carga en la misma posición que ocupan en la

mampostería. Si el equipo de ensayo tiene limitaciones de capacidad de carga o dimensiones, las unidades de ensayo deben ser reducidas mediante el corte con disco a la mitad de su longitud manteniendo su altura y ancho original.

Los métodos de corte no deben producir fisuras o desportilladuras al espécimen de ensayo, y sus caras deben ser planas y paralelas. Se deben ensayar cinco especímenes.

La resistencia a la compresión del espécimen cortado se considera como la resistencia a la compresión del espécimen completo [21].

**Figura 47. Formaleta para fundir ladrillos**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

#### ➤ **PROCEDIMIENTO**

Los especímenes son ensayados en dirección tal que la carga sea aplicada en dirección en que van a ser puestos en servicio. Los especímenes son centrados bajo el soporte esférico superior.

El soporte superior debe estar provisto de una rotula esférica con un bloque de metal endurecido, y debe estar libre para bascular en cualquier dirección para permitir especímenes cuyas superficies no sean exactamente paralelas,

**Figura 48. Llenado de formaletas**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 49. Compactación ladrillos**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 50. Determinación de la resistencia a la compresión de ladrillos**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

**Figura 51. Montaje Resistencia a la compresión de ladrillos**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

## 6. DISEÑO DE MEZCLA

### ➤ ESTABLIR EL ASENTAMIENTO

Tabla 1. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.

ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de formaleta
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con maquina mecánica.
3,5 - 5,0	Semi-seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10,0 - 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. No recomendable para compactarlo con demasiada Vibración

Fuente: Tecnología del cemento y del mortero

Para el diseño se toma un asentamiento de 5 cm.

➤ **ELEGIR TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)**

**Tabla 2. Tamaño máximo nominal**

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL EN mm (plg)			
	MUROS REFORZADOS VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6 - 15	12 (1/2") - 19 (3/4")	19 (3/4")	19 (3/4") - 25 (1")	19 (3/4") - 38 (1 1/2")
19 - 29	19 (3/4") - 38 (1 1/2")	38 (1 1/2")	38 (1 1/2") - 76 (3")	-----
30 - 74	38 (1 1/2") - 76 (3")	76 (3")	38 (1 1/2") - 76 (3")	76 (3")
75 O mas	38 (1 1/2") - 76 (3")	152 (6")	38 (1 1/2") - 76 (3")	76 (3") - 152 (6")

Fuente: Tecnología del cemento y del mortero

SE ELEGE TMN 3/4 "

➤ **CONTENIDO DE AIRE**

**Tabla 3. Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición**

AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SGTS GRADOS DE EXPOSICION		
Pulgadas	mm		Suave	Mediano	Severo
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,1	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,4	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,1	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Fuente: Tecnología del cemento y del mortero

Para este diseño de mezcla se tomara 2.0

➤ **CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO**

**Tabla 4. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN del agregado**

CONDICIONES DEL CONTENIDO DE AIRE	ASENTAMIENTO cm	AGUA EN Kg/m <sup>3</sup> DE CONCRETO PARA LOS TMN DEL AGREGADO INDICADOS							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	****
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	***
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

Fuente: Tecnología del cemento y del mortero

Para un asentamiento de 3 a 5 cm y un TMN 3/4 " la cantidad de agua necesaria es de 185 Kg/m<sup>3</sup>

➤ **RELACION AGUA / CEMENTO (a/c)**

Se Diseña un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> o 3000 psi para el cual se una relación agua/cemento de 0.52.

**Tabla 5. Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS EN kg / cm <sup>2</sup> (psi)	CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE  RELACION ABSOLUTA POR PESO	CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE  RELACION ABSOLUTA POR PESO
175 (2 500)	0,65	0,56
210 (3 000)	0,58	0,5
245 (3 500)	0,52	0,46
280 (4 000)	0,47	0,42
315 (4 500)	0,43	0,38
350 (5 000)	0,40	0,35

Fuente: Tecnología del cemento y del mortero

➤ **CALCULAR EL CONTENIDO DE CEMENTO**

$$C = \frac{a}{a/c}$$

$$C = \frac{185}{0.52}$$

$$C = 355.76 \text{ Kg}$$

➤ **CALCULO DEL AGREGADO GRUESO**

Para calcular el agregado grueso primero se debe calcular lo que se obtiene a partir de la masa unitaria compacta (MUC) y de la densidad aparente de la grava (dg).

$$bo = \frac{MUC}{dg}$$

$$bo = \frac{1.605}{2.55}$$

$$bo = 0.629$$

**Tabla 6. Volumen de gravilla por unidad de volumen de concreto (b/bo)**

Máximo tamaño nominal de agregados		Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
		MODULO DE FINURA			
Pulgadas	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	12,50	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,10	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,40	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,10	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,80	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,10	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,40	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Tecnología del cemento y del mortero

Se entra a la tabla con el MF y TMN, se interpola y se obtiene el  $(b / bo) = 0.52$ , ya con esto se calcula B que es el volumen de agregado grueso necesario para preparar 1 m<sup>3</sup> de concreto.

$$B = \left(\frac{b}{bo}\right) * bo$$

$$B = 0.52 * 0.629$$

$$B = 0.327$$

Ahora calcularemos la masa del agregado grueso

$$d = \frac{m}{v}$$

$$m = 0.327 * 2.55$$

$$m = 0.83385 * 1000$$

$$m = 833.85 \text{ Kg}$$

**Tabla 7. Diseño de mezcla**

<b>MATERIALES PARA PREPARAR 1 M<sup>3</sup> DE CONCRETO</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>Cantidad ( Kg )</b>	<b>Densidad</b>	<b>Volumen ( m<sup>3</sup> )</b>
<b>Cemento</b>	355.76	2.910	0.1222
<b>Agua</b>	185	1000	0.185
<b>Agregado Fino</b>	895.10	2.59	0.3456
<b>Agregado Grueso</b>	834.36	2.55	0.3272
<b>Aire</b>	0	0	0.02

Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

Esta tabla resume las cantidades necesarias para preparar 1 m<sup>3</sup> de concreto. A continuación se procede a determinar la cantidad de 30 cilindros de concreto normal con unas dimensiones de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura para ser ensayados a compresión.

