

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Merino A. Cristian A.
Para optar al título de Ingeniero Químico

Caracas, Noviembre de 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO

TUTORES ACADEMICOS:

Ing. Carmen Albano (U.C.V., I.V.I.C.)

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al título de Ingeniero Químico
Por el Br. Merino A. Cristian A.

Caracas, Noviembre de 2008

Caracas, Noviembre de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Cristian Merino, titulado:

“Caracterización de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Nelson Camacho
Jurado

Prof. Heimich Valbuena
Jurado

Prof. Carmen Albano
Tutor Académico

AGRADECIMIENTOS

A Dios, en primer lugar, por permitirme completar esta etapa de vida.

A mis Padres por su apoyo y paciencia, por su ayuda y cuidados.

A Michelle, mi esposa y amiga, por impulsarme a seguir lo que pensé no iba a concluir, y por darme la razón más grande para continuar superándome, mi hijo Gabriel, a quien le dedico este trabajo.

A mis compañeros y hermanos de residencia Malex, Nelson y Benny, por su ayuda.

A todos los muchachos de la Universidad, con los que compartí buenos momentos de vida estudiantil.

A mi tutora la profesora Carmen por su paciencia y regaños.

Al profesor Nelson por su gran ayuda y consejos.

A todo el personal del IMME por su colaboración, en especial Eleone y Lee que me ayudaron en la realización de las pruebas.

Cristian A. Merino A.

Merino A. Cristian A.

**CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS
DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE
POLIPROPILENO**

.

Tutor Académico: Ing. Carmen Albano

Tesis: caracas, U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química

Año 2008 96 Pág.

Palabras Claves: concreto, polipropileno, materiales compuestos, paneles.

Resumen: La finalidad del presente trabajo la caracterización de paneles elaborados con concreto y fibras de polipropileno, a través de ensayos destructivos y no destructivos.

El estudio consistió en la determinación de las propiedades mecánicas de mezclas de concreto con distintos porcentajes de fibra de polipropileno (0, 0.5, 1, 2, 3 %), a través de ensayos destructivos y no destructivos. Se midió la resistencia a la compresión, a la tracción indirecta y a la flexión, así como la velocidad de pulso ultrasonido, para determinar el porcentaje que presenta una mejor opción para la elaboración de los paneles.

Los paneles elaborados consistían en 2 capas de mezcla recubriendo una malla plástica y/o metálica, para estos paneles se determino la absorción de agua y la influencia de ciclos de calor y humedad, así como el efecto del agua salina sobre la resistencia a la flexión. Se llego a la conclusión que la mejor configuración para la elaboración de los paneles es el uso de una mezcla con 1 % de fibra de polipropileno con una malla de polietileno.

v

SUMARIO

En la actualidad se observa un acelerado incremento en las construcciones, por esto el concreto, como compuesto principal para llevar acabo dichas construcciones, ha sido objeto de múltiples investigaciones para mejorar ciertas propiedades tales como la dureza, ductilidad, etc., entre los materiales que se han utilizado para lograr esto, tiene un lugar importante el uso de fibras ya sea de acero, vidrio, sintéticas o naturales. El uso de fibras a base de materiales poliméricos se presenta como una de las mejores opciones debido a sus condiciones de ligereza, elasticidad y resistencia.

En este trabajo de investigación se evaluaron las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno (0.5, 1, 2 y 3%) como refuerzo. Para ello se realizaron ensayos destructivos para medir y comparar la resistencia a la compresión, a la tracción indirecta y a la flexión; también se realizo la medición de la velocidad de pulso ultrasónico.

Los ensayos realizados permitieron seleccionar la mezcla con un porcentaje del 1 % de fibra de polipropileno como la que representaba un aumento en la resistencia a la flexión sin una pérdida significativa de la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta.

Una vez seleccionada la mezcla se construyeron paneles, utilizando la mezcla de concreto con fibra con una malla plástica y/o metálica colocada en el medio. Los paneles fueron sometidos a ciclos de calor y humedad y a la acción del agua salina,

para determinar el efecto de estos ambientes en la resistencia a la flexión de los mismos, también se midió la absorción de agua para cada una de las configuraciones.

Basándose en los resultados obtenidos en los ensayos se llegó a la conclusión que el uso de malla plástica y 1 % de fibra de polipropileno es la mejor opción para la elaboración de los paneles.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
OBJETIVOS.....	5
CAPITULO I.....	6
MARCO TEORICO.....	6
1. Compuestos básicos del concreto.....	7
1.1. Agua.....	8
1.2. Cemento.....	8
1.2.1. Tipos de cementos.....	10
1.3. Agregados.....	11
1.3.1. Granulometría.....	12
1.3.2. Peso por unidad de volumen.....	12
1.3.3. Humedad.....	13
1.4. Aditivos.....	14
1.5. Adiciones.....	14
2. Relación entre la calidad del concreto y su composición.....	14
2.1. Relación triangular.....	15
2.2. Ley de Abrams.....	16
2.3. Reología.....	16
2.3.1. Trabajabilidad.....	16
2.3.2. Cono de Abrams.....	16
3. Resistencia del concreto a la compresión.....	17
3.1. Resistencia a la tracción indirecta.....	17
4. Concreto ligero.....	18
5. Concretos poliméricos.....	19
6. Concreto reforzado con fibras.....	22
7. Comportamiento de las fibras del polipropileno en una matriz de cemento.....	25
8. Fabricación del concreto reforzado con fibra de polipropileno.....	26
9. Ventajas y desventajas del concreto reforzado con fibra.....	28
10. Polipropileno y fibras de polipropileno estructura y características.....	28
10.1 Polipropileno.....	28
10.2 Fibras de polipropileno.....	29
11. Uso de las fibras del polipropileno en concreto.....	30
	viii

