

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE UN
MORTERO MODIFICADO CON PET RECICLADO**

**OMAR HUMBERTO ZABALA PÉREZ
OSCAR JAVIER SÁNCHEZ NEIRA 6711769**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN
MORTERO MODIFICADO CON PET RECICLADO**

**OMAR HUMBERTO ZABALA PÉREZ
OSCAR JAVIER SÁNCHEZ NEIRA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Químico**

**Director
ÁLVARO RAMÍREZ GARCÍA Ph. D.
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

Este trabajo lo dedico a Dios y mi madre quien con su apoyo y paciencia contribuyo para hacer posible esta meta.

OMAR HUMERTO ZABALA PEREZ

A Dios mi amigo fiel, por estar siempre y calmar mis angustias

A Mamá mi mayor razón para seguir en busca de la consecución de nuevos proyectos y metas.

A todos y cada uno de los miembros de mi familia por ser mi fuente de inspiración y creer siempre en mi.

A Martha, Arnulfo y Sergio por acogerme como un miembro más en su familia y brindarme un nuevo hogar en estos años.

A la familia Muñoz, familia Remolina, Pablina y Asencion por su apoyo y colaboración siempre incondicional.

A zulma mas que mi novia, mi amiga una voz de aliento un abrazo que brinda siempre seguridad.

A Papá por su apoyo y ser quien colocase la primera piedra e iniciar así con la tarea.

Me extendería a través de muchas líneas tratando de reconocer aquellos seres que de alguna manera han contribuido para alcanzar este logro, así que para todos y cada uno de ellos de igual manera va dirigida esta dedicatoria y mi más sincera voz de agradecimiento...

OSCAR JAVIER SÁNCHEZ NEIRA

RESUMEN

TITULO:

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN MORTERO MODIFICADO CON PET RECICLADO

AUTORES:

OMAR HUMBERTO ZABALA PÉREZ
OSCAR JAVIER SÁNCHEZ NEIRA **

PALABRAS CLAVES:

Impacto ambiental, mortero de cemento, agregado, dosificación, propiedades físico-mecánicas, PET.

DESCRIPCION:

Debido a la necesidad de disminuir el impacto ambiental ocasionado por el PET en nuestra sociedad, hemos querido involucrar parte de estos residuos sólidos previo tratamiento de reciclaje, como material de relleno en la elaboración de morteros para la construcción buscando de esta manera su aprovechamiento para mejorar las propiedades físico-mecánicas del material puesto en obra.

Para tal fin se llevaron a cabo una serie de ensayos experimentales en los cuales quisimos comprobar lo óptimo que podría resultar el incluir el PET reciclado como agregado fino en sustitución de la arena, en los diseños de mezcla propuestos los cuales se fallaron buscando determinar su resistencia a la compresión, flexión, tracción, además, su comportamiento poroso, permeable y su absorción capilar.

Los resultados obtenidos fueron comparados con las propiedades presentadas tras fallar las probetas con un diseño de mortero normal (sin PET). Estos revelaron que el uso del PET reciclado como alternativa de agregado fino en el diseño de morteros de cemento puede resultar muy ventajoso no solo para el medio ambiente como tal sino para las propiedades y características finales del material, siempre y cuando se manejen las dosificaciones adecuadas y un tamaño de partícula apropiado.

Son variadas las aplicaciones o usos que puede presentar este diseño de mortero, para nombrar algunas: elaboración de bloques o ladrillos, pega de unidades de mampostería y baldosines, pisos y frisos. Es necesario subrayar que el PET por sus características aislantes tanto térmicas como eléctricas podría imprimir parte de estas propiedades sobre las mezclas finales.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela Ingeniería Química. Director Álvaro Ramírez García

SUMMARY

TITLE:

ANALYSIS OF THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF A MODIFIED MORTAR WITH RECYCLED PET*

AUTHORS:

OMAR HUMBERTO ZABALA PÉREZ, OSCAR JAVIER SÁNCHEZ NEIRA**

KEY WORDS

Impact environmental, Cement mortar, Attaché, Dosage, Physical-mechanical properties, PET.

DESCRIPTION

Due to the necessity of diminishing the environmental impact caused by the PET in our society, we have wanted to involve part of these residuals accustomed to previous recycle treatment, as filler material in the elaboration of mortars for the construction looking for this way their use to improve the physical-mechanical properties of the on material in work.

For such an end they were carried out a series of experimental rehearsals in which we wanted to check the good thing that it could turn out including the PET recycled as fine attaché in substitution of the sand, in the proposed mixture designs which were failed looking for to determine their resistance to the compression, flexion, traction, also, their porous, permeable behavior and their capillary absorption.

The obtained results were compared with the properties presented after failing the test tubes with a design of normal mortar (without PET). These revealed that the use of the PET recycled as alternative of fine attaché in the design of cement mortars can be very advantageous not alone for the environment like such but for the properties and final characteristics of the material, provided the appropriate dosages and an appropriate particle size are managed.

They are varied the applications or uses that can present this mortar design, for example: elaboration of blocks or bricks, glue of masonry units and tiles, floors and friezes. It's necessary to underline that the PET for it's insulating characteristics so much thermal as electric it could print part of these properties on the final mixtures.

* Work of degree

** Faculty of Physical-Chemistry Engineerings. School Chemical Engineering. Director Alvaro Ramirez García

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 DESCRIPCIÓN MORTERO	4
1.1.1 Propiedades del mortero en estado plástico (fresco).	4
1.1.2 Propiedades del mortero en estado endurecido.	5
1.1.3 Clasificación De Los Morteros.	7
1.2 POLIETILEN TEREFALATO "PET"	8
1.2.1 Reutilización Del Pet Reciclado	9
1.2.2 Aplicación De Pet Reciclado	9
1.2.3 Características	10
1.2.4 Datos Técnicos	11
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	12
2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	12
2.2 DISEÑO DE LA MEZCLA DE MORTERO	12
2.2.1 Caracterización de los materiales empleados	12
2.2.2 Diseño De Mezcla.	14

2.3 Pruebas De Laboratorio	17
2.3.1 Ensayo de Compresión.	18
2.3.2 Ensayo de Flexión.	19
2.3.3 Ensayo de tracción.	20
2.3.4 Ensayo de Porosidad.	21
2.3.5 Ensayo de Permeabilidad.	22
2.3.6 Ensayo de Absorción Capilar.	23
3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
3.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN	25
3.2 ENSAYO DE FLEXIÓN	28
3.3 ENSAYO DE TRACCIÓN	31
3.4 ENSAYO DE POROSIDAD	34
3.5 ENSAYO DE PERMEABILIDAD	36
3.6 ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR	39
3.7 APLICACIONES	44
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFIA	50

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Factores de Degradación del Concreto y Mortero	6
Tabla 2. Usos de los morteros de cemento	8
Tabla 3. Propiedades PET	11
Tabla 4. Relación entre % de Fluidez y Relación a/c	15
Tabla 5. Contenido De Materiales Por Metro Cúbico	15
Tabla 6. Mezcla De Mortero Con 5% De Pet	16
Tabla 7. Mezcla De Mortero Con 15% De Pet	16
Tabla 8. Mezcla De Mortero Con 30% De Pet	16
Tabla 9. Nomenclatura	17
Tabla 10. Ensayos Realizados durante la Investigación	17

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura PET	11
Figura 2. Moldes y probetas	14
Figura 3. Máquina universal de ensayos TREBEL	18
Figura 4. Montaje ensayo de flexión	19
Figura 5. Montaje ensayo de tracción	20
Figura 6. Porosímetro de Campo Ruska	21
Figura 7. Permeámetro de Gas Ruska	22
Figura 8. Montaje ensayo absorción capilar	23
Figura 9. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo para el Tamaño T10	25
Figura 10. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo para el Tamaño T20	26
Figura 11. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo para el Tamaño T30	26
Figura 12. Resistencia a la Compresión vs. Contenido de PET a los 28 Días	27
Figura 13. Variación de la Resistencia a la Compresión a los 28 Días	28
Figura 14. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo para el Tamaño T10	29
Figura 15. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo para el Tamaño T20	29
Figura 16. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo para el Tamaño T30	30
Figura 17. Resistencia a la Flexión vs. Contenido de PET a los 28 Días	30
Figura 18. Variación de la Resistencia a la Flexión a los 28 Días	31
Figura 19. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo para el Tamaño T10	32

Figura 20. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo para el Tamaño T20	32
Figura 21. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo para el Tamaño T30	33
Figura 22. Resistencia a la Tracción vs. Contenido de PET a los 28 días	33
Figura 23. Variación de la Resistencia a la Tracción a los 28 Días	34
Figura 24. Valores de Porosidad vs. Contenido de PET	35
Figura 25. Valores de Porosidad para cada uno de los tipos de mortero	35
Figura 26. Porcentaje de la Variación de la Porosidad	36
Figura 27. Valores de Permeabilidad vs. Contenido de PET	37
Figura 28. Valores de Permeabilidad para cada uno de los tipos de mortero	38
Figura 29. Porcentaje de la Variación de la Permeabilidad	39
Figura 30. Absorción Capilar por unidad de área Vs. Tiempo para el Tamaño T10	40
Figura 31. Absorción Capilar por unidad de área vs. Tiempo para el Tamaño T20	40
Figura 32. Absorción Capilar por unidad de área Vs. Tiempo para el Tamaño T30	41
Figura 33. Valores de Resistencia a la Penetración del Agua (m) para cada tipo de mortero	41
Figura 34. Valores de Absorción Capilar (k) para cada tipo de mortero	42
Figura 35. Valores de Porosidad (ϵ) para cada tipo de mortero	42
Figura 36. Valores de Absortividad (s) para cada tipo de mortero	43
Figura 37. Frisos y pisos	44

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Aplicaciones de Morteros según su Fluidéz	53
Anexo B. Reciclaje y Reuso del Plástico	54
Anexo C. Pruebas Preliminares Del Cemento Pórtland (PAZ DEL RIO)	57
Anexo D. Pruebas Preliminares Arena	61
Anexo E . tratamiento y análisis del PET	64
Anexo F. Procedimiento experimental porosímetro de campo Ruska	65
Anexo G. Procedimiento experimental Permeámetro de gas Ruska	67
Anexo H. Absorción capilar procedimiento experimental	68
Anexo I. Ladrillos y bloques	69

INTRODUCCIÓN

El hombre como ente evolucionado, siempre ha buscado la explotación de todos los recursos que estén a su alcance, además cuando son catalogados como desechos, cualquier aplicación que conlleve a un nuevo uso es favorable.

En la mayor parte de los materiales de desecho existe un valor intrínseco en su capacidad de ser nuevamente utilizados, en algunos casos se necesita poca inversión en procesos de tratamiento de separación y producción con lo que pueden resultar económicamente viables y se disminuyen igualmente algunos inconvenientes ecológicos importantes.

Sabiendo que los desechos de polietilentereftalato (PET) están inundando las ciudades, contaminando el medio ambiente y alterando el equilibrio ecológico, pensamos que podrían ser materia prima de un nuevo reproceso e integrarlos nuevamente a un ciclo productivo.

Este trabajo continúa una línea de investigación como es el estudio de las características del mortero modificado por adición de PET reciclado como agregado fino a diferentes tamaños de granulometría. Se busca establecer una aplicación de este residuo en la industria de la construcción

En la fase experimental se caracterizaran los materiales, se diseñan y preparan diversas mezclas y se realizaran las pruebas físico-mecánicas más determinantes como son la resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción, así como pruebas de absorción capilar, porosidad y permeabilidad.

Referente a los resultados obtenidos, nos daremos cuenta que en general las variaciones no son tan significativas, propondremos un uso acorde al material de relleno.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físico-mecánicas de un mortero modificado con PET reciclado como relleno, comparando sus propiedades con otros diseños de morteros propuestos, buscando la mejor aplicación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar concentraciones adecuadas para obtener un material de construcción con resistencia físico-mecánica muy similar al mortero normal.

Caracterizar físico-mecánicamente los morteros modificados, a través de ensayos de compresión, tracción, flexión, porosidad, permeabilidad.

Aprovechar el manejo dado al plástico reciclado como una alternativa para reducir el impacto ambiental ocasionado por estos residuos sólidos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 DESCRIPCIÓN MORTERO

Es primordial en nuestra investigación el estudio a fondo de los morteros, ya que esto nos permitirá conocer las características esenciales de estas mezclas, con el fin de descubrir las ventajas y desventajas que se lograrán al adicionar partículas de PET en diferentes porcentajes y granulometrías, teniendo como punto de referencia los morteros tradicionales y algunos desarrollados con otros materiales tales como vidrio y material magnético.

El mortero es una mezcla plástica de cemento, agua, arena y aditivos, dependiendo de la dosificación, ofrece la trabajabilidad y resistencia suficiente para ser utilizado básicamente en cuatro aplicaciones:

- Recubrimiento de muros y pisos
- Relleno de mampostería estructural
- Pega de unidades de mampostería.
- Eventualmente en pisos

1.1.1 Propiedades del mortero en estado plástico (fresco).

Retención de agua: Mide la capacidad del mortero de mantener plasticidad al ponerse al contacto con una superficie absorbente.

Trabajabilidad: Facilidad de colocación de la mezcla. Se utiliza como medida de la manejabilidad, la fluidez de la mezcla medida en el ensayo de la mesa de flujo. De los factores que influyen en la fluidez se puede nombrar los siguientes:

relación agua / cemento, relación cemento / arena y granulometría de la arena, entre otros.(ver anexo a)

Para la fabricación de las probetas que se utilizarán en los diferentes ensayos, se escogió una consistencia media plástica de 110% que corresponde a un mortero para pega de unidades de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos en proporciones 1:3.

Velocidad de endurecimiento: Tasa de evaporación del agua de la mezcla en función del tiempo. Varía según:

- Tipo de curado
- Humedad de la mezcla
- Diseño de la mezcla
- Humedad del ambiente

1.1.2 Propiedades del mortero en estado endurecido.

Retracción: Cambios de volumen en la masa de mortero, debido a las reacciones químicas que ocurren en el momento de la dilatación, y que pueden ocasionar grietas y fisuras. Causas:

- Superficies absorbentes
- Viento
- Elevadas temperaturas

Adherencia: Capacidad del mortero para soportar cargas normales y tangenciales a las superficies de contacto.