### **VOLUMEN DEL CILINDRO**

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{cilindro} = \pi * 0.05^2 * 0.20$$

$$V_{cilindro} = 0.00157m^3$$

Para la muestra de 30 cilindros

$$V_{cilindros} = 0.00157m^3 * 30$$

$$V_{cilindros} = 0.0471m^3$$

Volumen del material necesario para las muestras incluyendo el desperdicio

$$V_{material} = 0.0471m^3 * 1.25$$

$$V_{material} = 0.059m^3$$

**Tabla 8. Cantidades para cada porcentaje de plástico**

CANTIDADES PARA 10% AGREGADO PLASTICO	
CEMENTO	20,98 Kg
AGUA	10,91 L
AGREGADO FINO	52,81 Kg
AGREGADO GRUESO	44,30 Kg
PLASTICO	4,92 Kg

CANTIDADES PARA 20% AGREGADO PLASTICO	
CEMENTO	20,98 Kg
AGUA	10,91 L
AGREGADO FINO	52,81 Kg
AGREGADO GRUESO	39,38 Kg
PLASTICO	9,84 Kg

CANTIDADES PARA 30% AGREGADO PLASTICO	
CEMENTO	20,98 Kg
AGUA	10,91 L
AGREGADO FINO	52,81 Kg
AGREGADO GRUESO	34,45 Kg
PLASTICO	14,76 Kg

- **PROCESO CONSTRUCTIVO DE CILINDROS DE CONCRETO**

A continuación se explicara de manera detallada el procedimiento para la realización de los cilindros de concreto que posteriormente serán ensayados a los 7, 14 y 28 días para determinar su resistencia.

Herramientas:

- Moldes de acero
- Varilla de acero redonda
- Mazo de hule
- Pala, palustre, cucharon
- Recipientes

**Figura 52. Pesar material necesario para llenar los moldes**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

## **PROCEDIMIENTO**

- Sobre una superficie horizontal, se coloca el molde teniendo en cuenta que está esta nivelada.
- Utilizando el cucharon, se coloca el concreto en tres capas uniformes en el molde.

- Con la varilla de acero se compacta cada capa con 25 penetraciones uniformemente por el cilindro.

**Figura 53. Llenado y compactación**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

- Se vibra golpeando el molde de 10 a 15 veces por capa evitando que quede aire en la mezcla.

**Figura 54. Vibrado para eliminar burbujas de aire**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

- Con el palustre enrazamos el molde evitando el exceso de mezcla.

**Figura 55. Cilindros terminados**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

- Se deja secar la mezcla

**Figura 56. Desencofrado**



Fuente: Rojas. Emerson y Rueda. Ricardo.

- Se marca los cilindros con la información necesaria
- Se sumerge completamente en agua los cilindros para el curado.
- Terminado el tiempo de curado, los cilindros están listos para realizar los respectivos ensayos.

,

## 7. RESULTADOS OBTENIDOS

### 7.1 MASAS UNITARIAS INV – 405

Tabla 9. 1.1. Masas Unitarias INV – 405

ARENA		
Peso molde (g)	3079	
Volumen Molde (cm <sup>3</sup> )	4972,85	
	SUELTA	COMPACTA
Masa molde y agregado	10511	11522
Masa molde y agregado	10592	11471
Masa molde y agregado	10607	11465
Masa promedio	10570	11486
Masa agregado fino	7491	8407
Masa Unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	1,506	1,690

TRITURADO		
Peso molde (g)	3079	
Volumen Molde (cm <sup>3</sup> )	4972,85	
	SUELTA	COMPACTA
Masa molde y agregado	10481	11064
Masa molde y agregado	10560	11060
Masa molde y agregado	10666	11070
Masa promedio	10569	11064,7
Masa agregado fino	7490	7985,7
Masa Unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	1,506	1,605

PLÁSTICO		
Peso molde (g)	3079	
Volumen Molde (cm <sup>3</sup> )	4972,85	
	<b>SUELTA</b>	<b>COMPACTA</b>
Masa molde y agregado	5296	5515
Masa molde y agregado	5346	5536
Masa molde y agregado	5323	5541
Masa promedio	5321,66	5530,66
Masa agregado fino	2242,66	2451,66
Masa Unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	0,451	0,493

## 7.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS INV E – 222

Tabla 10. Peso específico y absorción de agregados finos INV E – 222

NOMBRE	UNIDAD	VALOR
Peso al aire de la muestra desecada (A)	<b>g</b>	489,4
Peso al picnómetro aforado lleno de agua (B)	<b>g</b>	638,8
<b>Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua ( C )</b>	<b>g</b>	946,2
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (S)	<b>g</b>	500

### PESO ESPECIFICO

Gravedad especifica aparente $23/23^{\circ}\text{C}=(A/(B+A-C))$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,69
Gravedadespecifica bulk S:S:S: $23/23^{\circ}\text{C}=(S/(B+S-C))$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,59
Gravedad especifica bulk $23/23^{\circ}\text{C}=(A/(B+S-C))$	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2,54
Absorción $((S-A)/A)*100$	<b>%</b>	2,16