CAPITULO II.....	32
ANTECEDENTES.....	32
CAPITULO III.....	37
METODOLOGIA.....	37
1 Descripción de los materiales de las mezclas de concreto.....	37
1.1. Agregados fino y grueso.....	37
1.2. Cemento.....	38
1.3. Adiciones.....	39
1.4. Malla plastica o metalica.....	39
2. Características de las mezclas.....	40
3. Diseño de mezclas.....	41
4. Mezclado.....	43
5 Elaboración de cilindros, losas y paneles.....	44
5.1 Cilindros.....	44
5.2 Losas.....	44
5.3 Paneles.....	44
5.4 Curados de probetas y Paneles.....	44
6 Selección de porcentaje optimo.....	45
7. Ensayos Mecánicos.....	45
7.1 Ensayos en Cilindros.....	45
7.2. Ensayos en Losas y Paneles.....	46
7.3. Absorción de agua.....	46
7.4. Ciclos de calor y humedad.....	46
7.5. Efecto del agua de mar.....	47
CAPITULO IV.....	48
RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	48
1. Asentamiento.....	48
2. Selección del Porcentaje Optimo de Polipropileno.....	49
2.1. Resistencia a la compresión.....	49
2.2. Resistencia a la tracción Indirecta (Ensayo Brasileño).....	51
2.3. Resistencia a la tracción por flexión.....	52
2.4. Velocidad de Pulso ultrasónico.....	53
3. Caracterización de los paneles.....	55
3.1 Absorción de Agua.....	55
3.2 Resistencia a la flexión en paneles.....	57
3.3 Ciclos de calor y humedad.....	58
3.4 Efecto de agua de mar.....	60
	ix

X

INTRODUCCION

Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos. Esta necesidad llevo al descubrimiento del concreto y al estudio del mismo para mejorar algunas de sus propiedades mecánicas, una forma de modificar estas propiedades es la de combinar estos materiales utilizando las tecnologías de los materiales del compuesto. Debido a las ventajas que presentan las fibras poliméricas se muestran como uno de los principales materiales a utilizar para lograr un incremento en las propiedades del concreto.

La finalidad del presente trabajo es la caracterización de paneles elaborados a base de concreto y polipropileno, para esto se evalúan las propiedades mecánicas de la mezcla de concreto con diferentes porcentajes de fibra de polipropileno, a través de ensayos destructivos y no destructivos los cuales son usados frecuentemente para la caracterización de los materiales con el fin de conocer sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Los ensayos destructivos implican un cambio en la apariencia física del material llegando hasta el punto de su destrucción, mientras que los ensayos no destructivos acarrear un daño casi imperceptible o nulo en el material; generalmente este tipo de pruebas no altera de forma permanente las propiedades físicas, químicas o dimensionales del material, entre los ensayos a realizar, para cumplir con los objetivos de esta investigación, se encuentran la determinación de la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta en cilindros, así como la resistencia a la flexión en losas cuadradas. Una vez realizado este estudio se elige la concentración de fibra que reporte los mejores resultados, con la finalidad de elaborar

paneles con dicha mezcla y una malla plástica y/o metálica. Estos paneles en cada una de sus configuraciones fueron sometidos a la acción del agua salina y a ciclos de calor y humedad para determinar el efecto de estos ambientes en la resistencia a la flexión. Adicionalmente se midió la absorción de agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La concepción de productos a base de concreto esta en aumento, debido al acelerado incremento de las construcciones en los últimos años. Aunque el concreto a base de cemento Pórtland, es uno de los compuestos más extraordinarios y versátiles en la construcción, existe la necesidad de modificar sus propiedades, tales como la tracción, dureza, ductilidad y durabilidad. Por lo que una forma de modificar estas propiedades y de utilizar materiales de desecho es la de combinar estos materiales utilizando las tecnologías de los materiales del compuesto.

Entre los principales materiales utilizados para mejorar las propiedades del concreto destacan las fibras cuyo uso representa una práctica muy antigua, ya que utilizaba el adobe, ladrillos de arcilla arena y paja. En la actualidad se ha difundido el uso de fibras a base de materiales poliméricos debido a sus extraordinarias condiciones de ligereza, elasticidad y resistencia.