Resistencia: Respuesta de las estructuras de mortero al ser sometida a diferentes requerimientos de carga, tales como:

- Compresión
- Flexión
- Tracción

Durabilidad: En un mortero la durabilidad se refiere a la capacidad de resistir a agentes externos como la temperatura, la penetración del agua, el desgaste por abrasión, la retracción al secado, agentes corrosivos (ambientes agresivos), y ciclos de congelamiento y descongelamiento, etc.

Tabla 1. Factores de Degradación del Concreto y Mortero.

Agentes Atmosféricos	<i>Radiación:</i> solar, nuclear y térmica <i>Calor:</i> elevadas o bajas temperaturas o ciclos térmicos <i>Agua:</i> sólida (hielo-nieve); líquida (lluvia y condensación); <i>vapor</i> (humedad relativa) <i>Aire:</i> gases, nieblas, partículas sólidas <i>Congelación y Deshielo.</i> <i>Viento.</i>
Factores Biológicos	Microorganismos, fungicidas y bacterias.
Factores de Carga	Cargas sostenidas y periódicas, acción física del agua y del viento, acciones combinadas
Factores incompatibles	Químicos y Físicos
Factores de Servicio	Diseño, instalaciones y procedimientos de mantenimiento, desgaste y vandalismo.

1.1.3 Clasificación De Los Morteros.

Tipo de composición: se basa en la clasificación según el tipo de material distintivo en la fabricación del mortero. Algunos son:

- Morteros de cemento: es el tipo de mortero más usado, su principal característica es su alta resistencia y durabilidad.
- Morteros calcáreos: su componente aglutinante es la cal, se caracteriza por su manejabilidad; su uso es muy limitado en nuestro país.
- Mortero combinado: sus elementos aglutinantes son el cemento Pórtland y la cal hidratada. Esta mezcla se caracteriza por poseer una buena manejabilidad y una resistencia aceptable.
- Mortero celular: se caracteriza por la incorporación de aire, adición de espuma o cascarilla de arroz. Su principal propiedad es su bajo peso.
- Mortero polimérico: se caracteriza por poseer propiedades plásticas.

Tipo de preparación

- Mortero premezclado
- Mortero preparado in situ

Tipo de función que cumplen

Mortero sin función estructural o morteros de recubrimiento; sirven para:

- Friso o pañete
- Retención de agua
- Pega de enchapes

Mortero con función estructural:

- Morteros para elementos estructurales
- Morteros de mampostería
- Morteros de pega

Tabla 2. Usos de los morteros de cemento

MORTEROS	USOS
1:1	Mortero muy rico para Impermeabilizaciones y rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanque subterráneos, rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 Y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 Y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler muy pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

1.2 POLIETILEN- TEREF TALATO “PET”

El PET es un polímero que presenta alta resistencia mecánica, baja densidad y baja conducción de la electricidad y calor, siempre y cuando la temperatura no exceda la transición vítrea. Éstas son propiedades excelentes para

utilizarlos como aislantes térmicos y eléctricos. También presentan una buena resistencia a los ácidos, álcalis y solventes¹².

Los residuos de materiales sólidos no reciclados, como el PET, afectan el medio ambiente, ocasionan problemas de salubridad, incendios y accidentes; por ello, se hace necesario desarrollar tecnologías de reutilización de dicho material con la finalidad de preservar los recursos naturales, mantener un equilibrio ambiental y generar desarrollo económico. Infortunadamente, en el medio sólo se recicla en pequeñas cantidades, ya que económicamente no es viable su reciclaje.

1.2.1 Reutilización Del Pet Reciclado. Desde hace algunos años se vienen desarrollando soluciones innovadoras para resolver el problema de disposición de PET usado. Nuevos métodos para el reciclaje, reutilización o reducción de envases podrían ayudar a aliviar el problema de los depósitos de este plástico.

En Bucaramanga, un pequeño porcentaje del PET de desecho es reciclado y enviado a Medellín y Bogotá para su proceso de reutilización, pero el mayor porcentaje va a parar a los rellenos sanitarios, a los basureros ilegales y, por lo general, a cualquier espacio público de la ciudad, generando contaminación y problemas de salubridad.

1.2.2 Aplicación De Pet Reciclado. El uso de este plástico en la actualidad se limita a la fabricación de fibras textiles, piezas técnicas y nuevos envases, en algunos países europeos estos envases son incinerados con recuperación de energía (producción de electricidad), aprovechando su valor energético.

¹ Revista del Plástico Moderno. 40 Ed. 1990, p. 552 – 558.

En Argentina, se han realizado investigaciones para adecuarlo como material de agregado en la fabricación de mezclas de hormigón obteniendo resultados satisfactorios.

1.2.3 Características. Si bien existen más de cien tipos de plásticos para reciclaje, los más comunes son sólo seis, y se los identifica con un número dentro de un triángulo a los efectos de facilitar su clasificación para el reciclado, ya que las características diferentes de los plásticos exigen generalmente un reciclaje por separado (Véase el Anexo B)².

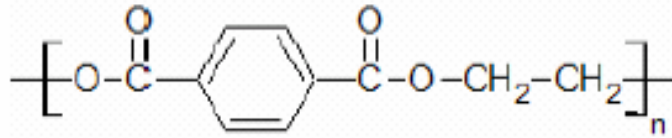
El PET pertenece al grupo de los materiales sintéticos denominados poliésteres, se conoce desde 1941 gracias a los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras como sustituto para el algodón proveniente de Egipto. A partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 comenzó a emplearse en forma de film para el empaque de alimentos, pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976; pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para el embotellado de bebidas carbonatadas.

El PET es una resina poliéster de glicol etilénico y ácido tereftálico, derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático³:

² El PET (polietileno-tereftalato) posee la ventaja de ser el material polimérico No.1 en reciclado y además tiene excelentes propiedades mecánicas,

³ CABALLERO, Pedro Alberto, RAMÍREZ GARCÍA, Alvaro y BUITRAGO, Juan de Jesús. Tesis: Mejoramiento de las Propiedades del Concreto Mediante la Adición de un Material Polimérico. Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1975.

Figura 1. Estructura PET



Fuente. www.plastivida.com.ar

1.2.4 Datos Técnicos

Tabla 3. Propiedades PET

Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C	1.07
Punto de fusión °C	aprox. 252/260
Acetaldehído	ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos	mval/Kg. 20
Densidad aparente [g/ml] aprox.	0.85

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Iniciamos con la caracterización de todos los materiales, cemento (peso específico, consistencia normal y tiempo de fraguado); agregados finos (masa unitaria, peso específico, contenido de materia orgánica, absorción).

Se seleccionaron tres tamaños de partículas diferentes del plástico reciclado con el fin de establecer el efecto del tamaño del agregado sobre las propiedades de la matriz del mortero. Dentro de la formulación de la mezcla se escogieron tres porcentajes de adición de pet respecto al volumen de agregado y se midieron algunas propiedades mecánicas.

2.2 DISEÑO DE LA MEZCLA DE MORTERO

2.2.1 Caracterización de los materiales empleados. En el desarrollo de este trabajo se aplicaron normas vigentes del país, (NTC) e internacionales (ASTM).

Cemento. Se utilizó un cemento hidráulico, producido por “Cementos Paz del Río”, referenciado como Pórtland Tipo I, en su presentación de 50 Kg., con los siguientes datos:

Peso Específico (NTC 221)

Tiempo de fraguado (NTC 118)

Consistencia normal del Cemento (NTC 110) (Véase el Anexo C)

Encargado de brindar la mayor parte de la resistencia al mortero, siendo igualmente el primer agente conglomerante del conjunto.

Arena: Es el producto de la desintegración de las rocas por procesos mecánicos, debido a fenómenos naturales y artificiales; se acumulan en lugares llamados arenales y playas. Están formadas por un conjunto incoherente de granos de diversa forma, composición química y tamaño comprendidos entre los 0.074 mm y los 4.76 mm.

La arena utilizada proviene de los depósitos de sedimentos en las riveras del río Chicamocha. La caracterización de la arena se hizo mediante los siguientes ensayos:

- Tamizado de materiales granulados (Norma NTC 77).
- Método para determinar la masa unitaria de los agregados (Norma NTC 92).
- Método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros u hormigones (Norma NTC127).
- Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos (Norma NTC 237) (Véase el Anexo D).

POLIETILEN-TEREFTALATO PET: Este material proviene de los envases plásticos desechados por la comunidad universitaria (UIS), durante los meses de agosto y septiembre del año 2005.

Este material fue Lavado, Posteriormente se realizó un proceso de secado al ambiente durante dos horas, luego fue sometido a un proceso de reducción de tamaño., un molino de quijadas, para poderlas llevar luego a un molino de cuchillas (ver fotografías).Seguidamente se tamizaron muestras de 1000 g

durante 30 minutos para finalmente separar las partículas retenidas en las mallas (8, 10, 20, 30, 50 y bandeja).

Se escogió el material retenido en los tamices 10, 20 y 30 ya que presentaron mayores porcentajes de acumulado retenido en la distribución granulométrica.

Las pruebas realizadas a este material son:

- Tamizado de materiales granulados (Norma NTC 77)

Agua: del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, por lo tanto no fue necesario hacer análisis químicos, dada su reconocida calidad; esta misma es empleada por las obras de construcción y en usada en la preparación de morteros y concretos.

2.2.2 Diseño De Mezcla.

Figura 2. Moldes y probetas



La dosificación utilizada en la presente investigación es 1:3 en peso, con un contenido de agua según la relación Agua / cemento de 0.65 para alcanzar una fluidez correspondiente al estado plástico (100-120%).

Las proporciones de mortero en peso son:

0.65: 1: 3 (A: C: F)

Calculo del contenido de cemento a partir de la siguiente expresión:

$$C = 1000 / [(1/G_c) + (n/G_A) + (A/C)]$$

Donde:

G_c = peso específico del cemento (2.93 gr/ml)

G_A = Densidad aparente seca de la arena (2.53 gr/ml)

n = Proporción arena cemento (3)

A/C = Relación agua/cemento (0.65)

Reemplazando en la ecuación obtenemos:

$$C = 1000 / [(1/2.93) + (3/2.53) + 0.65] = 459.33 \text{ Kg.}$$

$$\text{Arena} = 3 * 459.33 = 1378 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agua} = 0.65 * 459.33 = 298.57 \text{ Kg.}$$

Tabla 4. Relación entre % de Fluidez y Relación a/c

Relación A/C	Rayas	Diámetro	Fluidez (%)
0.55	10,82	148.74	46.40
0.60	20.23	186.98	84.04
0.65	26.61	212.91	109.56
0.70	31.65	233.40	129.72

Tabla 5. Contenido De Materiales Por Metro Cúbico

MATERIAL	PESO SECO Kg.	PESO	VOLUMEN
CEMENTO	459.33	2.93	156.77
ARENA	1378	2.53	544.66
AGUA	298.57	1	298.57
PESO TOTAL	2135.9		1000

Se reemplaza parte del agregado fino por PET, cuyo peso específico es (0.85 gr/ml). Las proporciones reemplazadas son: 5, 15 y 30% del volumen total del fino en la mezcla, por PET reciclado y que es retenido por los tamices 10, 20 y 30.

Tabla 6. Mezcla De Mortero Con 5% De Pet

MATERIAL	PESO SECO Kg.	PESO ESPECIFICO	VOLUMEN Lts
CEMENTO	459.33	2.93	156.77
ARENA	1309.1	2.53	517.43
AGUA	298.57	1	298.57
PET	23.14	0.85	27.23
PESO TOTAL	2090.14		1000

Tabla 7. Mezcla De Mortero Con 15% De Pet

MATERIAL	PESO SECO Kg.	PESO ESPECIFICO	VOLUMEN Lts
CEMENTO	459.33	2.93	156.77
ARENA	1171.3	2.53	462.96
AGUA	298.57	1	298.57
PET	69.44	0.85	81.7
PESO TOTAL	1998.64		1000

Tabla 8. Mezcla De Mortero Con 30% De Pet

MATERIAL	PESO SECO Kg.	PESO ESPECIFICO	VOLUMEN Lts
CEMENTO	459.33	2.93	156.77
ARENA	964.59	2.53	381.3
AGUA	298.57	1	298.57
PET	138.856	0.85	163.36
PESO TOTAL	1861.34		1000

El peso total del mortero por metro cúbico disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de PET en la mezcla, luego es claro la obtención de morteros más livianos.

Tabla 9. Nomenclatura

TAMIZ RETENIDO	%PET	NOMENCLATURA
Ninguno	0	Mortero Normal
	5	T10/5%
10	15	T10/15%
	30	T10/30%
	5	T20/5%
20	15	T20/15%
	30	T20/30%
	5	T30/5%
30	15	T30/15%
	30	T30/30%

Donde T, especifica el tamaño, los números, 10, 20, 30, hacen referencia a la malla, y los números 5, 15, 30 hacen referencia al porcentaje de pet.

2.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

El desarrollo de la fase experimental de esta investigación comprende diversos ensayos (Tabla) de caracterización del mortero adicionado con PET frente a su comportamiento físico mecánico.

Tabla 10. Ensayos Realizados durante la Investigación

ENSAYOS DE LABORATORIO
Compresión Flexión Tracción Porosidad Permeabilidad Absorción capilar

2.3.1 Ensayo de Compresión.

Figura 3. Máquina universal de ensayos TREBEL



Este ensayo mide el comportamiento del mortero de cemento hidráulico, bajo cargas de compresión. Se emplearon probetas en forma de cubos de 50 mm de lado, las cuales fueron fundidas conforme a la norma NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado)⁴. En los procedimientos de mezclado, preparación y almacenamiento de las probetas se respetaron cuidadosamente los requerimientos de la norma. El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL, dentro de los rangos de velocidad y carga permitidas.

En la evaluación de los resultados se debieron tomar en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto a los cubos defectuosos y sus correspondientes valores de aceptación.

⁴ Normas Técnicas Colombianas editores. Segunda edición. 1994. pag. 362-365

2.3.2 Ensayo de Flexión.

Figura 4. Montaje ensayo de flexión



Esta prueba determina la resistencia a la flexión de un mortero de cemento hidráulico. Las probetas empleadas son de una longitud de 16 cm. y una sección cuadrada de 3.555 cm², las cuales fueron fundidas conforme a la norma NTC 120 (Método para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico)⁵, empleando los accesorios correspondientes, tales como molde, compactador, guías del compactador, etc.

El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL, dentro de los rangos de velocidad y carga permitidos. Debido a la dificultad en la consecución del dispositivo para el apoyo de las probetas en el momento de la aplicación de la carga, recomendado por la norma, éste fue reemplazado por un montaje realizado con materiales encontrados en el laboratorio, y que cumple plenamente con la función deseada.