### 7.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INV E - 223

Tabla 11. Peso específico y absorción de agregados gruesos INV E -223

NOMBRE	UNIDAD	VALOR
(A)= Masa en el aire de la muestra seca (g)	g	2615,6
(B)= Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)	g	2639
( C )= Masa sumergida en el agua de la muestra saturada (G)	g	1606

#### PESO ESPECIFICO

Gsa 23°C/23°C=(A/(A-C)) (Gravedad específica aparente)	g/cm <sup>3</sup>	2,59
Gsb 23°C/23° S:S:S: =(B/(B-C)) (Gravedad específica bulk)	g/cm <sup>3</sup>	2,55
Gsb 23°C/23°C= (A/(B-C)) (gravedad específica bulk)	g/cm <sup>3</sup>	2,53
Porcentaje de absorción ((B-A)/A)	%	0,89

### 7.4 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS

Tabla 12. Granulometría de agregados gruesos

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS				
PESO INICIAL 3221,8 GRAMOS				
Tamiz	Peso Ret	% Retenido	% RetAcumulado	%Pasa Total
1 1/2"	0	0	0	100
1"	21,6	0,67	0,67	99,33
3/4"	253	7,85	8,59	91,48
1/2"	312	9,68	18,2	81,8
3/8"	856,8	26,56	44,76	55,24
No. 4	1629,6	50,58	95,34	4,66
No. 8	79,6	2,47	97,81	2,19
FONDO	69,2	2,19	100	0
PESO FINAL	3321,8			

TM: Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

TMN: El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

TM = 1 ½"

TMN = ¾"

## 7.5 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS

Tabla 13. Granulometría de agregados finos

GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS				
PESO INICIAL 3232,8 GRAMOS				
Tamiz	Peso Ret	% Retenido	% Ret Total	%Pasa Total
3/8"	259	8,01	8,01	91,99
No.4	240	7,42	15,43	84,57
No.8	476,2	14,73	30,16	69,84
No.16	822,4	25,44	55,6	44,4
No.30	774,4	23,95	79,55	20,45
No.50	528,4	16,34	95,89	4,11
100	90,2	2,8	98,69	1,31
200	31,4	0,98	99,67	0,33
FONDO	10,8	0,33	100	0
TOTAL	3232,8			

Calculo del Módulo de Finura (MF):

$$MF = \frac{\sum \%retenido\_acumulado(6''+3''+1\frac{1}{2}''+\frac{3}{4}''+\frac{3}{8}''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = (8.01 + 15.43 + 30.16 + 55.6 + 79.55 + 95.89 + 98.69) / 100$$

$$MF = 3.83$$

## 7.6 GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PLÁSTICO

Tabla 14. Granulometría de agregado plástico

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS PLASTICO				
PESO INICIAL 1828.0				
Tamiz	Peso Ret	% Retenido	% Ret Total	%Pasa Total
1/2	75.9	4.15	4.15	95.85
3/8	362.0	19.80	23.95	76.05
4	1049.4	57.41	81.36	18.64
8	325.4	17.80	99.16	0.84
FONDO	15.4	0.84	100	0
TOTAL	1828.0			

## 7.7 CONSISTENCIA NORMAL CEMENTO PORTLAND

Tabla 15. Consistencia normal cemento Portland

Prueba	Cemento (gr)	Agua (ml)	Penetración (mm)
1	500	130	6
2	500	135	7
3	500	140	8
4	500	145	10

## 7.8 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO

V inicial = 0.2 mm

V final = 22.2 mm

M = 64 gr

$$d = \frac{m}{V_{final} - V_{inicial}}$$

$$d = \frac{64}{(22.2 - 0.2)}$$

$$d = 2.910$$

## 7.9 TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO

Tabla 16. Tiempos de fraguado del cemento hidráulico

HORA	PENETRACION (mm)	TEMPERATURA
9:50	40	22
10:05	40	22
10:20	40	22
10:35	40	22
10:50	40	22
11:05	40	22
11:20	40	22
11:35	40	22
11:50	38	22
12:05	28	22
12:20	25	22
12:35	20	22

HORA	PENETRACION (mm)	TEMPERATURA
12:50	4	22
13:05	3	22
13:20	2	22
13:35	1	22
13:50	0,5	22
14:05	0	22

TIEMPO DE FREGUADO INICIAL = 12:20

TIEMPO DE FRAGUADO FINAL = 14:05

## 7.10 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LADRILLOS CON MATERIAL RECICLADO

Tabla 17. Propiedades físicas de los ladrillos con material reciclado

LADRILLO No.	DIMENSIONES			Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
	Lado (cm)	Lado (cm)	Altura (cm)		
1	24,5	12,5	7	6225	2,904
2	24,3	12,5	7,5	5804	2,548
3	24,5	12,5	7,2	5581	2,531
4	24,5	12,5	7,5	6359	2,769
5	24,5	12,4	7	5517	2,594
6	24,5	12,4	7,2	5616	2,567
7	24,5	12,4	7,1	6328	2,934
8	24,7	12,5	7,1	5744	2,620
9	24,5	12,6	7,1	5500	2,509
10	24,5	12,5	7,2	5718	2,593
11	25	12,6	7	5429	2,462
12	24,5	12,5	7,2	5672	2,572
13	24,5	12,5	7,2	5531	2,508
14	24,5	12,6	7,1	5670	2,587
15	24,7	12,5	7,2	5708	2,568
16	25	12,5	7,5	5654	2,412
17	24,5	12,5	7,2	5980	2,712