Razón por la cual es interesante el estudio de compuestos concreto-polímeros con el fin de modificar las características del concreto para utilizarlo para usos específicos en el área de la construcción, específicamente en paneles. Adicionalmente, debido al volumen que ocupan los polímeros se produce una disminución de los costos del concreto.

Además, el uso de estos compuestos en la solución de problemas de hábitat humana gana cada día mayor importancia, debido a sus propiedades tanto en lo económico, seguridad, etc.

Por otra parte, la gran mayoría de paneles se basan en poliestireno expandido y yeso en el exterior, en poliestireno expandido y concreto, ya que son mas ligeros, de características impermeables y no son atacados por microorganismos. En base a esto, el presente trabajo pretende caracterizar los materiales para la construcción o elaboración de paneles que puedan servir para paredes o techos en base a concreto y polímeros (como Polipropileno), mezclados y por capas con malla plástica o metálica fina intercalada con el fin de mejorar sus características estructurales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar y caracterizar paneles a partir de materiales compuestos a base de concreto y polímeros (Polipropileno) con malla metálica y/o polimérica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluación de los materiales que conforman el concreto (arena, piedra, cemento) a través del análisis de sus propiedades físicas, así como la caracterización del polímero reciclado.
- Analizar el efecto de la concentración del polímero (0,5 1, 2 y 3 % en volumen) y la relación agua/cemento sobre el compuesto, así como la colocación de malla metálica y/o polimérica.
- Analizar el comportamiento de ensayos destructivos (estudios de tracción, compresión, flexión y tracción indirecta) a los 28 días.
- Construir paneles usando la concentración que responda mejor en los ensayos destructivos.
- Determinación de la absorción de agua de los paneles a los 28 días.
- Determinar el efecto del agua de mar sobre la resistencia a la flexión de los paneles a los 28 días.
- Determinar el efecto de ciclos de calor y humedad sobre la resistencia a la flexión de los paneles a los 28 días.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

El concreto, hoy día uno de los materiales de construcción básicos, es la agrupación o concreción (de ahí su denominación anglosajona *concrete*) de partículas de piedra por medio de un aglomerante, constituyendo una especie de piedra artificial de elevada resistencia a la compresión, aunque baja a la tensión. En su preparación hay una fase plástica, que va desde el mezclado hasta el fraguado, teniendo por ello la propiedad de ser formáceo: de poderse colar en una cimbra de la forma deseada (en nuestro idioma, *hormigón*, se deriva de formicus-formáceo) (Ramírez, 1999).

Con esta definición se puede encontrar materiales de construcción utilizados por diversos pueblos bastantes siglos antes de nuestra era. Así, los Asirios y Babilonios fueron, con toda probabilidad, los primeros en mezclar cal, arcilla y agua, y los Fenicios mezclaban cal con ladrillo más de 700 años antes de nuestra era y de la aparición de la civilización romana, de lo que nos han llegado bastantes ejemplos. (Ramírez, 1999).

Los Romanos, sin embargo, marcaron un hito histórico en relación con el desarrollo de este material puesto que, de alguna manera, recogieron y documentaron su fabricación y método constructivo (Ramírez, 1999). Utilizaron principalmente como componentes, además de la piedra triturada, la cal y la ceniza volcánica, que constituyeron una especie de primer tipo de cemento hidráulico. No solamente establecieron el material, sino también una tipología y técnicas de construcción a través de múltiples tipos de obras: palacios, edificios, puentes y acueductos, puertos y carreteras.

A lo largo de los siglos hasta nuestra época, dicho cemento romano ha dado resistencia a buena parte de nuestras construcciones con materiales de la naturaleza descrita, en concurrencia poco diferenciada con las cales aéreas o hidráulicas. Pero la

definición moderna de aquel aglomerante hidráulico que nos ha llegado a lo largo de tres mil años fue la patente del cemento Pórtland en 1824 y, sobre todo, el descubrimiento del armado con acero del conglomerado, para proporcionar resistencia frente a los esfuerzos de tensión que aparecen en las construcciones.

Este descubrimiento del mortero o concreto armado a mediados del siglo pasado condujo, a finales del mismo, a diversas patentes: Monier, Blanc, Ribera, Hennebique, con las que se construyó gran número de obras, a caballo entre los dos siglos. Otro paso adelante lo constituyó el desarrollo del concreto pretensado, Freyssinet, hacia 1930

Ha pasado bastante tiempo desde estos trascendentales descubrimientos, se han desarrollado enormemente sus planteamientos teóricos y, tanto el concreto armado como el pretensado, han alcanzado un alto grado de madurez. Sin embargo, en cierta manera, existe la percepción de que la sociedad no valora justamente el nivel de la técnica involucrada en esta tecnología de construcción, quizás por las apariencias comunes con la construcción más tradicional e, incluso en el mundo científico, da la sensación, a veces, de que se la considera una tecnología "menor" frente a los temas habituales "prioritarios", como son las tecnologías de la información, los "nuevos" materiales o el medio ambiente.