⁵ Normas Técnicas Colombianas editores. Segunda edición. 1994. pag. 356-361

2.3.3 Ensayo de tracción.

Figura 5. Montaje ensayo de tracción



Esta prueba determina el comportamiento del mortero de cemento hidráulico, bajo cargas de tensión. Las probetas utilizadas en este ensayo se deben fallar conforme a la norma NTC 119 (Método para determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico)⁶.

La cantidad de agua empleada debe ser de acuerdo con la norma, modificando el diseño escogido; de otra forma se alteraría la consistencia de las probetas, haciendo imposible el llenado de los moldes y su posterior compactación. Dicha cantidad de agua se selecciona a partir de las proporciones de cemento y arena utilizada, y el porcentaje de agua necesario para producir una pasta de cemento de consistencia normal.

El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL, siendo adaptada a las correspondientes exigencias de la norma NTC 119 cumpliendo los requerimientos necesarios para tal fin y dentro de los rangos de velocidad y carga permitidos. En la evaluación de los resultados se debieron tomar en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto al tratamiento de las probetas y su selección.

⁶ Normas Técnicas Colombianas editores. Segunda edición. 1994. pag. 351-355

2.3.4 Ensayo de Porosidad.

Figura 6. Porosímetro de Campo Ruska



Esta prueba permite determinar la porosidad de muestras de morteros empleando el Porosímetro de campo Ruska⁶.

Esta práctica se basa en la ley de Boyle para determinar la porosidad. Las medidas obtenidas son valores de porosidad efectiva. La determinación de la porosidad consiste en la medida del volumen de sólidos o granos de la muestra seguida por una medida del volumen total de la muestra.

Los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: Porosímetro de campo Ruska, frasco con mercurio, picnómetro y vasija metálica, guantes profilácticos y muestras de mortero previamente preparadas y reseñadas. (Véase el Anexo F).

2.3.5 Ensayo de Permeabilidad.

Figura 7. Permeámetro de Gas Ruska



Este ensayo permite determinar la permeabilidad de morteros, mediante la utilización del Permeámetro de gas Ruska⁷.

La permeabilidad al gas de una muestra de mortero se determina con base en la ley de Darcy (flujo de fluidos), midiendo en un rotámetro la tasa de flujo de un gas que se hace pasar a través de la muestra bajo un gradiente de presión. El gas a utilizar es de viscosidad conocida.

El valor de permeabilidad que se determina en este equipo es de permeabilidad absoluta. La permeabilidad se calcula utilizando el caudal de gas que pasa a través del núcleo, las dimensiones del mismo, el gradiente de presión y la viscosidad del gas.

Los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: Permeámetro de gas Ruska con todos sus accesorios y muestras de mortero previamente preparadas y reseñadas (Véase el Anexo G).

⁷ MANUAL DE ROCAS Y FLUIDOS. Escuela de Ingeniería de Petróleos, UIS.

2.3.6 Ensayo de Absorción Capilar.

Figura 8. Montaje ensayo absorción capilar



Este ensayo permite medir la cinética de absorción de agua en morteros y hormigones. El proceso de absorción capilar se considera como la masa de agua por unidad de área que puede ser absorbida y transmitida por los poros capilares del hormigón cuando éste se encuentra en contacto con el agua.

El método aplicado para evaluar las características de absorción en morteros está basado en la normativa Sueca, mediante Fagerlund, que describe el proceso de absorción de agua en morteros y hormigones a través de tres coeficientes: m (resistencia a la penetración del agua), k (coeficiente de absorción capilar) y ϵ_{θ} (porosidad efectiva).

El ensayo se debe realizar sobre probetas de espesor menores a $H = 50\text{mm}$ (20 – 30 mm), después de un pre-acondicionamiento para reducir la humedad inicial. Independientemente de la forma de succión capilar, horizontal o vertical, se define la relación entre la profundidad de penetración, z (m), y el tiempo t (seg.), como:

$$m = \frac{t}{z^2} (s/m^2)$$
 m representa la resistencia a la penetración del agua, s/m^2 . El coeficiente m puede ser determinado calculando el tiempo requerido

para que el agua ascienda a la cara superior de la probeta; es decir, cuando z corresponde al espesor de la probeta.

La resistencia a la penetración del agua, m , se considera que es función de la estructura del poro más no de la porosidad total. Así con poros más finos, la penetración del agua es más lenta y “ m ” será mayor.

El coeficiente de absorción capilar, k , en $\text{Kg./m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$, está dado por:

$$k = \frac{Q_n - Q_o}{A} * \frac{1}{\sqrt{t}} \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \text{)}$$

El coeficiente de absorción capilar, k , es función de la porosidad total, del estado de humedad inicial y de la estructura de los poros. La porosidad

efectiva, \mathcal{E}_e , se puede calcular como: $\mathcal{E}_e = (k m) / 1000$

Con la anterior información la absorptividad (absorción capilar), S , puede calcularse como:

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}} \text{ (mm/h}^{1/2} \text{) o } \left(\frac{m}{s^{1/2}} \right) \text{ Ver (anexo h)}$$

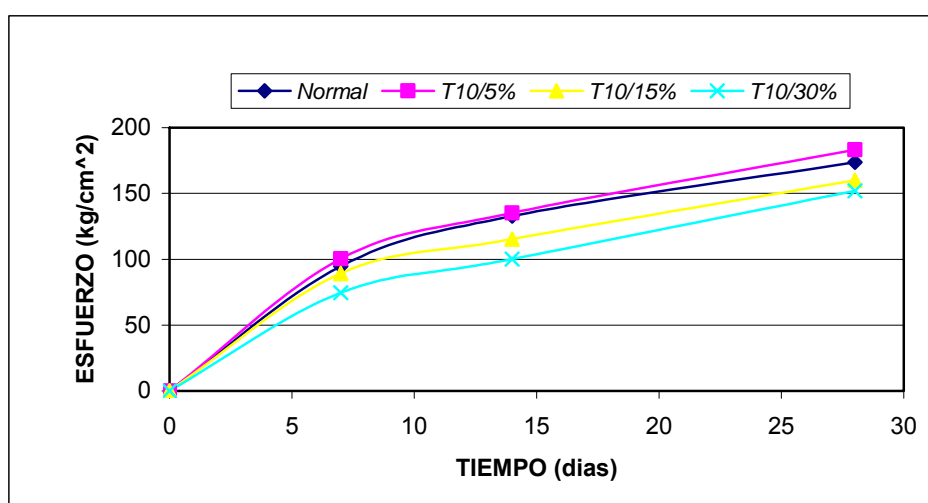
3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Para el análisis de la resistencia a compresión en morteros con adiciones de PET, se fabricaron 6 probetas por cada tipo de muestra y para cada período de curado: 7, 14, y 28 días, para un total de 162 probetas ensayadas.

Los resultados de este ensayo se expresarán en unidades de esfuerzo (Kg. / cm²), calculándolos de la ecuación $d = F / A$, donde, d es el esfuerzo en el mortero, F es la fuerza aplicada y A es el área de la probeta en estudio, 25 cm², correspondiente a cubos de 5 cm. de lado. Las líneas de falla generadas en las probetas se presentan a través de planos inclinados respecto del eje de aplicación de la carga (eje y); esta inclinación se debe a la restricción de movimiento en el sentido perpendicular a la carga (eje x), en las placas de apoyo.

Figura 9. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo para el Tamaño T10



Donde normal hace referencia a un mortero sin PET agregado (0% PET)

Figura 10. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo para el Tamaño T20

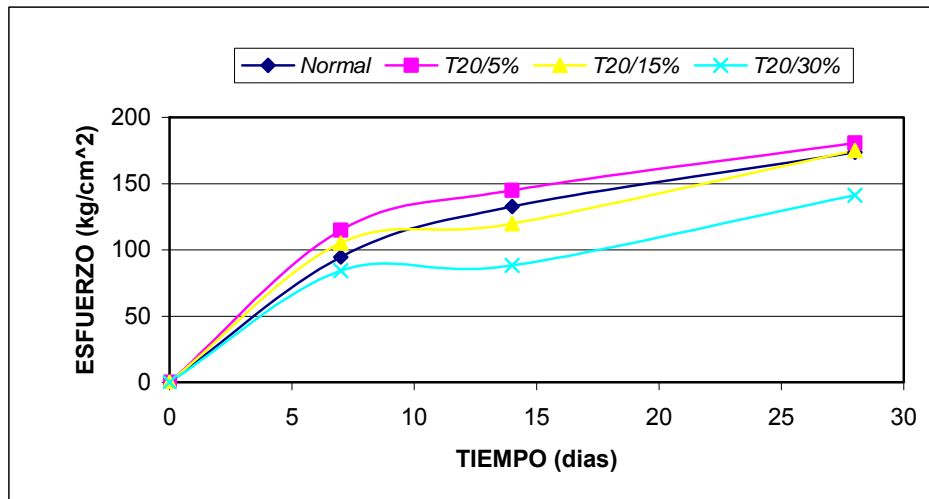


Figura 11. Resistencia a la Compresión vs. Tiempo para el Tamaño T30

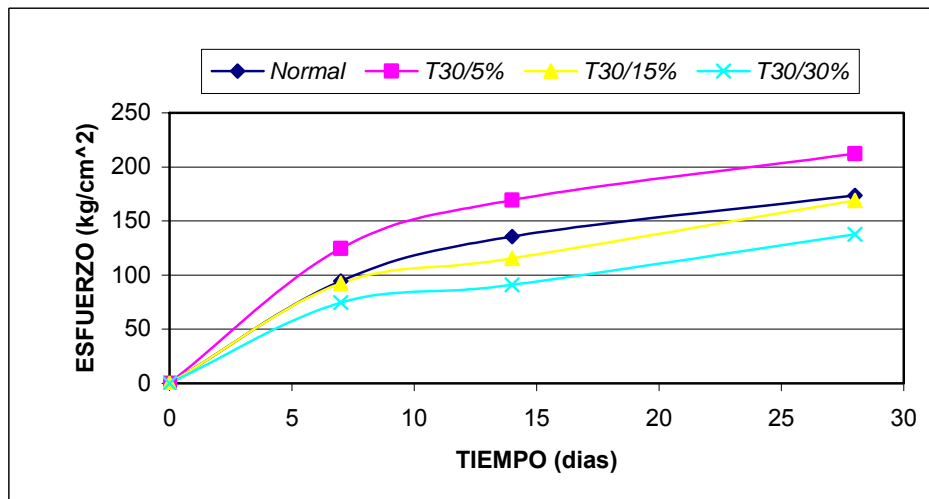
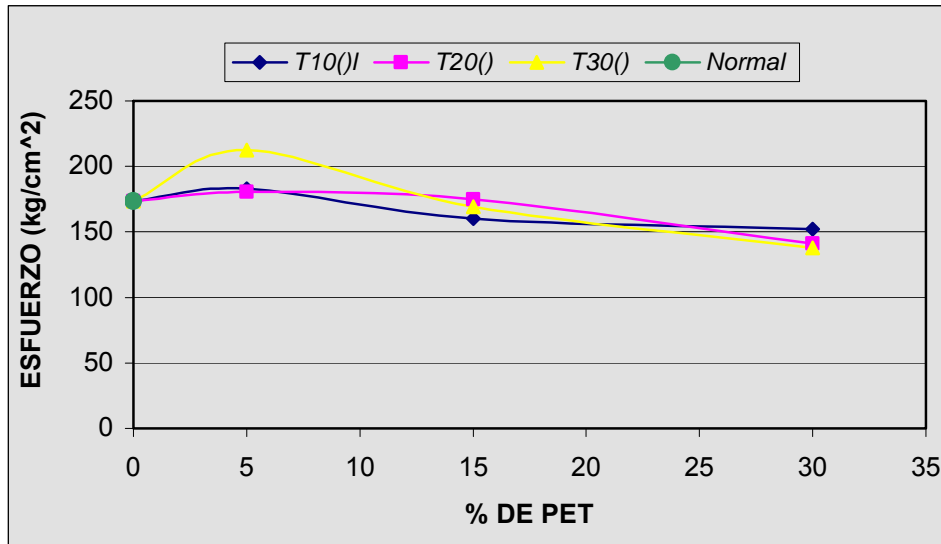


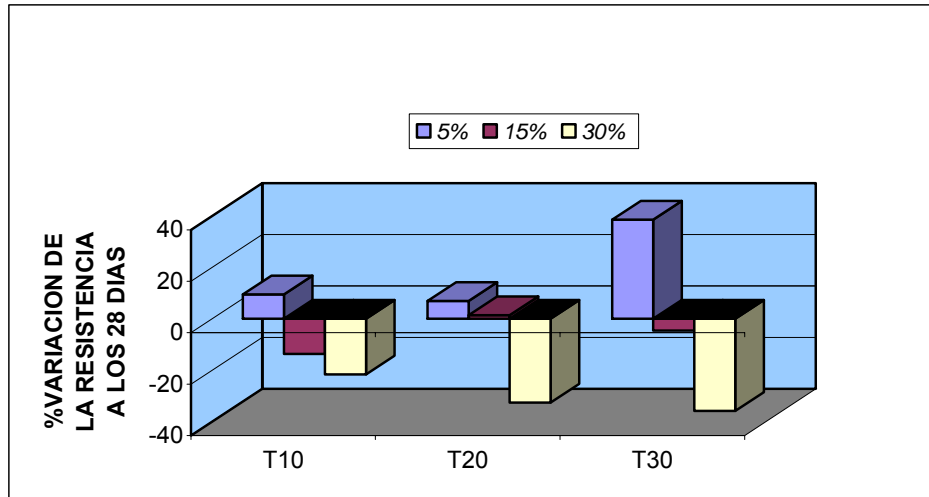
Figura 12. Resistencia a la Compresión vs. Contenido de PET a los 28 Días



Analizando las graficas 9, 10 y 11, se puede concluir que a medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de morteros, disminuye el esfuerzo a la compresión. Las muestras con PET retenido en la malla 30 presentan la mayor resistencia a la compresión. A partir de la grafica 12, se puede concluir que al aumentar el tamaño de las partículas de PET, disminuye la resistencia al esfuerzo de compresión.

El esfuerzo a la compresión para la mezcla de mortero normal, sin adición de PET, a los 28 días fue de 173.7Kg. /cm²; para la mezcla de mortero T30/5%, la cual presentó el mayor esfuerzo a compresión con respecto a los demás tipos de mortero fue de 212,33 Kg. /cm², lo que representa un aumento de 22.23% de la resistencia normal. En las grafica 13, se puede observar la variación de la resistencia a la compresión para los diferentes tipos de mortero con adiciones de PET con respecto al mortero normal.