LADRILLO No.	DIMENSIONES			Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
	Lado (cm)	Lado (cm)	Altura (cm)		
18	24,5	12,5	7,3	5859	2,621
19	24,5	12,6	7	5462	2,528
20	24,5	12,4	7	5356	2,519
21	24,5	12,4	7,2	5674	2,594
22	24,5	12,6	7,1	5782	2,638
23	24,5	12,5	7,1	5408	2,487
24	24,5	12,5	7,2	5190	2,354
25	24,5	12,5	7	5240	2,444
26	24,5	12,5	7,2	6051	2,744
27	24,5	12,5	7,1	5501	2,530
28	24,5	12,5	7,2	5715	2,592
29	24,6	12,5	7,1	5861	2,685
30	24,5	12,5	7,2	5540	2,512

## 7.11 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

### 7.11.1 Cilindros en concreto normal

Tabla 18. Cilindros en concreto normal

FECHA DE FUNDICIÓN: 18 Febrero 2014

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg <sup>2</sup> )	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
D 01	10,2	20,2	3930	111,45	12,6655	25054,9519	1978,2027
D 02	10,2	20	3847	103,99	12,6655	23377,8775	1845,7900
D 03	10,2	20,2	3848	127,79	12,6655	28728,3293	2268,2326
D 04	10,2	20,2	3877	117,69	12,6655	26457,7594	2088,9607
D 05	10,2	20,3	3927	113,18	12,6655	25443,8713	2008,9096
D 06	10	20,3	3900	106,89	12,1737	24029,8233	1973,9136
D 07	10,2	20,2	3880	117,79	12,6655	26480,2403	2090,7357
<b>PROMEDIO</b>							<b>2036,3921</b>

7 DIAS

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
D 08	10,1	20	3850	180,36	12,4184	40546,5332	3265,0402
D 09	10,2	20	3920	170,21	12,6655	38264,7229	3021,1743
D 10	10,2	20,1	3895	167,69	12,6655	37698,2044	2976,4451
D 11	10,1	20,1	3910	168,04	12,4184	37776,8876	3042,0124
D 12	10,2	20,1	3856	185,48	12,6655	41697,5548	3292,2120
D 13	10,2	20	3875	176,32	12,6655	39638,3052	3129,6249
D 14	10	20,1	3894	161,86	12,1737	36387,5686	2989,0322
<b>PROMEDIO</b>							<b>3102,2201</b>

28 DIAS

### 7.11.2 Cilindros con 10% de agregado plástico

**Tabla 19. Cilindros con 10% de agregado plástico**

FECHA DE FUNDICION: 24 Enero 2014

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
A 01	10,1	20,2	3608	87,74	12,4184	19724,7329	1588,3490
A 02	10,2	20,2	3623	95,47	12,6655	21462,5057	1694,5627
A 03	10,2	20,4	3615	94,23	12,6655	21183,7426	1672,5530
A 04	10,2	20,3	3651	90,4	12,6655	20322,7246	1604,5717
A 05	10,2	20,5	3648	93,78	12,6655	21082,5786	1664,5657
A 06	10,2	2,1	3625	90,7	12,6655	20390,1672	1609,8966
A 07	10,2	20,1	3576	94,87	12,6655	21327,6203	1683,9128
A 08	10,2	20	3592	94,58	12,6655	21262,4258	1678,7654
A 09	10,2	20	3595	94,87	12,6655	21327,6203	1683,9128
A 10	10,2	20,1	3616	88,67	12,6655	19933,8052	1573,8648
<b>PROMEDIO</b>							<b>1645,4955</b>

7 DIAS

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
A 11	10,2	20,5	3637	124,68	12,6655	28029,1737	2213,0310
A 12	10,1	20,2	3537	122,5	12,4184	27539,0903	2217,6060
A 13	10,2	20,1	3645	128,59	12,6655	28908,1765	2282,4323
A 14	10,2	20,2	3633	119,38	12,6655	26837,6865	2118,9577
A 15	10,1	20,2	3646	116,27	12,4184	26138,5308	2104,8249
A 16	10,2	20,5	3655	120,98	12,6655	27197,3807	2147,3572
A 17	10,2	20,4	3568	114,03	12,6655	25634,9589	2023,9969

14 DIAS

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
A 18	10,2	20,3	3641	115,88	12,6655	26050,8553	2056,8338
A 19	10,2	20,2	3657	124,2	12,6655	27921,2654	2204,5112
A 20	10,2	20,3	3610	116,92	12,6655	26284,6566	2075,2935
<b>PROMEDIO</b>							<b>2144,4844</b>

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
A 21	10,2	20,2	3606	154,28	12,6655	34683,5171	2738,4218
A 22	10,2	20,1	3632	149,71	12,6655	33656,1404	2657,3057
A 23	10,2	20,2	3712	160,44	12,6655	36068,3399	2847,7598
A 24	10,1	20,2	3542	164,29	12,4184	36933,8542	2974,1265
A 25	10,2	20,2	3689	169,32	12,6655	38064,6429	3005,3771
A 26	10,2	20,2	3680	157,07	12,6655	35310,7339	2787,9434
A 27	10,2	20,1	3612	153,31	12,6655	34465,4525	2721,2046
A 28	10,2	20,2	3508	165,94	12,6655	37304,7889	2945,3831
A 29	10,1	20	3628	150,7	12,4184	33878,7012	2728,1080
A 30	10,2	20,2	3642	148,26	12,6655	33330,1675	2631,5687
<b>PROMEDIO</b>							<b>2803,7199</b>