Dichas opiniones no hacen justicia a las tecnologías del concreto y que, a lo largo del tiempo, estamos asistiendo a un esfuerzo en todo lo que respecta al desarrollo de concretos y armaduras especiales, juntamente con una abundante investigación teórica y experimental, apareciendo en el mercado materiales con propiedades especiales, todavía poco utilizados, pero con futuro prometedor. (Ramírez, 1999)

1.- Compuestos básicos del concreto

Existe una variada gama de materiales que pueden responder a distintas especificaciones del concreto, por tanto es importante determinar la combinación

óptima de estos materiales en la forma más económica de manera de cumplir con las exigencias de las diversas aplicaciones de este material.

1.1. Agua

Este elemento es indispensable en varias etapas de la elaboración del concreto: mezclado, fraguado y curado.

El agua debe estar libre de contaminantes. En zonas urbanas se suele usar agua potable, la cual se considera exenta de materia orgánica y sólidos en suspensión. En términos generales, el agua potable de las ciudades está apta para elaborar y curar el concreto (Porrero, 2004).

El agua de mezclado tiene dos funciones: hidratar el cemento y proporcionar fluidez y lubricación al concreto.

Para alcanzar la resistencia esperada del concreto se necesita de un ambiente saturado, sin embargo, esto no es siempre posible, por eso las piezas prefabricadas son curadas con agua, para evitar la pérdida de humedad por evaporación.

1.2. Cemento

El cemento es el componente más influyente en las características del concreto, a pesar de constituir un 10 a 20% del peso total del concreto. El cemento es el elemento más caro en comparación con los demás compuestos, sin embargo, es menos costoso que otros productos similares. Los componentes típicos del cemento Pórtland se muestran en la tabla 1.

“El cemento Pórtland o cemento simplemente, es una especie de cal hidráulica perfeccionada. Se produce combinando químicamente materias de

carácter ácido (sílice y alúmina principalmente) provenientes de arcillas, con otras de carácter básico (primordialmente cal) aportadas por calizas” (Porrero, 2004).

Tabla N° 1. Componentes Mineralógicos del Cemento Pórtland (Porrero, 2004)

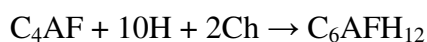
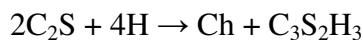
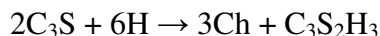
Componentes	Fórmula Química	Fórmula Abreviada
Silicato tricálcico	3CaO-SiO_2	C_3S
Silicato dicálcico	2CaO-SiO_2	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferritoaluminato tetracálcico	$4\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	C_4FA
Yeso	$\text{CaSO}_4\text{-2H}_2\text{O}$	Y
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$	N+K
Magnesia	MgO	M
Cal libre	CaO+Ca(OH)_2	C.L.
Residuo insoluble	$\text{SiO}_2\text{+R}_2\text{O}_3$	R.I.

El cemento se fabrica moliendo y mezclando sus materias primas, elevando la temperatura cerca de su puntos de fusión (aprox. 1500°C), en grandes hornos giratorios. Al material que sale de los hornos (principalmente fundidos) se le conoce como “clinker” (Mc Millan, 1989). El clinker se enfría y se pulveriza lo que constituye el cemento Pórtland comercial. Durante la molienda se agrega una pequeña cantidad de yeso para controlar el tiempo de fraguado.

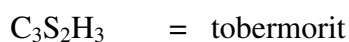
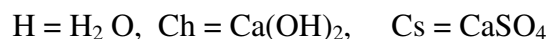
Cuando el agua y el cemento entran en contacto existe un tiempo en que la mezcla permanece plástica, se puede alterar el material y remezclarlo sin dañarlo, pero a medida que las reacciones entre el cemento y el agua continúan, la masa pierde su plasticidad. A esta etapa inicial de endurecimiento se conoce como fraguado.

Las principales reacciones de hidratación del cemento Pórtland se muestran a

continuación (Shackelford, 1998):



donde:



1.2.1. Tipos de cementos

Según la composición con que se obtiene el “clinker”, se pueden obtener diferentes tipos de cementos con sus respectivas características, tal como se evidencia en la tabla 2 (Porrero, 2004).

Tabla N° 2. Tipos de Cementos (COVENIN 28-2002 ASTM C 150-71) (Porrero, 2004)

Tipo	Características	Rango de Composición %			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ FA
I	Uso general	40-55	25-30	8-15	5-10
II	Resistente a los sulfatos y bajo calor de hidratación	40-50	25-35	8	10-15
III	Altas resistencias iniciales	50-63	15-20	3-15	8-12
IV	Muy bajo calor de hidratación	25-35	40-50	<7	10-15
V	Muy alta resistencia a los sulfatos	32-42	38-48	<5	10

1.3. Agregados

Los agregados son fragmentos o granos que se añaden a la mezcla para conferirle ciertas características favorables (retracción de fraguado), así como también, para disminuir el costo del concreto. Deben ser inertes en la reacción química agua-cemento, y representan entre el 70 y 85% de la masa del concreto.