Figura 13. Variación de la Resistencia a la Compresión a los 28 Días



3.2 ENSAYO DE FLEXIÓN

Para el análisis de la resistencia a flexión en morteros con adiciones de PET se fabricaron 6 probetas por cada tipo de muestra y para un período de curado de: 14, 21 y 28 días, para un total de 162 probetas ensayadas.

Los resultados de este ensayo se expresan en unidades de esfuerzo (Kg.-f/cm²); el valor de resistencia responde al comportamiento de una viga apoyada con una carga central y su cálculo se debe a la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{3 * F * L}{2 * a^3}$$

Donde: δ = Resistencia a la flexión (Kg.-f/cm²)

F = Fuerza aplicada al sistema (Kg.-f)

L = Longitud efectiva entre apoyos (12 cm.)

a = Longitud del lado de sección transversal de la viga (4 cm.)

La falla de este elemento ocurre debido al momento al que se somete la sección transversal del elemento, que genera tracción en las fibras exteriores y opuestas a la aplicación de la carga. La muestra se rompe siguiendo la línea de falla que se muestra.

Figura 14. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo para el Tamaño T10

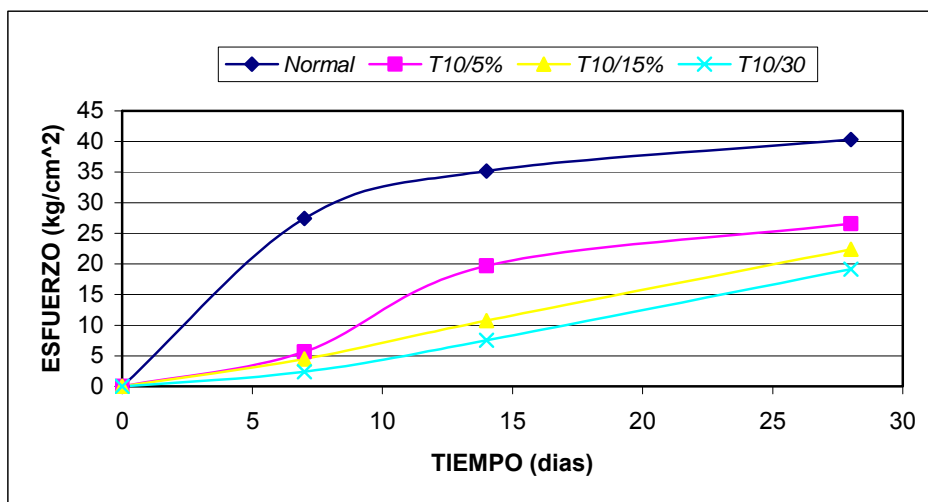


Figura 15. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo para el Tamaño T20

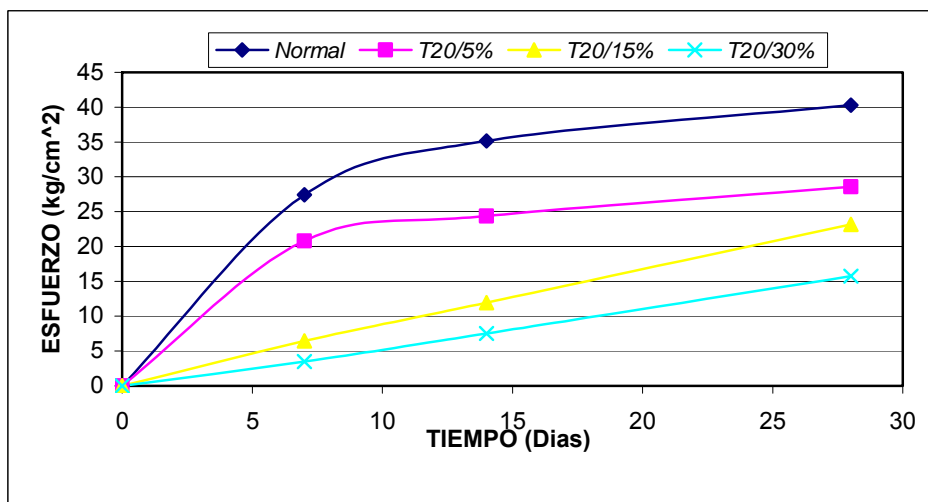


Figura 16. Resistencia a la Flexión vs. Tiempo para el Tamaño T30

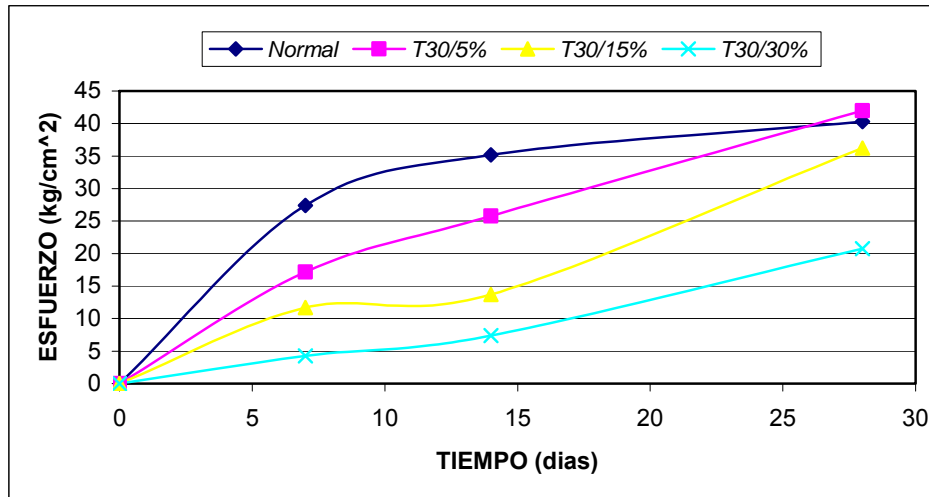
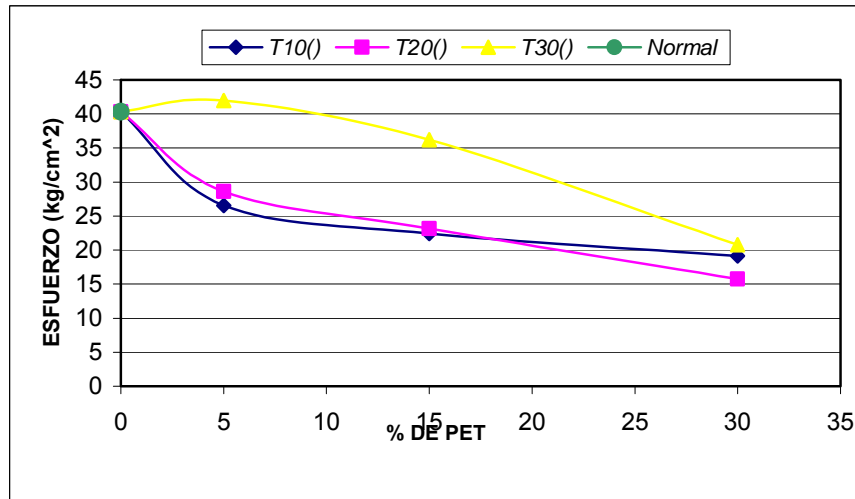


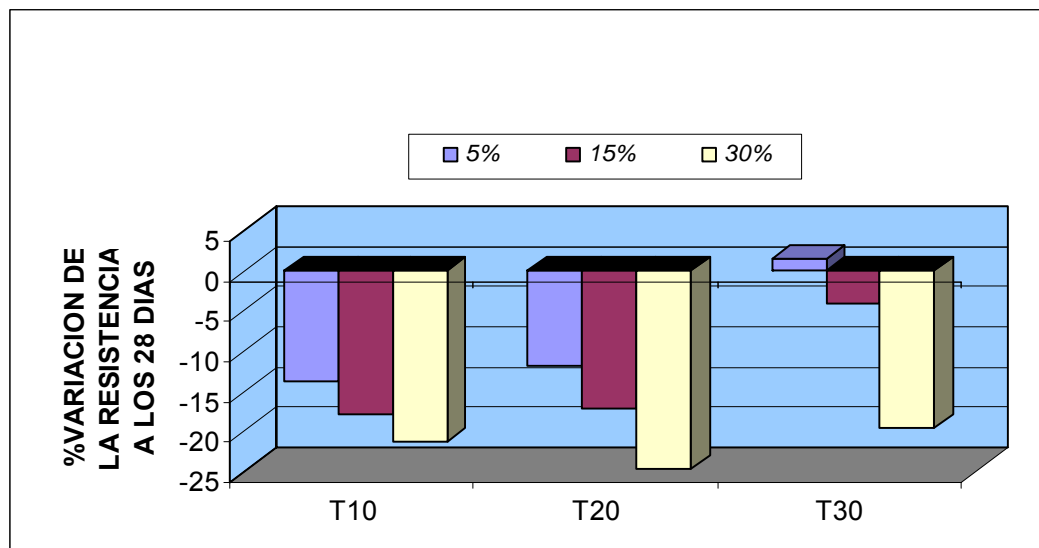
Figura 17. Resistencia a la Flexión vs. Contenido de PET a los 28 Días



Analizando las graficas 14,15 y 16 se puede observar que a medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de morteros, disminuye el esfuerzo a la flexión. Las muestras con relleno de PET retenidas en malla 30 presentan la mayor resistencia. Analizando la grafica 17, al aumentar el tamaño de las partículas de PET, disminuye el esfuerzo a la flexión.

El esfuerzo a la flexión para la mezcla de mortero normal a los 28 días fue de 40.32 Kg./cm²; para la mezcla de mortero T30 5%, que presentó el mayor esfuerzo a flexión con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 41.66kg/cm², lo que representa un aumento del 3.32% de la resistencia normal. En las gráfica 18 se puede observar la variación de la resistencia a la flexión para los diferentes tipos de mortero con adiciones de PET con respecto al mortero normal.

Figura 18. Variación de la Resistencia a la Flexión a los 28 Días



3.3 ENSAYO DE TRACCIÓN

Para el análisis de la resistencia a tracción en morteros con adiciones de PET, se fabricaron 6 probetas por cada tipo de muestra y para cada período de curado: 7, 14 y 28 días, para un total de 162 probetas ensayadas.

Los resultados de este ensayo se expresarán en unidades de esfuerzo (Lb-f/cm²), calculándolos de la ecuación $d = F / A$, donde, d es el esfuerzo en el

mortero, F es la fuerza aplicada y A es el área de la sección transversal de la probeta en estudio, 6.25 cm^2 .

El tipo de falla generado es característico de un sistema sometido a esfuerzos de tracción, donde se presenta una línea de falla perpendicular a la línea de aplicación.

Figura 19. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo para el Tamaño T10

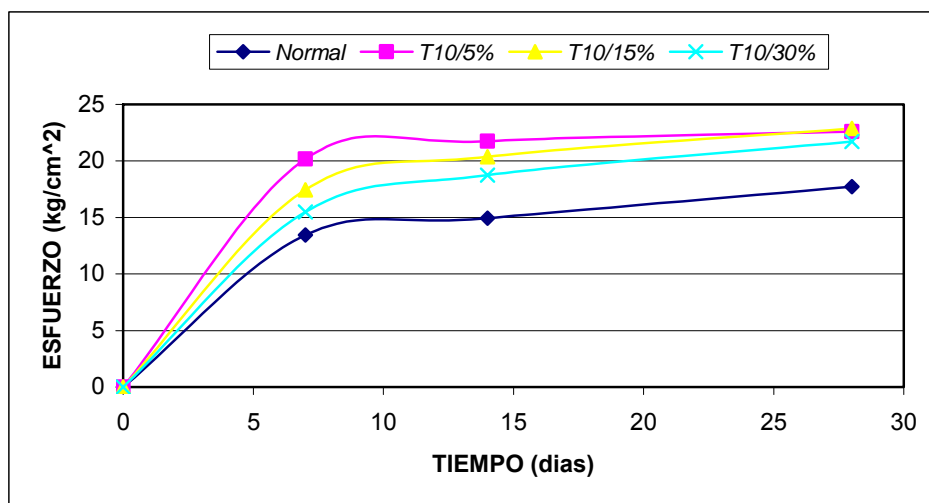


Figura 20. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo para el Tamaño T20