### 7.11.3 Cilindros con 20% de agregado plástico

Tabla 20. Cilindros con 20% de agregado plástico

FECHA DE FUNDICION: 28 de Enero 2014

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (PSI)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
B 01	10,2	20,4	3433	83,11	12,6655	18683,8677	1475,1765
B 02	10,3	20,2	3332	81,86	12,9151	18402,8566	1424,9130
B 03	10,2	20,2	3370	80,86	12,6655	18178,0477	1435,2397
B 04	10,2	20,2	3466	85,92	12,6655	19315,5807	1525,0531
B 05	10,4	20	3333	83,41	13,1671	18751,3103	1424,1066
B 06	10,2	20,5	3402	84,62	12,6655	19023,3291	1501,9785
B 07	10,2	20	3331	80,13	12,6655	18013,9372	1422,2825
B 08	10,2	20,2	3404	79,43	12,6655	17856,5709	1409,8577
B 09	10,2	20	3342	85,32	12,6655	19180,6953	1514,4033
B 10	10,2	20,2	3378	79,43	12,6655	17856,5709	1409,8577
<b>PROMEDIO</b>							<b>1454,2869</b>

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
B 11	10,2	20,3	3399	117,25	12,6655	26358,8435	2081,1508
B 12	10,2	20,5	3385	123,93	12,6655	27860,5670	2199,7188
B 13	10,2	20,2	3416	119,75	12,6655	26920,8658	2125,5251
B 14	10,2	20,4	3405	110,7	12,6655	24886,3452	1964,8904
B 15	10,2	20	3338	121,14	12,6655	27233,3501	2150,1971
B 16	10,2	20,2	3455	121,49	12,6655	27312,0333	2156,4095
B 17	10	20,2	3278	117,8	12,1737	26482,4884	2175,3861
B 18	10,2	20,2	3420	114,39	12,6655	25715,8901	2030,3867
B 19	10,2	20,5	3438	124,66	12,6655	28024,6775	2212,6760
B 20	10	20,5	3415	119,53	12,1737	26871,4078	2207,3336
<b>PROMEDIO</b>							<b>2130,3674</b>

14 DIAS

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
B 21	10,1	20,3	3468	138,29	12,4184	31088,8228	2503,4509
B 22	10,1	20,2	3449	131,54	12,4184	29571,3627	2381,2563
B 23	10,2	20,2	3342	148,77	12,6655	33444,8201	2640,6210
B 24	10,2	20,2	3345	149,36	12,6655	33577,4573	2651,0933
B 25	10	20,3	3336	151,28	12,1737	34009,0904	2793,6537
B 26	10,2	20,1	3345	150,44	12,6655	33820,2509	2670,2630
B 27	10,1	20,2	3405	150,45	12,4184	33822,4990	2723,5823
B 28	10,2	20,1	3410	151,16	12,6655	33982,1133	2683,0427
B 29	10,2	20,2	3430	144,41	12,6655	32464,6532	2563,2324
B 30	10,2	20,1	3458	134,31	12,6655	30194,0834	2383,9605
<b>PROMEDIO</b>							<b>2599,4156</b>

28 DIAS

### 7.11.4 Cilindros con 30% de agregado plástico

**Tabla 21. Cilindros con 30% de agregado plástico**

FECHA DE FUNDICION: 31 de Enero 2014

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (PSI)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
C 01	10,2	20,4	3204	82,41	12,6655	18526,5014	1462,7517
C 02	10,2	20,3	3222	85,3	12,6655	19176,1992	1514,0483
C 03	10,2	20,2	3181	73,18	12,6655	16451,5153	1298,9221
C 04	10,1	20,5	3211	87,78	12,4184	19733,7252	1589,0731
C 05	10,2	20,3	3226	83,27	12,6655	18719,8371	1478,0165
C 06	10,2	20,1	3098	77,56	12,6655	17436,1783	1376,6658
C 07	10,1	20,2	3048	78,22	12,4184	17584,5522	1416,0093
C 08	10,2	20,2	3218	76,8	12,6655	17265,3235	1363,1760
C 09	10,2	20,4	3139	84,56	12,6655	19009,8406	1500,9136
C 10	10,1	20,3	3166	77,74	12,4184	17476,6439	1407,3199
<b>PROMEDIO</b>							<b>1440,6896</b>

7 DIAS

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
C 11	10,2	20,3	3215	106,87	12,6655	24025,3271	1896,9091
C 12	10,2	20,5	3239	108,19	12,6655	24322,0749	1920,3387
C 13	10,2	20,2	3133	102,42	12,6655	23024,9275	1817,9230
C 14	10,2	20,2	3158	110,96	12,6655	24944,7955	1969,5053
C 15	10,2	20,5	3225	118,09	12,6655	26547,6830	2096,0606
C 16	10	20,5	3210	111,07	12,1737	24969,5245	2051,1047
C 17	10	20,5	3206	108,9	12,1737	24481,6892	2011,0318
C 18	10,2	20,2	3185	113,19	12,6655	25446,1194	2009,0871
C 19	10,2	20,5	3250	115,71	12,6655	26012,6378	2053,8163
C 20	10,2	20,2	3204	114,18	12,6655	25668,6802	2026,6593
<b>PROMEDIO</b>							<b>1985,2436</b>