Los agregados están formados por dos fracciones: El agregado fino (arena, granos entre 0,01-5 mm) y el agregado grueso (rocas trituradas o granos naturales redondeados por el arrastre del las aguas, granos entre 5-35 mm). La arena está formada frecuentemente de granos naturales depositados por las aguas cercanas a lechos de ríos y lagunas. Motivado al agotamiento de las fuentes de arenas y las restricciones ambientalistas se ha empezado a obtener arena a partir de piedras trituradas, las mismas que se utilizan para el agregado grueso. Los agregados gruesos se pueden obtener de cualquier tipo de roca como son las calizas y el granito.

La granulometría del agregado fino establece en gran parte la demanda de agua de la mezcla y la resistencia del concreto. Mientras la arena es más fina, se necesita más agua, más retracción (formación de grietas por secamiento) y menos resistencia. La arena que en su granulometría arroja que la mayoría del tamaño de sus granos es gruesa, entonces produce mezclas ásperas con tendencia a la segregación (Geymayr, 1985).

En cambio, para el agregado grueso, las propiedades que determinan la resistencia del concreto son: su dureza, resistencia y cantidad de contaminantes como la arcilla. El tamaño máximo de grano determina la demanda de agua, mientras más grande más agua es necesaria. El agregado triturado requiere más agua que de canto rodado y dan mezclas más ásperas, pero con mejores resistencias (Geymayr, 1985).

1.3.1. Granulometría

Se conoce por granulometría a la distribución del tamaño de los granos que integran al agregado. Esta característica marca de una manera muy especial la calidad del concreto.

El tamaño de los granos se mide de forma indirecta mediante tamices de diferentes aberturas calibradas, según la norma COVENIN 254-77 (ASTM E 11-70).

Para determinar la granulometría del agregado fino se aplica la norma COVENIN 255-77 (ASTM C 136-71), expresando la granulometría en retenidos parciales en cada tamiz, expresado en peso o en porcentaje, o retenidos acumulados, principalmente en porcentaje. La usual es la pasante total por cada tamiz como porcentaje en peso. La granulometría del agregado fino tiene la mayor influencia en la plasticidad del concreto (Porrero, 2004).

1.3.2. Peso por unidad de volumen

Existen tres maneras de determinar las relaciones peso-volumen (ver tabla N° 3), los cuales son un indicativo de la calidad del agregado (Porrero, 2004).

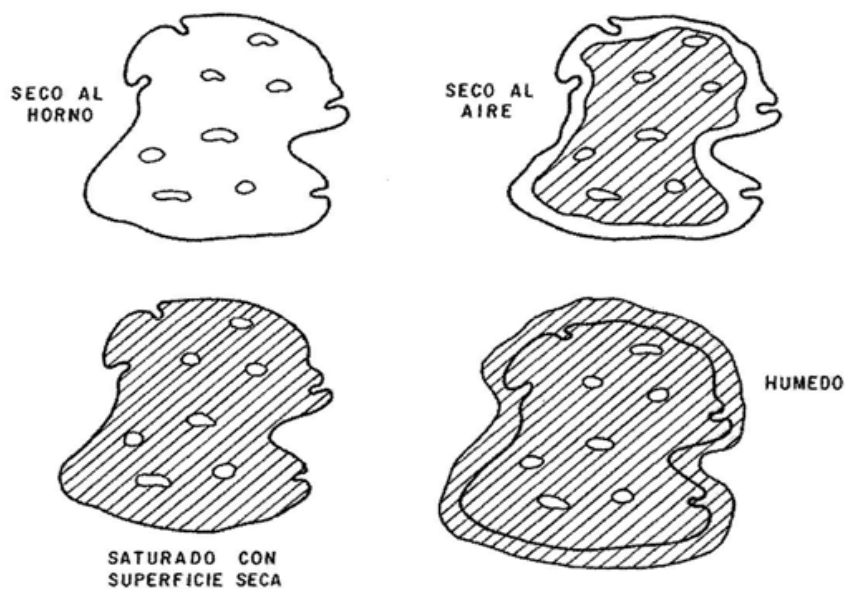
- **Peso Unitario Suelto:** Ésta se determina llenando un recipiente, del cual se conoce su volumen, el agregado se deja caer libremente desde una altura determinada, luego se pesa y se obtiene la relación peso- volumen. Norma COVENIN 263-78 (ASTM C 29-71).
- **Peso Unitario Compacto:** La norma COVENIN 263-78 (ASTM C 29-71), también rige la forma de tomar esta medida, se realiza de manera similar al anterior pero compactando el material dentro del recipiente.
- **Peso Específico:** Norma COVENIN 268-75 (ASTM C 128-68), y Norma COVENIN 269-78 (ASTM C 127-68). Es el peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado, sin incluir espacio entre los granos.

Tabla N° 3. Valores usuales de agregados no livianos (Porrero, 2004)

Propiedad	Gruesos	Arena
Peso unitario suelto (Kg./l)	1,4 a 1,5	1,5 a 1,6
Peso unitario compacto (Kg./l)	1,5 a 1,7	1,6 a 1,9
Densidad (peso específico)	2,5 a 2,7	2,5 a 2,7

1.3.3. Humedad

La humedad es la diferencia entre el peso del material húmedo y el mismo secado al horno y se puede expresar como porcentaje, referido al material seco. La humedad en los materiales puede estar en el agregado rellenando los poros y microporos del mismo o como una capa envolvente. En la figura 1 se muestra un esquema ilustrativo (Porrero, 2004).