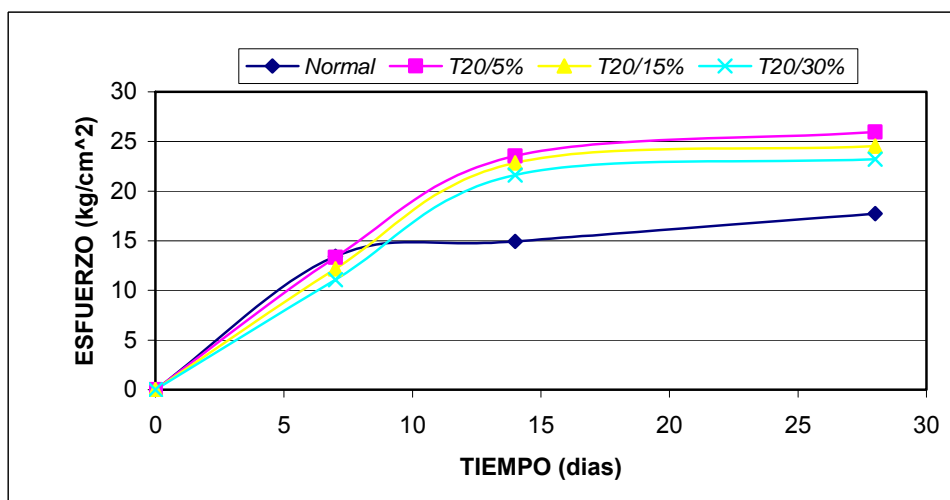


Figura 21. Resistencia a la Tracción vs. Tiempo para el Tamaño T30

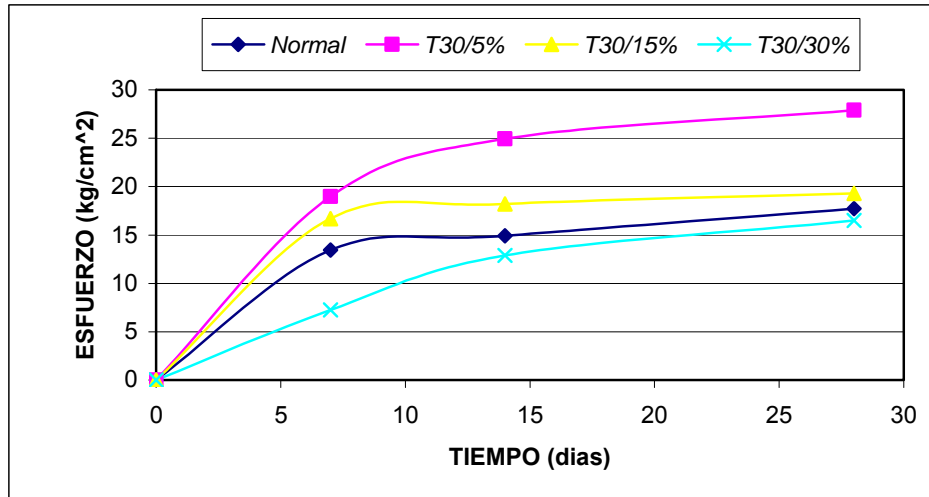
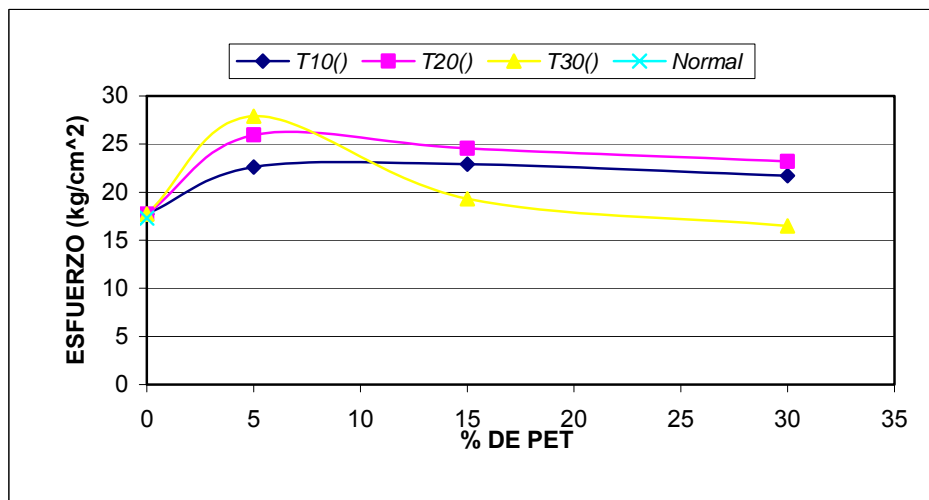


Figura 22. Resistencia a la Tracción vs. Contenido de PET a los 28 Días

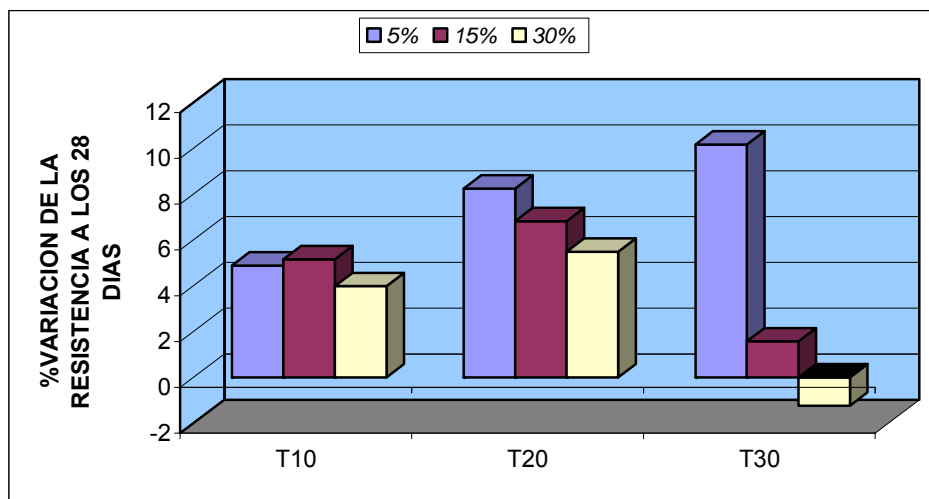


Analizando las gráficas 19, 20 y 21 se puede concluir que a medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de morteros, en general aumenta el esfuerzo a la tracción, presentan la mayor resistencia las mezclas de mortero con adición de partículas de PET retenidas en el tamiz No.30. A partir de la grafica 22 se puede concluir que al aumentar el tamaño de las partículas de PET, aumenta el esfuerzo a la tracción, siendo en la mayoría de casos superior al mortero normal. Este comportamiento se puede explicar,

debido a que las partículas tienden a ser granos, que logran reforzar el plano de falla del material.

El esfuerzo a la tracción para la mezcla de mortero normal, sin adición de PET, a los 28 días fue de 17.73 Kg./cm²; para la mezcla de mortero T30/5%, la cual presentó el mayor esfuerzo a tracción con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 27.89 Kg./cm², que representa un incremento de 57.30% de la resistencia normal. En las grafica 23 se puede observar la disminución de la resistencia a la compresión para los diferentes tipos de mortero con adiciones de PET con respecto al mortero normal

Figura 23. Variación de la Resistencia a la Tracción a los 28 Días



3.4 ENSAYO DE POROSIDAD

El Porosímetro de campo Ruska mide volúmenes del desplazamiento del pistón que corresponden al volumen de sólidos o granos de la muestra, y el volumen total de la muestra; posteriormente, estas medidas son convertidas a cm³ usando curvas de calibración.

Figura 24. Valores de Porosidad vs. Contenido de PET

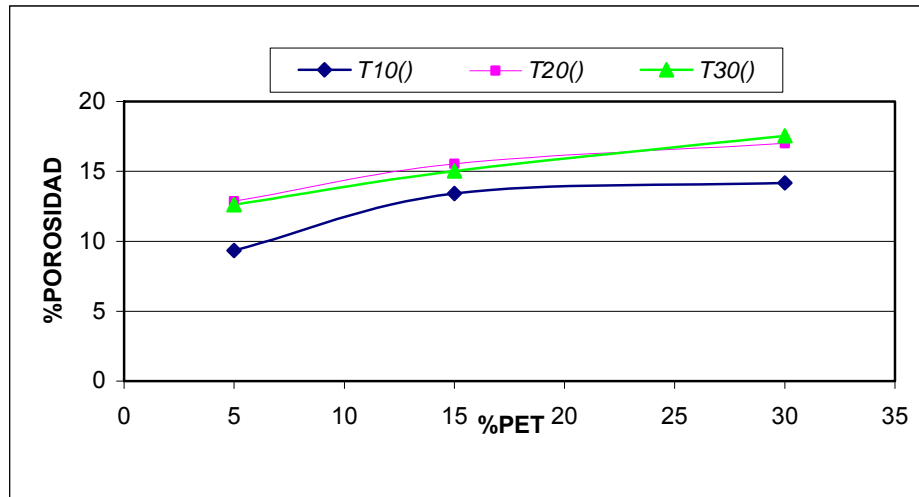
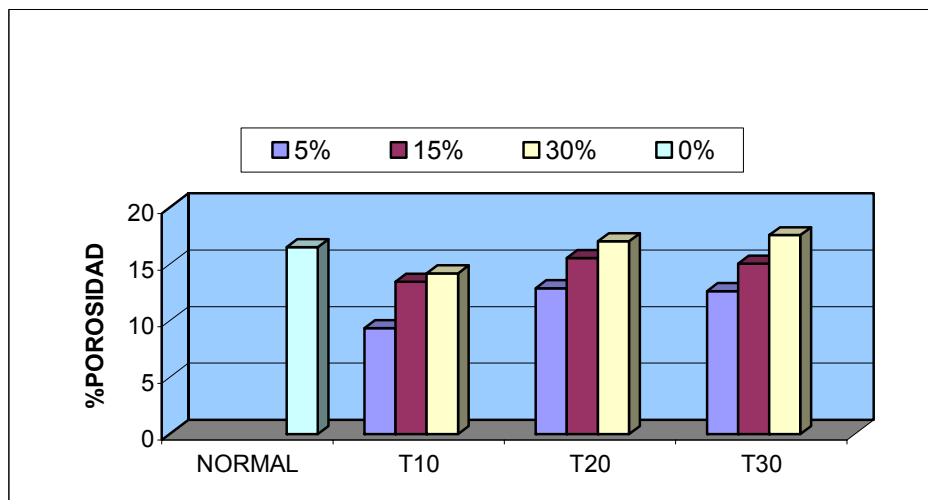


Figura 25. Valores de Porosidad para cada uno de los tipos de mortero

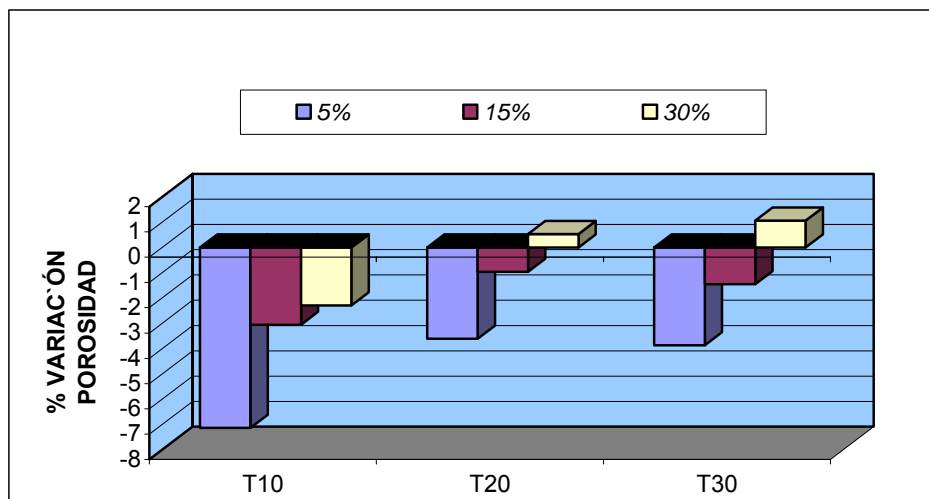


Al analizar las graficas 24 y 25 se puede concluir que a medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de morteros, disminuye la porosidad, debido a que las partículas logran distribuirse adecuadamente dentro de la matriz de mortero. También, al disminuir el tamaño de las partículas de PET y aumentar su proporción, disminuye la fluidez y éstas por no tener una

distribución uniforme, no permiten eliminar los poros naturales de la mezcla en la estructura interna de la matriz del mortero.

El porcentaje de porosidad para la mezcla de mortero normal fue de 16.49 %, y para la mezcla de mortero T10/5%, que presentó el menor grado de porosidad con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 9.35%, representa una disminución de 43.3%. En la grafica 26 se puede observar la disminución de la porosidad para los diferentes tipos de mortero con adiciones de PET con respecto al mortero normal.

Figura 26. Porcentaje de la Variación de la Porosidad



3.5 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

La permeabilidad obtenida mediante el Permeámetro de gas Ruska se calculó utilizando el caudal de gas que pasa a través del núcleo, el gradiente de presión, la viscosidad del gas y las dimensiones de la probeta.

La viscosidad del gas (μ) se obtiene a partir de la temperatura ambiente al momento de analizar la muestra. Con las lecturas flowmeter, R_f , y la escala de flowmeter (S, M, o L) se obtienen los datos de la Tasa promedio de flujo, Q (cm/seg), mediante gráficos de conversión; estos valores y junto con los datos de gradiente de presión P (atm), área de la sección transversal de la muestra, A (cm²), y longitud de la muestra, L (cm), se procede a hallar la permeabilidad (milidarcys) utilizando la siguiente expresión:

$$K = \mu * Q * L / A * P$$

Figura 27. Valores de Permeabilidad vs. Contenido de PET

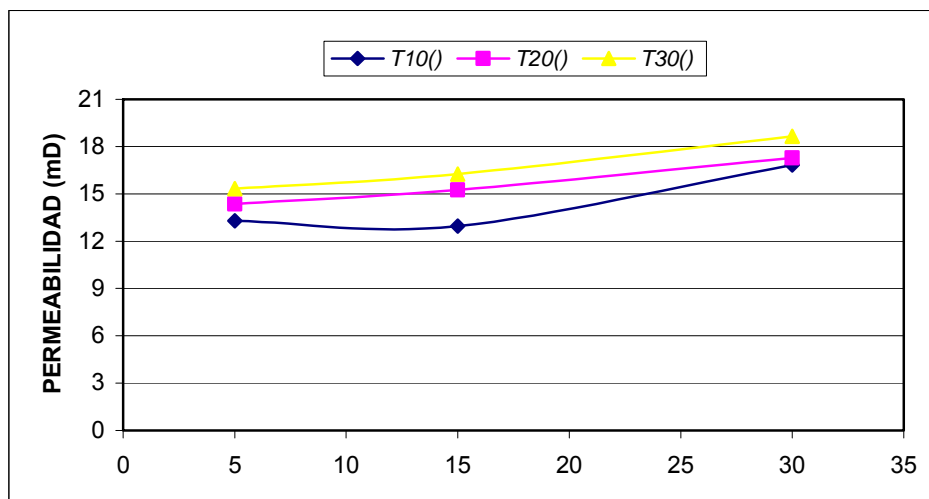
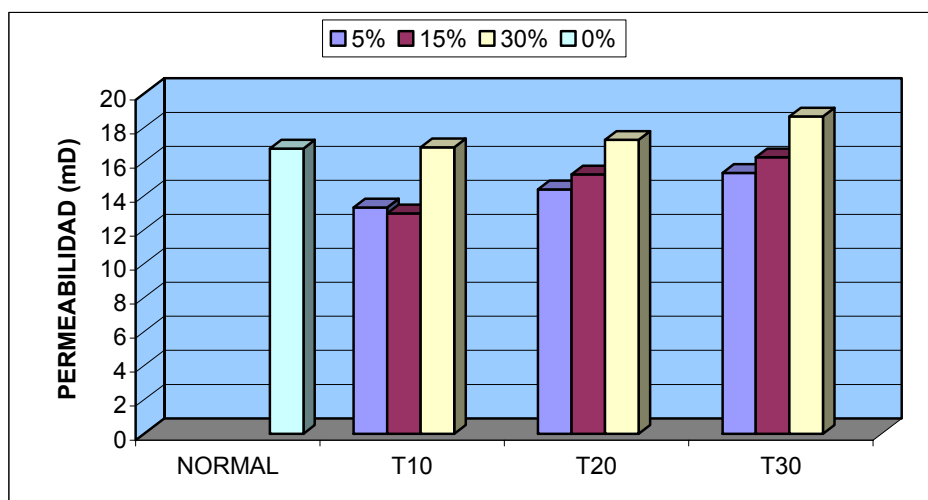


Figura 28. Valores de Permeabilidad para cada uno de los tipos de mortero



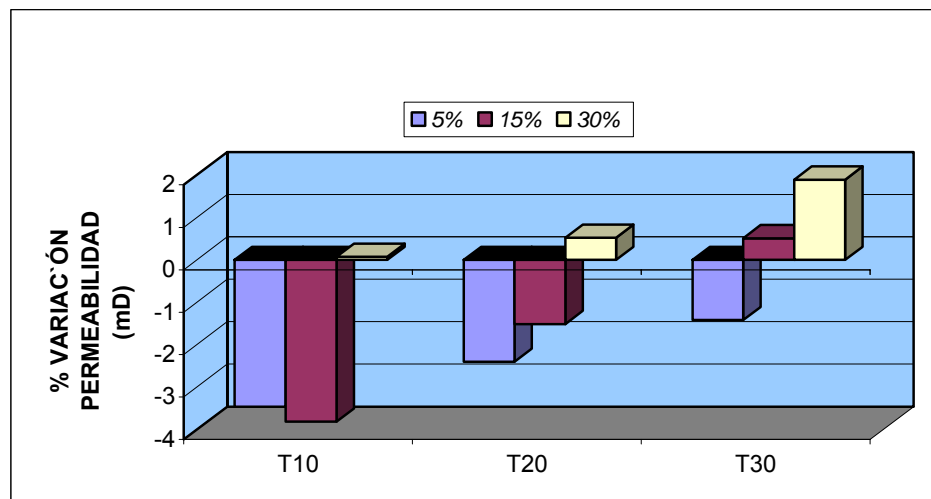
Al analizar las graficas 27 y 28, se encontró que a medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de morteros aumenta la permeabilidad. El paso de fluidos a través del material es función de la porosidad total del mismo; además del diámetro de los poros, su distribución y su continuidad.