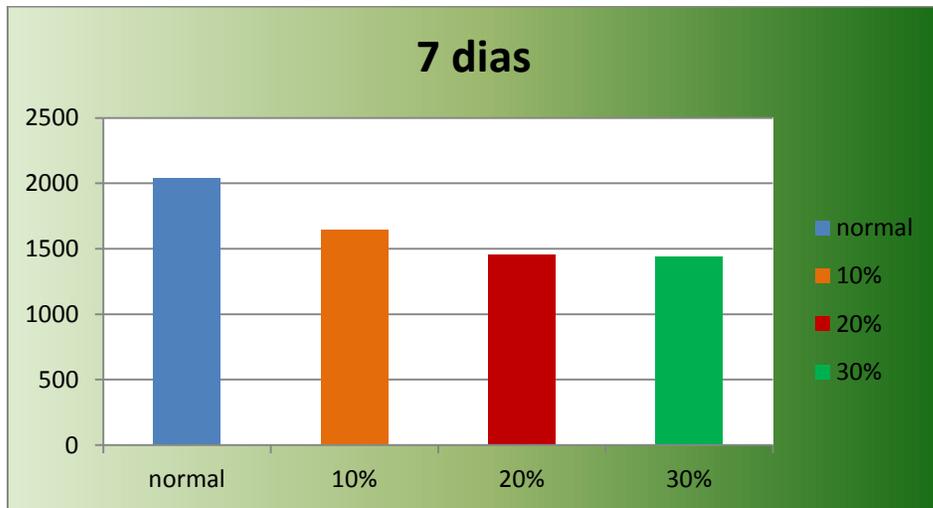
14 DIAS

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
C 21	10,2	20,2	3268	140,57	12,6655	31601,3871	2495,0736
C 22	10,2	20,2	3249	141,13	12,6655	31727,2801	2505,0134
C 23	10,2	20,2	3226	138,09	12,6655	31043,8610	2451,0543
C 24	10,2	20,3	3197	140,52	12,6655	31590,1466	2494,1861
C 25	10,1	20,2	3228	138,91	12,4184	31228,2043	2514,6747

28 DIAS

MUESTRA	D (cm)	H (cm)	PESO (gr)	CARGA (KN)	AREA (pulg^2)	CARGA (Lb.f)	RESISTENCIA
C 26	10,2	20,5	3160	142,69	12,6655	32077,9819	2532,7029
C 27	10,1	20,3	3205	135,66	12,4184	30497,5754	2455,8403
C 28	10,1	20,2	3225	144,54	12,4184	32493,8784	2616,5941
C 29	10,2	20,4	3262	137,64	12,6655	30942,6970	2443,0670
C 30	10,2	20,3	3229	135,28	12,6655	30412,1480	2401,1777
<b>PROMEDIO</b>							<b>2490,9384</b>

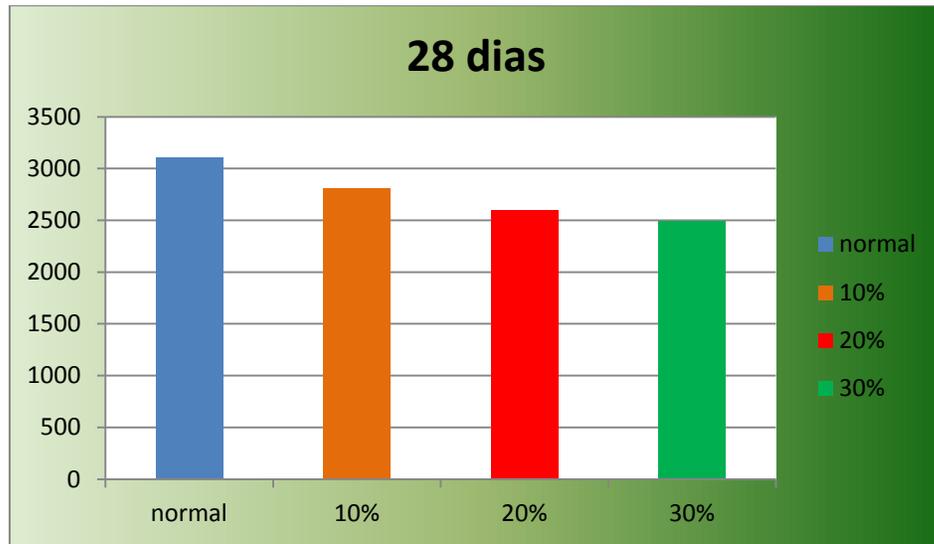
**Gráfica 1. Compresión 7 días**



**Gráfica 2. Compresión 14 días**



**Gráfica 3. Compresión 28 días**



### 7.12 ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

**Tabla 22. Ensayo resistencia a la compresión de unidades de mampostería**

MUESTRA	L (cm)	ANCHO	H (cm)	PESO	CARGA (Kn)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.f)	RESISTENCIA kg.f/cm <sup>2</sup>
1	24,5	12,5	7	6225	205,1	171,5000	20920,2	121,98
2	24,3	12,5	7,5	5804	189,74	182,2500	19353,48	106,19
3	24,5	12,5	7,2	5581	200,93	176,4000	20494,86	116,18
4	24,5	12,5	7,5	6359	214,79	183,7500	21908,58	119,23
5	24,5	12,4	7	5517	203,04	171,5000	20710,08	120,76
6	24,5	12,4	7,2	5616	208,98	176,4000	21315,96	120,84
7	24,5	12,4	7,1	6328	173,68	173,9500	17715,36	101,84
8	24,7	12,5	7,1	5744	235,82	175,3700	24053,64	137,16
9	24,5	12,6	7,1	5500	245,72	173,9500	25063,44	144,08
10	24,5	12,5	7,2	5718	202,49	176,4000	20653,98	117,09
11	25	12,6	7	5429	217,27	175,0000	22161,54	126,64
12	24,5	12,5	7,2	5672	220,47	176,4000	22487,94	127,48
13	24,5	12,5	7,2	5531	251,84	176,4000	25687,68	145,62
14	24,5	12,6	7,1	5670	222,54	173,9500	22699,08	130,49