**Figura N° 1.** Distintas condiciones de humedad de los agregados(Porrero, 2004).

El agua contenida en los poros de los granos no pasa a formar parte del agua de la mezcla, sino todo lo contrario, puede absorber parte de ésta, en cambio, el agua en la capa envolvente puede aportar agua a la mezcla. El punto de equilibrio entre el material seco y el húmedo se conoce como agregado saturado con superficie seca, esta condición solo se logra en laboratorio sin necesidad de alta tecnología, sin embargo, no resulta fácil lograr este estado en el agregado (Porrero, 2004).

1.4. Aditivos

Son todos aquellos productos químicos que se añaden en pequeñas proporciones a los componentes principales con la finalidad de modificar algunas de las propiedades de la mezcla o del concreto endurecido. (Porrero, 2004).

1.5. Adiciones

Existen materiales inertes a la reacción agua-cemento que se añaden al concreto con la finalidad de obtener alguna característica ventajosa, un ejemplo de adición es calizas molidas que se usan para favorecer la plasticidad de las mezclas (Porrero, 2004). En el caso de este estudio una de las adiciones es el polipropileno

2. Relación entre la calidad del concreto y su composición

Las propiedades del concreto dependen primordialmente de la proporción y de las características propias de los componentes que lo integran. Estas porciones están expresadas en peso o volumen por cada unidad de volumen de concreto (Kg./m^3) y l/m^3 , respectivamente). Por ejemplo, 300 Kg/m^3 de cemento representa 300 Kg de cemento en un m^3 de concreto.

2.1. Relación triangular

Las tres variables de la zona triangular se mueven en conjunto, se pueden relacionar estas variables por una fórmula exponencial de origen empírico:(Porrero, 2004).

$$C = \frac{k \cdot T^n}{\alpha^m} \quad \text{Ec. [1]}$$

donde:

C= dosis de cemento (Kg/m³)

α = a/c= relación agua/cemento en peso

T= asentamiento en el Cono de Abrams (cm.)

K, m, n son constantes que dependen de otros factores no considerados en la figura 2

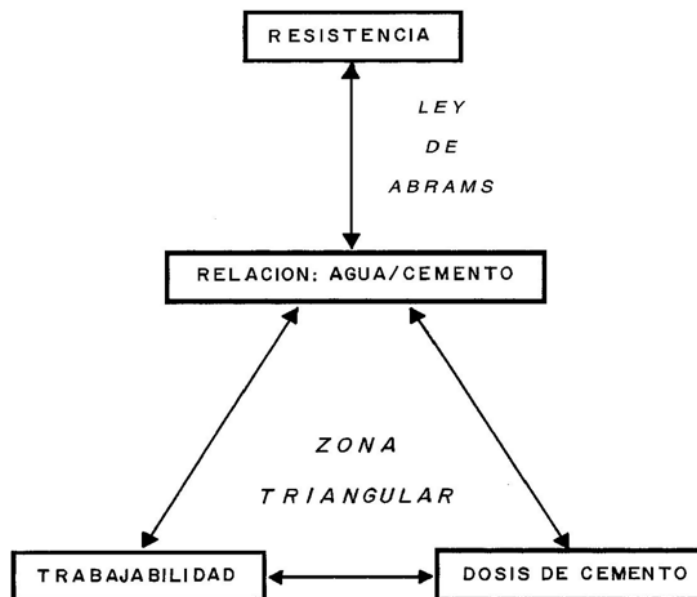


Figura N° 2. Relación triangular (Porrero, 2004).

2.2. Ley de Abrams

En 1914, Duff A. Abrams estableció la conocida Ley de Abrams que dice: “La resistencia de un concreto está en proporción inversa a la relación a/c (agua/cemento) empleada, siempre y cuando el concreto haya sido bien compactado” (Geymayr, 1985).

La expresión a/c, relación agua-cemento, es una medida de la calidad de la resistencia del concreto. Generalmente, esta relación se encuentra entre 0,4 y 0,8. A relaciones más bajas, la resistencia del concreto aumenta (Geymayr, 1985).

2.3. Reología

Se entiende por reología del concreto al conjunto de características de la mezcla fresca que permiten su manejo y posteriormente su compactación, es decir, su viscosidad y tixotropía a lo largo del tiempo.

2.3.1. Trabajabilidad

La trabajabilidad de la mezcla describe su viscosidad, esto es, como fluye la mezcla cuando está fresca, permitiendo manejarlo sin que se produzca segregación entre los componentes. La trabajabilidad está relacionada con el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del Cono de Abrams. El asentamiento es una medida de la plasticidad de la mezcla (Porrero, 2004).