Se pudo apreciar que al disminuir el tamaño del PET el material se hace más permeable. Este comportamiento es debido a que al disminuir el tamaño de las partículas de PET y aumentar su proporción, disminuye la fluidez y éstas al no ser uniformes impiden eliminar los poros naturales de la mezcla en la estructura de la matriz del mortero y en consecuencia aumenta la permeabilidad.

El porcentaje de permeabilidad para la mezcla de mortero normal fue de 16.76 mD, y para la mezcla de mortero T10/5%, que presentó el menor grado de permeabilidad con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 13.3mD, representa una disminución de 20.65%. En la gráfica 29 se puede observar la

disminución de permeabilidad para los diferentes tipos de mortero con adiciones de PET con respecto al mortero normal.

Figura 29. Porcentaje de la Variación de la Permeabilidad



3.6 ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR

Este ensayo permite interpretar el proceso de absorción de agua por los poros capilares del mortero a través del tiempo, analizando diversos parámetros como la resistencia a la penetración del agua y el coeficiente de absorción capilar. Para el análisis de los resultados, se realizaron las graficas 30,31 y 32 a partir de los datos de peso de agua absorbida por unidad de área de cada muestra (44.8717 cm^2), respecto a la raíz cuadrada del tiempo. En éstas se pudieron apreciar dos fases: la fase 1, que corresponde al avance del frente de absorción representado por el llenado de los poros capilares y la fase 2, que corresponde a la saturación; es decir una vez que los poros capilares se han llenado, la saturación esta relacionada con los poros de aire o burbujas producidos durante el amasado o compactación, en la mayoría de los casos.

Figura 30. Absorción Capilar por unidad de área Vs. Tiempo para el Tamaño T10

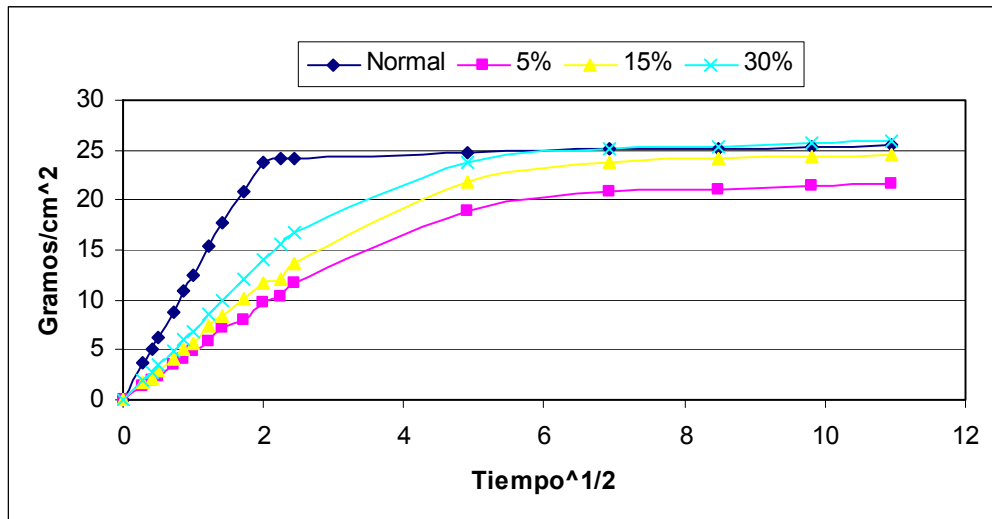


Figura 31. Absorción Capilar por unidad de área vs. Tiempo para el Tamaño T20

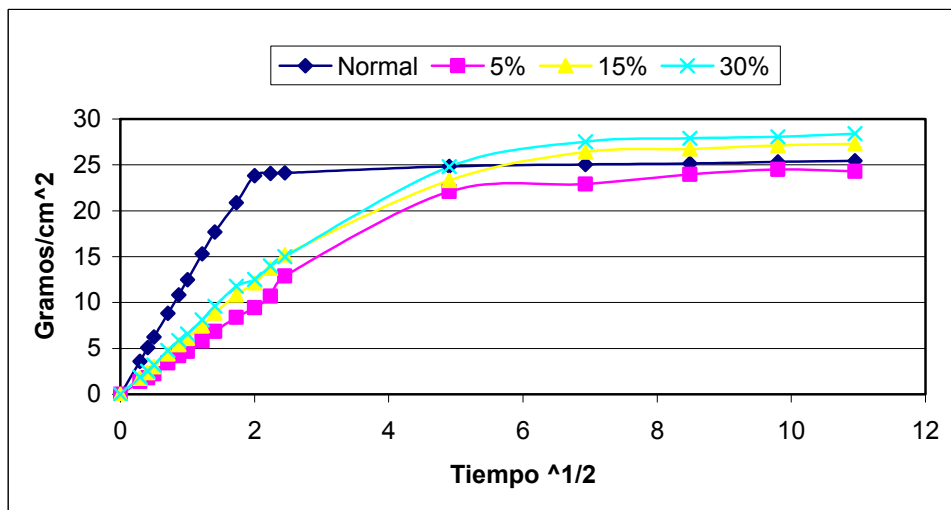


Figura 32. Absorción Capilar por unidad de área Vs. Tiempo para el Tamaño T30

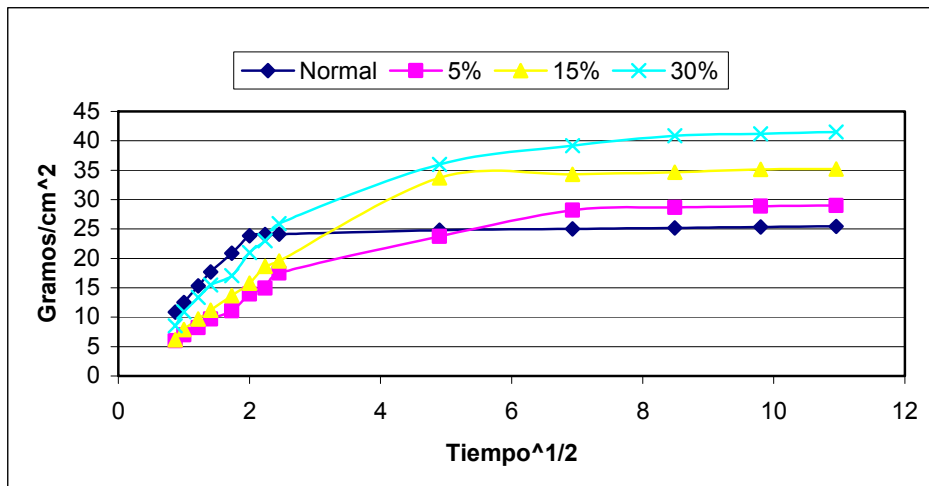


Figura 33. Valores de Resistencia a la Penetración del Agua (m) para cada tipo de mortero

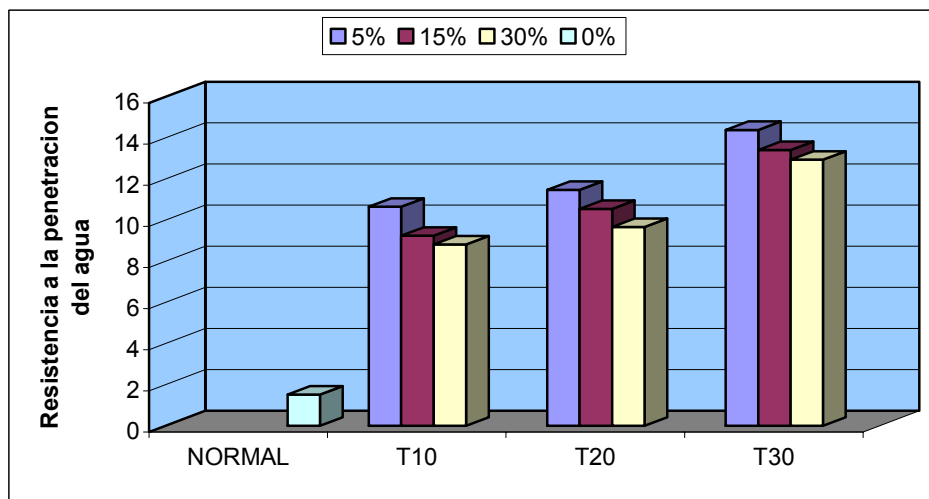


Figura 34. Valores de Absorción Capilar (k) para cada tipo de mortero

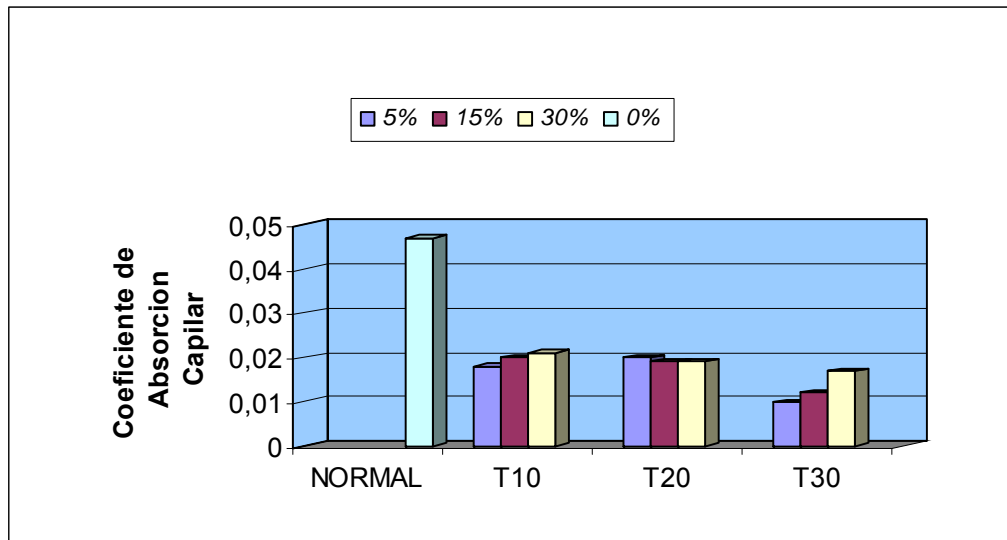


Figura 35. Valores de Porosidad (ϵ) para cada tipo de mortero

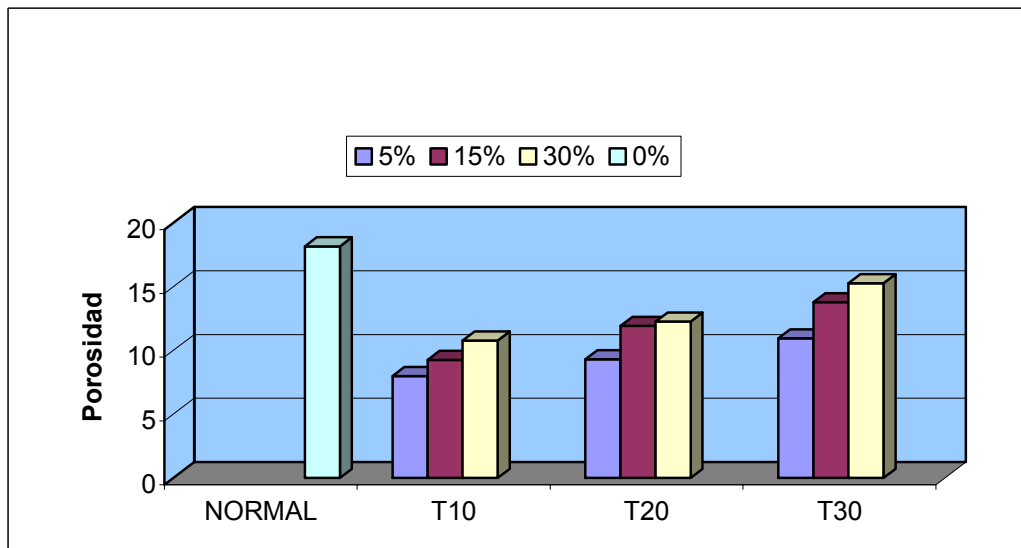
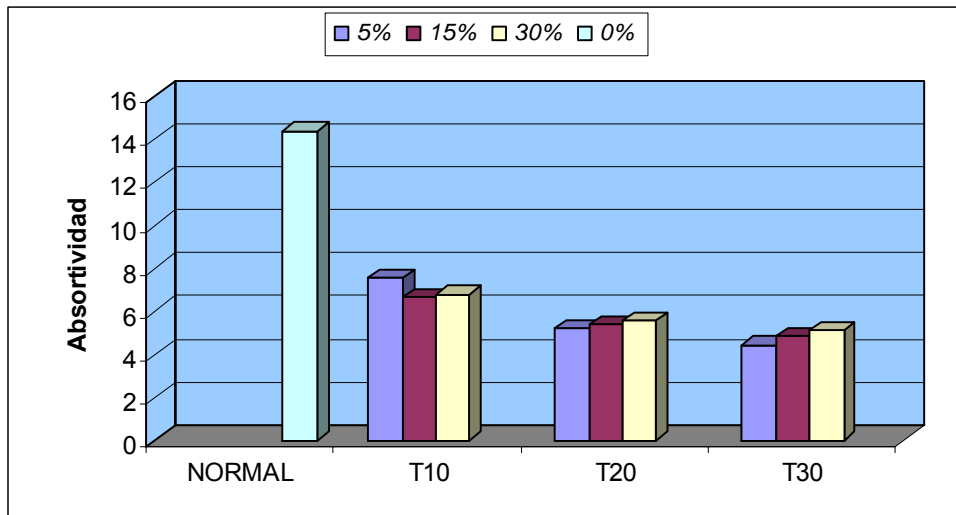


Figura 36. Valores de Absortividad (s) para cada tipo de mortero



Al analizar las graficas 30, 31, 32, 33,34, 35 y 36 y teniendo en consideración que el mejor comportamiento corresponde a aquel material cuya resistencia a la penetración del agua sea elevada (m), siendo la normal de 1.505 y las de los morteros: T10/ 5% de 10.64, T20/5% de 11.456 y la del T30/5% de 14.376 m (10^7). Su coeficiente de absorción k relativamente bajo para el mortero normal de 0.047 y el mortero T30/5% de 0.010, con una disminución del 79.73%. Su porosidad (ϵ) reducida, y Absortividad (S) menor con un valor de 15.36 para el mortero normal y para los morteros T10/5% de 7.556, T20/5% de 5.772 y para T30/5% de 5.439. Además se puede decir que:

Para todos los tamaños el mejor desempeño corresponde para los morteros con el 5% de PET.