MUESTRA	L (cm)	ANCHO	H (cm)	PESO	CARGA (Kn)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg.f)	RESISTENCIA kg.f/cm <sup>2</sup>
15	24,7	12,5	7,2	5708	260,07	177,8400	26527,14	149,16
16	25	12,5	7,5	5654	179,15	187,5000	18273,3	97,46
17	24,5	12,5	7,2	5980	179,19	176,4000	18277,38	103,61
18	24,5	12,5	7,3	5859	202,35	178,8500	20639,7	115,40
19	24,5	12,6	7	5462	195,58	171,5000	19949,16	116,32
20	24,5	12,4	7	5356	193,97	171,5000	19784,94	115,36
21	24,5	12,4	7,2	5674	215,01	176,4000	21931,02	124,33
22	24,5	12,6	7,1	5782	196,11	173,9500	20003,22	114,99
23	24,5	12,5	7,1	5408	182,13	173,9500	18577,26	106,80
24	24,5	12,5	7,2	5190	172,88	176,4000	17633,76	99,96
25	24,5	12,5	7	5240	197,69	171,5000	20164,38	117,58
26	24,5	12,5	7,2	6051	178,25	176,4000	18181,5	103,07
27	24,5	12,5	7,1	5501	239,91	173,9500	24470,82	140,68
28	24,5	12,5	7,2	5715	173,48	176,4000	17694,96	100,31
29	24,6	12,5	7,1	5861	177,58	174,6600	18113,16	103,71
30	24,5	12,5	7,2	5540	162,16	176,4000	16540,32	93,77
PROMEDIO								117,94

**Tabla 23. Resistencia a la compresión de ladrillos en concreto normal NTC 4026**

Resistencia a la compresión a los 28d (Rc28), evaluada sobre el área neta promedio (Anp)				
Minimo, Mpa			Kg/cm <sup>2</sup>	
clase	promedio de 3 unidades	Individual	promedio de 3 unidades	Individual
Alta	13	11	127,4507	107,8429
Baja	8	7	78,4312	68,6273

Fuente Norma Técnica Colombiana NTC 4026

## 8. ANALISIS DE RESULTADOS

- Para las tres mezclas realizadas con diferentes porcentajes de material plástico y comparando las edades de los especímenes se observa que al aumentar la cantidad de plástico en la mezcla la resistencia disminuye considerablemente.
- Comparando las diferentes mezclas con el concreto normal a los 7 días la mezcla con un 10% de material plástico disminuyo su resistencia en 19.20%, la mezcla con un 20% disminuyo 28.59% y la mezcla con 30% de material plástico disminuyo un 29.56%, a los 28 días la disminución en la resistencia fue 9.63%, 16.21% y 19.71% respectivamente.
- Comparando la densidad entre un ladrillo con material reciclado y uno de concreto normal, se observa que los ladrillos con material reciclado son más ligeros lo que lleva que la estructura sea más liviana.
- Una buena opción para el uso de estos ladrillos con material reciclado, es la construcción de muros divisorios o cerramientos no portantes ya que no hacen parte de la resistencia estructural y ayudan al medio ambiente, fomentando la reutilización de los residuos plásticos.

## 9. CONCLUSIONES

- Al realizar los diferentes ensayos para determinar el comportamiento mecánico de los ladrillos, se concluyó que a mayor cantidad de material plástico la resistencia a la compresión disminuyó.
- Realizando los ensayos de caracterización de los materiales utilizados se concluyó que el diseño de la mezcla adecuado para la fabricación de estos ladrillos fue:

**Tabla 24. Materiales para preparar 1 m<sup>3</sup> de concreto**

<b>MATERIALES PARA PREPARAR 1 M<sup>3</sup> DE CONCRETO</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>Cantidad ( Kg )</b>	<b>Densidad</b>	<b>Volumen ( m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cemento</b>	355.76	2.910	0.1222
<b>Agua</b>	185	1000	0.185
<b>Agregado Fino</b>	895.10	2.59	0.3456
<b>Agregado Grueso</b>	834.36	2.55	0.3272
<b>Aire</b>	0	0	0.02

- Se determinaron las densidades de los ladrillos con material reciclado encontrando densidades entre 2,354 y 2,934 para los ladrillos con 10 % de material reciclado.
- Se encontró que los ladrillos con material reciclados resultaron ser más ligeros lo que lleva que la estructura sea más liviana y por consiguiente haya un ahorro en el refuerzo de la misma, ya que disminuye el peso propio.
- Comparando los ladrillos de concreto normal según NTC 4026,(ver tabla 9) con los ladrillos de concreto reciclado, se observó que los ladrillos en concreto

reciclado con respecto a los de concreto normal, presentan una disminución en su resistencia de un 7,46%.

## BIBLIOGRAFÍA

ASTM C 29/C 29M-97, Standard Test Method for Bulk density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, Vol 04.02 American Standards of Testing of Materials, Edition 2003.

BERNAL CONDIA, Rosa Isabel. Diseño e implementación de una planta piloto para la elaboración de membranas de fibra hueca de polipropileno. Tesis. Universidad Industrial de Santander. 2014. Pag

CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante aguja de VICAT. NTC 118.