2.3.2. Cono de Abrams

Es un dispositivo cónico de 30 cm. de alto con diámetro entre 10,2 y 20,3 cm. para medir la consistencia del concreto fresco. El procedimiento se realiza según la Norma COVENIN 339 (ASTM C 143-69).

“Se llena el cono con concreto en tres capas, cada una compactada con 25 golpes con una barra” (Geymayr, 1985). Se retira el exceso del concreto con una llana metálica, de modo que el cono quede perfectamente lleno y enrasado. Se retira el concreto que pueda haber caído alrededor de la base del cono. “Cuando se levanta

el cono (lentamente), el concreto se acomoda bajo su peso propio” (Geymayr, 1985). El asentamiento es la distancia que ha bajado el concreto fresco con respecto al cono, como se muestra en la figura 4.

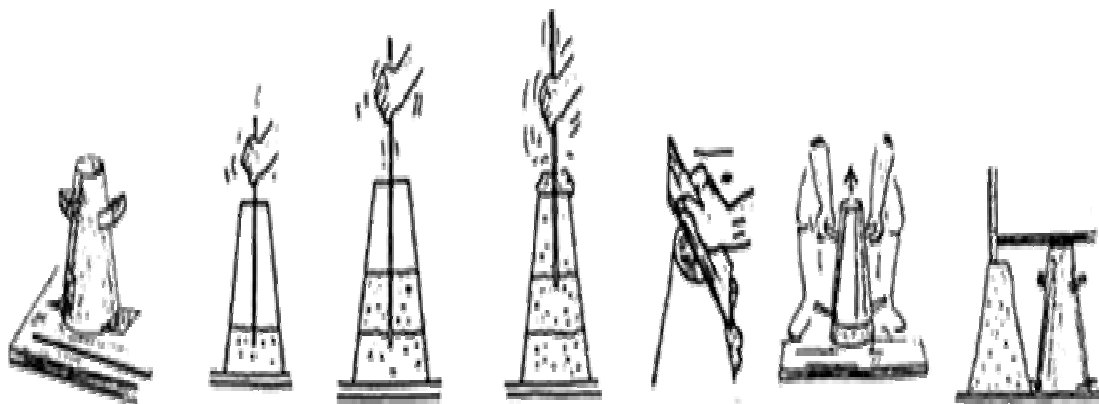


Figura N° 3. Cono de Abrams y su manejo (Asociación Argentina Hormigón Elaborado, 2003)

3. Resistencia del concreto a la compresión.

Una medida de la calidad del concreto es su resistencia a la compresión. Para esto, se realizan una serie de ensayos en probetas normalizadas en un período establecido y siguiendo un procedimiento señalado. Se debe realizar un mínimo de tres probetas, para contar con una confiabilidad estadística.

En nuestro país las probetas normalizadas son de forma cilíndrica, de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura. La pauta que la regula es la norma COVENIN 338 (ASTM C 31, C 39 y C 192) (Porrero, 2004).

3.1. Resistencia a la tracción indirecta.

El ensayo aplicado a una probeta cilíndrica en dos generatrices opuestas se conoce como ensayo a la tracción indirecta o ensayo brasileño. Este ensayo es muy

sencillo, aunque se obtienen valores menores de resistencia y la dispersión es mayor. Su ejecución está descrita en la norma COVENIN 341 (ASTM C 496) (Porrero, 2004).

4. Concreto ligero

El concreto normal presenta el inconveniente de su elevada densidad que penaliza los pesos propios de la estructura. Por ello, en distintas épocas se ha buscado hacerlo más ligero, con la utilización de agregados ligeros, naturales o artificiales.

Hay precedentes históricos como la cúpula del Panteón, en Roma, del siglo II a.c., de 44 m de diámetro, en donde se empleó piedra pómez como agregado de la mezcla.

Pasando a nuestra época, en 1917 ya se produjeron en Estados Unidos agregados ligeros en hornos rotatorios por expansión de arcillas y pizarras que, entre otras cosas, se emplearon en calzadas de puentes y cascos de buque, experimentando dicha tecnología un fuerte desarrollo en los años cincuenta, debido a la construcción de rascacielos.

El desarrollo en Europa de la fabricación de agregado ligero ha sido más lento aunque, en estos momentos, alcanza cotas de importancia.

Aunque los agregados ligeros pueden ser naturales, los concretos ligeros se basan en agregados fabricados industrialmente, por expansión, en hornos de arcilla o pizarra, en general, con lo que se logran unas propiedades definidas y fiables.

La expansión crea un agregado que encierra cantidades variables de aire en su interior y que proporciona ligereza (densidades aparentes entre 300 y 800 kg/m³) y elevados valores de aislamiento térmico y acústico. La ligereza de los agregados se traduce en la del concreto con ellos fabricado, que oscila entre 1,000 y 2,000 kg/m³ para el concreto ligero estructural, alcanzando, sin embargo, resistencias elevadas que

permiten el pretensado e incluso su calificación de concreto de alta resistencia (> 50 MPa).