El grado de confiabilidad de los resultados de porosidad es elevado, ya que se obtuvo un porcentaje de 18.15% para el mortero normal y 7.98 % para el T10/5%, con una disminución del 56.04%, su diferencia radica en el tipo de ensayo empleado; en el ensayo de absorción capilar, la porosidad se mide a

partir de la absorción que es la propiedad que caracteriza la tendencia de un material poroso para absorber y transmitir agua por capilaridad, mientras que con el equipo Ruska la porosidad encontrada es la que puede ser ocupada por fluidos móviles (gases).

3.7 APLICACIONES

Figura 37 .Frisos y pisos



Al comparar los resultados obtenidos, con otros morteros desarrollados en la UIS como son el mortero magnético y ferromagnético, no se encontraron similitudes, que permitan usar el mortero de PET en el mismo campo, también se comparó con morteros de bagazo de caña de azúcar y morteros de vidrio molido; pero estos no presentan ninguna aplicación.

Los plásticos son materiales con gran resistencia mecánica, de baja densidad y malos conductores de la electricidad y del calor, que al ser parte de morteros, estos también adquieren parte de estas propiedades excelentes, usándolos como morteros aislantes térmicos y eléctricos, en construcción de paredes, fachadas, divisiones y otras unidades arquitectónicas en reemplazo de morteros convencionales⁸.

⁸ PÉREZ MARÍN Andrés Felipe. Aplicación de nuevos materiales a soluciones de vivienda en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, d.c.2005

Otra característica apreciable es el peso de este material, considerablemente liviano en comparación con otros morteros. Podría recomendarse su uso en la fabricación de ladrillos y bloques que posteriormente se utilizaran en la construcción de casas de interés social, actualmente esta siendo usado en países como España y Argentina, también podría tener aplicación a nivel industrial (Véase el Anexo I).

CONCLUSIONES

- A medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de morteros, disminuye el esfuerzo a la compresión. Presentan mayor resistencia las mezclas de mortero con adición de 5%. También, al disminuir el tamaño de las partículas de PET (T10, T20 y T30 aumenta su resistencia a la compresión, comportándose mejor la probeta con mezcla de mortero T30/5% con un aumento de 22.23% de la resistencia con respecto al mortero normal.
- Al aumentar el contenido de PET en las mezclas de morteros disminuye el esfuerzo a la flexión. Presentan mayor resistencia las mezclas de mortero con adición de partículas de PET retenidas en el tamiz No.30, al igual que en las pruebas de compresión. Para la mezcla de mortero T30/5%, que presentó el mayor esfuerzo a flexión con respecto a los demás tipos de mortero, se obtuvo un aumento del 3.32% de la resistencia normal. En general el esfuerzo a flexión del mortero modificado estuvo por debajo del mortero normal.
- El esfuerzo a la tracción aumenta al disminuirse el tamaño de las partículas de PET, en la mayoría de casos superior al mortero normal. Este comportamiento se puede explicar debido a que las partículas tienden a ser granos que refuerzan el plano de falla del material. La mezcla de mortero T30/5% presentó el mayor esfuerzo a la tracción 27.89kg/cm² con respecto a los demás tipos de mortero, con un incremento de 57.30% de la resistencia normal.

- La porosidad capilar disminuye a medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de mortero debido a que las partículas se distribuyen adecuadamente dentro de la matriz, por la congruencia entre la forma de las partículas de PET y los granos de arena.
- También, al disminuir el tamaño de las partículas de PET y aumentar el contenido disminuye la fluidez y éstas, por no tener una distribución uniforme, no permiten eliminar los poros naturales de la mezcla en la estructura interna de la matriz del mortero.
- El porcentaje de porosidad para la mezcla de mortero normal fue de 16.49 %, y para la mezcla de mortero T10/5%, que presentó el menor grado de porosidad con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 9.35% lo que representa una disminución de 43.3%.
- La permeabilidad aumenta a medida que crece el contenido de PET en las mezclas de morteros, ya que el paso de fluidos a través del material es función de la porosidad. Además, en todos los casos sus valores son menores a los correspondientes a un mortero normal.
- En cuanto al fenómeno de absorción capilar, todas las mezclas de mortero con adiciones de PET presentaron una mayor resistencia a la penetración del agua, menor coeficiente de absorción, menor absortividad y menor porosidad. El mejor comportamiento se encontró en los morteros con 5% de PET.
- La presencia de PET de muy bajas granulometrías (T30), aumenta la manejabilidad de las mezclas de mortero; pero por otra parte, disminuye su resistencia a medida que aumenta el porcentaje en la mezcla,

variables que se deben tener en cuenta cuando se diseñe una mezcla de mortero en función de su uso.

RECOMENDACIONES

- Al realizar la mezcla de los diferentes productos que componen la pasta del mortero es importante realizar el mezclado en seco. Se garantiza homogeneidad de las partículas durante la hidratación de la mezcla. Se mejoran las propiedades.
- Una forma de mejorar las propiedades mecánicas de este mortero es la utilización de un aditivo que permita aglomerar el plástico con la arena, tales aditivos pueden ser: colas, pegamentos orgánicos e inorgánicos, resinas y demás, Para tal fin recomendamos una investigación que permita encontrar el aditivo indicado.

BIBLIOGRAFIA

ARAGÓN T. Jesús Humberto. Los morteros Mejorados en la Construcción, Reunión del concreto, Cartagena, 1990.

ARCINIEGAS LOPEZ Danny Fernando y FONSECA CRISTANCHO Alexander. Utilización de vidrio reciclado en morteros. Universidad Industrial De Santander .Bucaramanga, 2005.

ARDILA OVALLE, Hernando Luís y ORDÓÑEZ TORRES, Julio Enrique, Obtención de Concreto Polimerizado con Impregnación en la Mezcla, Proyecto de Grado (Escuela de Ingeniería Civil), Universidad Industrial de Santander, 1983.

DIAZ O, Edgar y VIANCHE, Gustavo A. Adecuación de la fibra de vidrio tipo E como refuerzo en mortero para su utilización en la fabricación de elementos delgados. Universidad Industrial de Santander. 1996.

FAGERLOUND, G. "On the capilarity of concrete", Nordic Concrete Research,Nº1, Oslo, Paper Nº6, 1986.

GÓMEZ CONTRERAS Kely Esperanza y GÓMEZ CONTRERAS Sandra Liliana .Obtención y Evaluación del Mortero magnético. Universidad Industrial de Santander. 2005.

JIMENEZ AYALA Lily Johanna y RODRÍGUEZ APARICIO Carlos Javier. Obtención, Evaluación y Aplicación del Mortero Ferromagnético. Universidad Industrial de Santander. 2005.

MANUAL DE ROCAS Y FLUIDOS. Escuela de Ingeniería de Petróleos, UIS. Normas Técnicas Colombianas editores. 2 Ed. 1994.

O'REILY, V.A. Métodos para dosificar mezclas de hormigón, Editorial Científico Técnico, Cuba, 1990.

PARRA GUERRERO Ciro Alfonso. Propuesta de Elemento Constructivo a partir de bagazo de caña de azúcar y cemento Pórtland. Universidad Industrial de Santander. 2005.

PÉREZ MARÍN Andrés Felipe. Aplicación de nuevos materiales a soluciones de vivienda en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, d.c.2005

PINILLA MORENO, Jersson Marco y BUENO CHACÓN, Erika. Tesis: Utilización de residuos de caucho en morteros y su aplicación en la Construcción, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2003.

REVISTA DEL PLASTICO MODERNO. Edición 40, 1990, p. 552 – 558.

VERGARA BETIN, Luís Eduardo, Utilización de Látex Poliméricos en el Mejoramiento de Resistencia a la Corrosión del Concreto, Proyecto de Grado (Escuela de Ingeniería Civil), Universidad Industrial de Santander, 2001.

www.aupec.univalle.edu.co/informes/2003/febrero/ecomateriales.html

www.aprepet.org.mx

www.plastivida.com.ar




ANEXOS



Anexo A. Aplicaciones de Morteros según su Fluidéz


Consistencia	Fluid %	Condiciones de Colocación	Ejemplos de tipo de Estructura	Ejemplos del Sistema de Colocación
Dura (Seca)	80 a 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos.	Proyección neumática, con vibradores de formaleta.
Media (Plástica)	100 a 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Manual con palas y palustres.
Fluida (Húmeda)	120 a 150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo, inyección.

Fuente: SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y el mortero. Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1987.

Anexo B. Reciclaje y Reuso del Plástico

TIPO / NOMBRE	CARACTERISTICAS	USOS / APLICACIONES
 <p>PET Polietilen-tereftalato</p>	<p>Se produce a partir del Ácido Tereftálico y Etilenglicol, por poli condensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos.</p>	<p>Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios (mayonesa, salsas, etc.). Películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacío.</p>
 <p>Polietileno de Alta Densidad</p>	<p>El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se lo puede transformar de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión, o Rotomoldeo</p>	<p>Envases para: detergentes, lavandina, aceites automotor, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, menaje, cajones para pescados, gaseosas y cervezas, baldes para pintura, aceites, tambores, caños para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.</p>
 <p>PVC Cloruro de Polivinilo</p>	<p>Se produce a partir de dos materias primas naturales: gas 43% y sal común (*) 57%.</p> <p>Para su procesado es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales, que permiten obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles (Inyección - Extrusión - Soplado).</p>	<p>Envases para agua mineral, aceites, jugos, mayonesa. Perfiles para marcos de ventanas, puertas, caños para desagües domiciliarios y de redes, mangueras, blister para medicamentos, pilas, juguetes, envolturas para golosinas, películas flexibles para envasado (carnes, fiambres, verduras), film cobertura, cables, cuerina, papel vinílico (decoración), catéteres, bolsas para sangre</p>

 <p>PEBD Polietileno de Baja Densidad</p>	<p>Cloruro de Sodio (2 NaCl)</p> <p>Se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEAD es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión y Rotomoldeo.</p>	<p>Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. envasamiento automático de alimentos y productos industriales (leche, agua, plásticos, etc.).</p>
 <p>PP Polipropileno</p>	<p>El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.), se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. (El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado y extrusión/termoformado)</p>	<p>Película/Film (para alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria). Bolsas tejidas (para papas, cereales). Envases industriales (Big Bag). Hilos cabos, cordelería. Caños para agua caliente. Jeringas descartables. Tapas en general, envases. Bazar y menaje. Cajones para bebidas. Baldes para pintura, helados. Potes para margarina. Fibras para tapicería, cubrecamas, etc. Telas no tejidas (pañales descartables). Alfombras. Cajas de batería, para golpes y auto partes</p>

 <p>PS</p> <p>Poliestireno</p>	<p>PS Cristal: Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo.</p> <p>PS Alto Impacto: Es un polímero de estireno monómero con oclusiones de Polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto.</p> <p>Ambos PS son fácilmente moldeables a través de procesos de: Inyección, Extrusión/Termoformado, Soplado.</p>	<p>Potes para lácteos (yoghurt, postres, etc.), helados, dulces, etc. Envases varios, vasos, bandejas de supermercados y rotiserías. Heladeras:</p> <p>Contrapuertas, anaqueles. Cosmética: envases, máquinas de afeitar descartables. Bazar: platos, cubiertos, bandejas, etc. Juguetes, cassetes, etc. Aislantes: planchas de PS espumado</p>
---	--	---

Anexo C. Pruebas Preliminares Del Cemento Pórtland (PAZ DEL RIO)

Determinación Del Peso Específico Del Cemento (Norma Ntc 221) Prueba De Lechatelier

El peso específico del cemento se encuentra comprendido entre 2.9 y 3.15 g/cm³.
A continuación se presenta una tabla con los resultados de la prueba de LeChatelier:

Tabla 1. Resultados prueba de Lechatelier

Tiempo	Menisco 1 (mL)	Menisco 2 (mL)
0	0.9	1.0
3	0.8	0.8
6	0.78	0.8
9	0.75	0.78
12	0.75	0.7

Lectura inicial (frasco 1): 0.8 mL

Lectura inicial (frasco 2): 0.7 mL

Masa de cemento: 64 gramos (frasco1)

65 gramos (frasco 2)

Al adicionar 64 gramos, la lectura marca:

Tabla 2. Lecturas de los meniscos

Tiempo (minutos)	Menisco 1 (mL)	Menisco 2 (mL)
0	22.9	23.3
3	22.8	22.9
6	22.7	22.8
9	22.5	22.8
12	22.5	22.8
15	22.4	22.8
18	22.4	22.8

El volumen del frasco 1 corresponde a (22.4 mL) -(0.8 mL) = 21.6 mL

El volumen del frasco 2 corresponde a (22.8 mL)- (0.7 mL) = 22.1 mL.