CEMEX COLOMBIA. Concretos especiales, 2014, [en línea] disponible en: <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/ConcretosEspeciales.aspx>, [Citado el 12 junio de 2014]

COMPONENTES PARA TRANSFERENCIAS TECNOLÓGICAS. Nuevos materiales para mampuestos con plásticos reciclados. 2014. [en línea] disponible en: <http://www.ceve.org.ar/ttplasticos.html>. [citado el 14 de junio de 2014]

CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO. Concreto lanzado: prospectiva parte II. [en línea] disponible en: [http://www.revistacyt.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=104:concreto-lanzado-prospectiva-parte-ii&catid=12&Itemid=113](http://www.revistacyt.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=104:concreto-lanzado-prospectiva-parte-ii&catid=12&Itemid=113) [Citado el 12 junio de 2014]

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Tipos de reciclado [en línea] disponible en: [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/reciclado\\_auto/tiposdereciclado.htm](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/reciclado_auto/tiposdereciclado.htm) [citado el 13 de junio de 2014].

ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y OBRAS VIALES Sistemas de estabilización de taludes y obras viales [en línea] disponible en: <http://estabilizaciondetaludesyobrasviales.blogspot.com/2013/06/estabilizacion-de-taludes-y-obras-viales.html> [Citado el 14 junio de 2014]

GEOTESC Archivos de tags: concreto sustentável [en línea] disponible en: <http://www.geotesc.com.br/site/tag/concreto-sustentavel/> [Citado el 12 junio de 2014]

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS I.N.V. E - 222 – 07

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS I.N.V. E - 223 – 07

HERNÁNDEZ MORALES, Mónica Patricia, y ORJUELA GÓMEZ, Miguel Andrés. Estudio de las rutas de síntesis de poliuretanos a través del tratamiento químico de polietileno tereftalato, (pet) post-consumo. Pág. 9.

HORMIGÓN COLOMBIA S.A Y IMCYC. Conceptos básicos del concreto. Diciembre 2004.

INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. NTC 221.

INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. Cementos. Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico. NTC 110.

MARZUA. Blox; bloques de cementos y materiales reciclados [en línea] disponible en: <http://marzua.blogspot.com/2013/02/blox-bloques-de-cemento-y-materiales.html> [citado el 18 de junio de 2014]

MEDIO AMBIENTALES. Ladrillos con botellas de plástico [en línea] disponible en: <http://medioambientales.com/ladrillos-con-botellas-de-plastico/> [citado el 14 de junio de 2014]

MENDOZA, Carlos Javier, AIRE Carlos, y DÁVILA Paula. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. [en línea] disponible en: [http://www.imcyc.com/ccid/pdf/ene-jun11\\_3.pdf](http://www.imcyc.com/ccid/pdf/ene-jun11_3.pdf). [citado el 22 de mayo de 2014]

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. NTC 673.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Determinación de la finura del cemento portland por medio del turbidímetro. NTC 597.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado NTC 1522.

NOTAS DE CONCRETO. Exposición del concreto al agua del mar [en línea] disponible en: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/exposicion-del-concreto-al-agua-del-mar.html> [Citado el 12 junio de 2014]

NOTICONCRETO VIRTUAL. Concretos claros y la seguridad vial en túneles [en línea] disponible en: [http://www.asocreto.org.co/noticreto/noticreto\\_98.html](http://www.asocreto.org.co/noticreto/noticreto_98.html) [Citado el 12 junio de 2014]

PREZI. Copy of efecto del medio salino en morteros modificados con fibra-metalica [en línea] disponible en: <http://prezi.com/vxbymkmcoxvg/copy-of-efecto-del-medio-salino-en-morteros-modificados-con-fibra-metalica/> [citado el 14 de junio de 2014]

PROYECTO 1-GRUPO 1 RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES Entrega #2 [en línea] disponible en: <http://proyecto1reciclaje-grupo1.blogspot.com/2012/10/entrega-2.html> [citado el 20 de junio de 2014]

QUIMINET Recicla polipropileno y ayuda al medio ambiente [en línea] disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/recicla-polipropileno-y-ayuda-al-medio-ambiente-3502073.htm> [citado el 13 de junio de 2014].

QUIMINET. Todo acerca del polipropileno [en línea] disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/todo-acerca-del-polipropileno-4455.htm> [citado el 24 de junio de 2014]

REFRACERAN. Hormigones y morteros. [en línea] disponible: <http://refraceram.com/es/productos/3/hormigones-y-morteros> [citado el 14 de junio de 2014]

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del cemento y del mortero. Quinta edición. Bhandar Editores Ltda. 2001.

TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS Polipropileno [en línea] disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>. [citado el 13 de junio de 2014].

TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS Polipropileno [en línea] disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>. [citado el 13 junio de 2014].

TODO PRODUCTIVIDAD. Reciclaje de plásticos: Envases de polipropileno [en línea] disponible en: <http://todoproductividad.blogspot.com/2012/04/reciclaje-de-plasticos-envases-de.html> [citado el 13 de junio de 2014].

URDANETACMC1EPR14 Reciclado mecánico [en línea] disponible en: <http://urdanetacmc1epr14.wikispaces.com/4.3+Reciclado+mec%C3%A1nico> [citado el 16 de junio de 2014]

VERDIGO. ¿Cuánto tiempo se tardan las cosas en degradarse? [en línea] disponible en: [http://verdi-go.blogspot.com/2011\\_03\\_01\\_archive.html](http://verdi-go.blogspot.com/2011_03_01_archive.html) [citado el 24 de junio de 2014]

ZABALA PÉREZ, Omar Humberto, y SÁNCHEZ NEIRA, Oscar Javier. Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un mortero modificado con pet reciclado. Tesis. Universidad Industrial de Santander. 2006. Pág. 9.