Por tanto, el peso específico para el frasco 1:

$$\rho = \frac{64 \text{gramos}}{21.6 \text{mL}} = 2.963 \frac{\text{gramos}}{\text{mL}}$$

El peso específico para el frasco 2:

$$\rho = \frac{65 \text{ gramos}}{22.1 \text{ mL}} = 2.941 \frac{\text{gramos}}{\text{mL}}$$

Por lo tanto el peso específico promedio es:

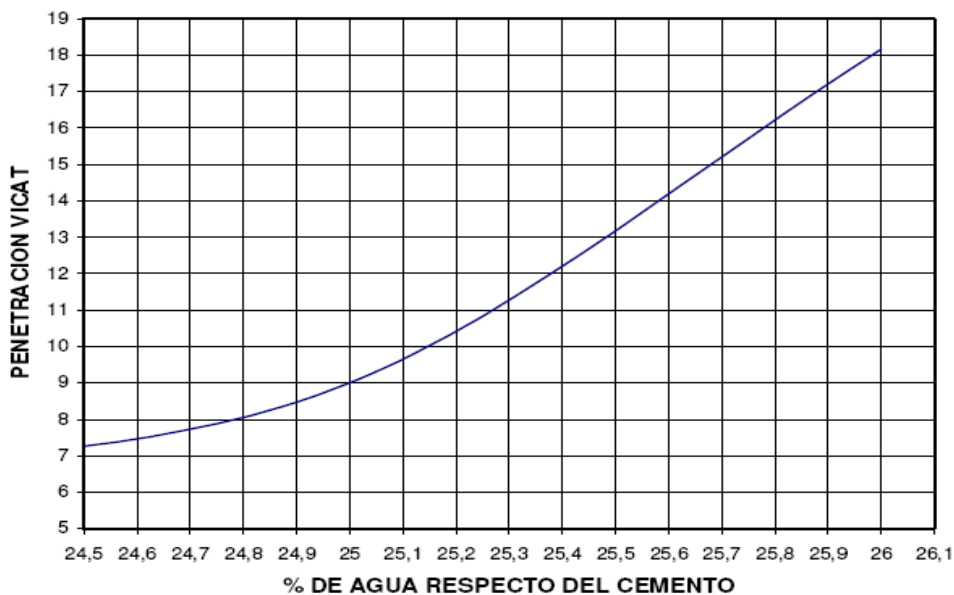
$$\rho_{prom} = \frac{2.963 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} + 2.941 \frac{\text{gr}}{\text{mL}}}{2} = 2.95 \frac{\text{gr}}{\text{mL}}$$

Determinación De La Consistencia Normal (Norma 110)

Prueba De Consistencia Normal

Para determinar la consistencia normal de la mezcla, se deben realizar variaciones en la cantidad de cemento.

Figura 1. Consistencia del Cemento



Fuente. JIMENEZ AYALA Lily Johanna y RODRÍGUEZ APARICIO Carlos Javier. Obtención, Evaluación y Aplicación del Mortero Ferromagnético. Universidad Industrial de Santander. 2005.

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

Prueba Con Aparato De Vicat (Norma Icontec 118)

Tabla 3. Resultados de la Prueba de Vicat

TIEMPO (minutos)	PENETRACIÓN (mm)
30	41
45	39
60	39
75	39
90	38
105	36
120	31
135*	25
150	13
165	2
180**	0

*Tiempo inicial de fraguado: 135 minutos

**Tiempo final de fraguado: 180 minutos

Prueba De Agujas De Gillmore (Norma Icontec 109)

A continuación se presentan los resultados de la Prueba de las agujas de Gillmore.

Tabla 4. Resultados de la Prueba de Agujas de Gillmore

Tiempo (minutos)	Presencia de penetración
30	Si
45	Si
60	Si
75	Si
90	Si
105	Si
120*	No
135	Si
150	Si
165	Si
180	Si
195**	No

De la tabla se observa el tiempo que se debe mantener la mezcla de cemento para asegurar su fraguado.

*Tiempo inicial de fraguado: 120 minutos

**Tiempo final de fraguado: 195 minutos

Comparando los resultados de las dos pruebas para la determinación del tiempo de fraguado, se registra una similitud en los tiempos.

Anexo D. Pruebas Preliminares Arena

Figura 1. Tamices



Tabla 1. Granulometría Arena

ANALISIS GRANULOMETRICO					
TAMIZ	TAMAÑO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.76	45.8	4.58	4.58	95.42
8	2.38	35.8	3.58	8.16	91.84
16	1.19	118.6	11.86	20.02	79.98
30	0.595	398.6	39.86	59.88	40.12
50	0.297	287.3	28.73	88.61	11.39
100	0.149	80.0	8.00	96.61	3.39
FONDO		33.0	3.30	99.91	0.09
TOTAL		999.1	99.91		
				PESO MUESTRA	1000 GR
MODULO DE FINURA	2.78				

Gráfica 1. Granulometría Arena utilizada

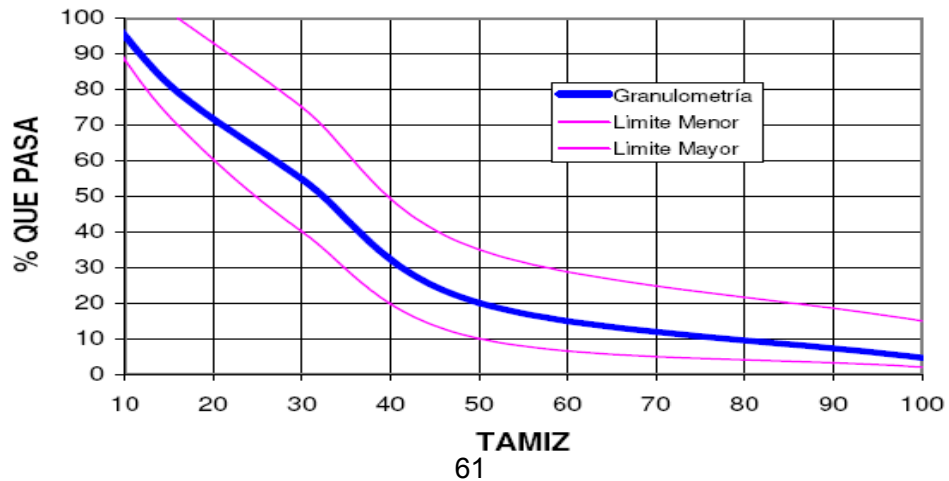


Figura 2. Ensayo de contenido de materia orgánica



Se empleó el método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros y hormigones, descrito en la NTC 127.

Después de colocar una cantidad de arena (aproximadamente 130 cm³) en un frasco y añadir solución de hidróxido de sodio, se tapó el frasco, se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 24 horas. Después de este período, se comparó el color de la solución normal de referencia (hidróxido de sodio) con la del líquido contenido en el frasco con arena. El color obtenido fue el mismo de la muestra de referencia, lo que indica:
 Contenido de Materia Orgánica = 0%

Ensayo de Gravedades Específicas, Peso Unitario, Absorción y Vacíos

Se utilizaron las Normas NTC 92 (Método para determinar la masa unitaria de los agregados) y NTC 237 (Método para determinar el peso específico y la absorción de los agregados finos).

Tabla 2. Gravedades específicas del agregado fino (Arena)

Gravedades Específicas (Norma Ntc 237)	
DATOS:	
A = Peso del frasco + Agua hasta la marca en el aire.....	658,3 gramos
B = Peso de la muestra en condición S.S.S. en el aire.....	500 gramos
C= Peso de la muestra, Frasco y Agua agregada hasta la marca, en el aire...	464,5 gramos
D= Peso de la muestra secada al horno	493,5 gramos
CALCULOS:	
Gravedad específica real..... $D/(A-C-D)=$	2,66
Gravedad específica aparente..... $D/(A+B-C)=$	2,53
Gravedad específica aparente S.S.S.= $B/(A+B-C)=$	2,58
(E) **	

SÓLIDO SECO SATURADO (S.S.S.)

Tabla 3. Peso Unitario de Agregados Finos (Arena)

Peso Unitario (Norma Ntc 92)	
CALIBRACION DEL MEDIDOR:	
P1 = Peso del medidor + vidrio	3,035
P2 = Peso del medidor + vidrio + agua.....	
V= Volumen del medidor $= (P_2 - P_1) / 1000 =$	2,838
DATOS:	
Pm = Peso del medidor vacío.....	2540
Pc = Peso del medidor + material S.S.S. compactado.....	6885
Ps = Peso del medidor + material suelto S.S.S. suelto	6281
Peso unitario desagregado S.S.S. compactado $= (P_c - P_m) / V =$	1531
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto $= (P_s - P_m) / V =$	1318

Tabla 4. Porcentaje de absorción y de Vacíos (Arena)

Porcentaje De Absorción Y De Vacíos (Norma Ntc 237)	
% de absorción.....	$(B - D) * 100 / (D)$ 1.32 %
% de vacíos.....	$(E * 1000 - F) / (10 * E)$ 42,27

Anexo E . tratamiento y análisis del PET

Figura 1. Recolección de botellas



Figura 2 . Molinos (quijadas y cuchillas)



Figura 3. Tamizado PET



Anexo F. Procedimiento experimental porosímetro de campo RUSKA.

- Se fabricaron probetas cúbicas de 5 cm de lado y se sometieron a un curado de 28 días. De cada cubo, se cortaron tres probetas cúbicas de 2 cm de lado, previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta.
- Quitar la copa del manómetro y llenar el pozo con unas pocas gotas de mercurio triple destilado y ajustar nuevamente el manómetro.
- Chequear que el porosímetro esté en buenas condiciones de operación (que no haya fugas en el sistema al colocar presión).
- Seleccionar la copa más pequeña que pueda alojar la muestra y ajustarla vacía al porosímetro.
- Con la válvula de descarga abierta, llevar el pistón un poco más atrás de la posición de operación. Cada copa tiene su propia posición de inicio según sea: copa pequeña: 150, copa media: 250, copa grande: 400.
- Llevar el mecanismo del pistón hacia delante hasta su posición de inicio y no retroceder para evitar el backflash.
- Cerrar la válvula de descarga y llevar el pistón hacia delante hasta que la lectura de la manga micrométrica sea cero (0). El nivel de mercurio alcanzado es tomado como referencia: lleve la marca del nivel hasta este punto.
- Abrir la válvula de alivio suavemente antes de llevar el pistón un poco más atrás de su respectiva posición de inicio.
- Colocar el corazón o muestra dentro de la copa ajustada a cero y anclarla al bloque del manifold.

- Con la válvula de alivio abierta llevar el pistón hacia delante hasta su posición de inicio correspondiente, sin retroceder. (Todas las lecturas durante la operación se deben hacer con el pistón moviéndose hacia delante para evitar el efecto backflash y el ajuste a cero debe repetirse para cada copa y ocasionalmente durante la operación del instrumento).

- Cerrar la válvula de alivio y llevar el pistón suavemente hacia delante hasta alcanzar el nivel de mercurio de referencia anterior, se debe registrar la medida del micrómetro como Rcore que es proporcional al volumen de sólidos de la muestra. Abrir la válvula de alivio y retirar la copa del manifold.

- Colocar el picnómetro dentro de la vasija y llenarlo de mercurio. Luego se introduce la muestra dentro del picnómetro y se mide el volumen bruto de la muestra. El volumen de mercurio recogido de la vasija (desalojado del picnómetro) se lleva a la respectiva copa usada para obtener el Rcore y se ajusta la copa al bloque del manifold.

- Se repiten los pasos anteriores y se obtiene un estimativo proporcional al volumen de mercurio en la copa, el volumen bruto de la muestra se designa como RHg.

Anexo G. Procedimiento experimental Permeámetro de gas Ruska

- Se fabricaron 3 probetas cúbicas de 5 cm de lado y se sometieron a un curado de 28 días por cada tipo de mortero. De cada cubo se cortó una probeta cúbica de 2 cm. de lado, previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta (Fotografía).
- Colocar la muestra en el receptor de caucho adecuado (el más preciso), insertar en la copa y ajustar en el permeámetro.
- Se debe comenzar por probar la posición de “large” de la válvula selectora del flowmeter y fijar una presión de 0.25 atmósferas en el manómetro. Si el flotador se encuentra en el rango de lectura entre 20 y 140 divisiones, tomar la lectura estimando el centro del flotador suspendido; de lo contrario, probar la posición “medium” y fijar una presión de 0.50 atmósferas, verificar si se puede tomar la lectura; de lo contrario, probar la siguiente posición “small”, fijando para esta una presión de 1 atmósfera y tomar la lectura.
- Cerrar la válvula reguladora y retirar la muestra.

Anexo H. Absorción capilar procedimiento experimental

- Se fabricaron probetas cilíndricas de 7.5 cm. de diámetro y 15 cm. de altura y se sometieron a un curado de 28 días. De cada cilindro se cortó una probeta de espesor (3 cm.), previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta.
- Cada probeta fue sometida a un preacondicionamiento inicial de secado a 105°C durante 6 horas, posteriormente se sellaron las caras laterales de cada probeta mediante la aplicación de un producto impermeabilizante (parafina); finalmente, se secaron las muestras a durante 24 horas y se enfriaron en desecador, antes de registrar su peso inicial.
- El método de ensayo consiste en colocar las muestras sobre una esponja de aproximadamente 5 mm de espesor, saturada de agua, y en un recipiente cubierto para evitar la evaporación. El nivel del agua deberá estar 3 mm. Por encima de la cara inferior de la probeta y se registró el peso a intervalos de 5, 10, 15, 30 (minutos), 1, 2, 3, 4, 6, 24, 48, horas.

Anexo I. Ladrillos y bloques



Ladrillos: El ladrillo o unidad de mampostería maciza, es un elemento prefabricado, de concreto, con forma de prisma recto, macizo o con perforaciones, generalmente verticales, que no superan el 25% de su área bruta. Se utiliza para elaborar mamposterías (por lo general muros de fachada), y es el responsable, en muy buena medida, de las características mecánicas y estéticas de dichas mamposterías.

Bloques: El bloque o unidad de mampostería de perforación vertical, es un elemento prefabricado, de concreto, con forma de prisma recto y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta. Se utiliza para elaborar mamposterías (por lo general muros), y es responsable, en muy buena medida, de las características mecánicas y estéticas de dichas mamposterías.