La fabricación de estos concretos precisa tener en cuenta, en lo que a dosificación respecta, los fenómenos de desecación por absorción de agua durante el mezclado, transporte y vertido, que afectarían la docilidad, aunque un exceso de agua perjudicaría el aislamiento térmico y podría permitir la flotación del agregado grueso, más ligero, debido a la vibración. El bombeo también es un tema para estudiar, debido a que la presión introduce agua de la mezcla en el agregado, secándola, con el peligro de que se forme una obstrucción en la tubería. Se necesita un curado más intenso que con el concreto normal, ya que el calentamiento de fraguado es mayor, debido a la menor masa presente y menor conductividad térmica. (Ramírez, 1999)

5. Concretos poliméricos

La construcción en nuestros días viene exigiendo materiales que superen las propiedades habituales y las limitaciones existentes. En el dominio de los concretos que estamos tratando se persigue, desde hace tiempo, el lograr con rapidez resistencia altas y muy altas, sobre todo para prefabricados, a fin de disminuir tamaños, espesores y peso propio, siendo muy importante el disponer de una relación tensión/compresión más alta que en los concretos habituales.

Además de la resistencia, la durabilidad es otra propiedad cada vez más valorada, hoy que observamos cierta vejez prematura de abundantes estructuras de concreto, construidas, ciertamente, con una tecnología incipiente y con defectos de calidad en muchos casos, pero que no permite olvidar cierta debilidad del concreto frente a ambientes agresivos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la utilización de polímeros en el concreto, que comenzó en los años 1950 en forma de adiciones para mejorar la adherencia y resistencia al desgaste de morteros o la fabricación de mármol artificial, ha dado paso,

en los últimos 25 años, a un amplio reconocimiento de los concretos fabricados o modificados con polímeros como material de construcción. Dentro del campo de la tecnología de polímeros, en asociación con el concreto, se pueden distinguir tres tipos de materiales, de acuerdo con sus condiciones de fabricación.

El concreto modificado con polímeros, se logra adicionando la resina en el mezclado de cemento y agregados, con lo que la matriz ligante queda constituida por cemento y polímero. El concreto impregnado con polímeros se fabrica por introducción de un monómero o polímero en la red de poros del concreto –ya endurecido– y posterior polimerización *in situ*, lo que provoca un taponamiento de los canales de contacto del concreto convencional con el exterior. Por último, la denominación de concreto polimérico se refiere al material que resulta del mezclado de los agregados con resinas como único aglomerante.

Los polímeros empleados son variados, dependiendo del tipo de concreto, pero, en el caso de los citados últimamente (concretos poliméricos), las resinas más utilizadas son las epoxi, las de poliéster insaturado y las de metacrilato.

El hormigón polimérico es, en esencia, una mezcla constituida por dos fases: una continua, que es la resina, y otra dispersa, que es el agregado.

Las características del material dependerán, fundamentalmente, de estos dos constituyentes, pudiéndose controlar para posibilitar la fabricación de un material "hecho a medida", de forma que tengan un amplio espectro de aplicación.

En sus propiedades más elevadas puede obtenerse:

- Muy alta resistencia a la compresión, 100/150 MPa.
- Muy alta resistencia a la tensión, 30/40 MPa.
- Muy alta relación de las resistencias a la tracción y a la compresión, 1:4, frente al 1:10 del concreto normal.

- Gran rapidez de endurecimiento (horas).
- Excelente durabilidad frente a agentes químicos agresivos.
- Curva carga-deformación del tipo usual en concretos.

Los principales problemas provienen de las propiedades viscoelásticas del polímero, lo que significa un módulo de elasticidad no demasiado alto, fluencia más acusada y susceptibilidad a la temperatura, que no podrá pasar de niveles del orden de los 100 °C.

Hay que cuidar el valor de la tensión para cargas mantenidas, pues, por efecto de la fluencia, se llega a la rotura a niveles tensionales a veces sustancialmente menores que la carga de rotura. Para muchos concretos poliméricos comunes puede ser peligroso el mantenimiento de 50 por ciento de la carga de rotura.

El manejo de estos concretos es el normal en cuanto a equipos de mezclado y compactación, pero debe estudiarse previamente el tiempo de polimerización que permita la colocación, sobre todo en grandes cantidades, que puede reducirse por efecto del calor desprendido, y prever posibles deformaciones residuales al endurecer, máxime cuando hay armaduras internas, que siempre es recomendable que se coloquen aunque el material presente una importante resistencia a la tensión. Otras precauciones deben dirigirse a la protección de los operarios y frente a incendio, debido a los volátiles que se producen, y a la limpieza de todos los útiles después del trabajo.

Además del moldeado normal, es posible producir elementos por inyección, de espesores de 20 mm y menores, no teniendo las piezas por qué estar en los moldes más de 30 minutos. La prefabricación es un sector de gran potencial para una posible expansión de este tipo de productos. A las ventajas genéricas de los morteros y concretos poliméricos se unen, para este tipo de productos, las posibilidades de adhesión, fijación con insertos metálicos, color, textura superficial, etc. Además, la

ligereza de las piezas frente a las de concreto tradicional las puede hacer competitivas, compensando el mayor precio con menores costos de transporte y de colocación.

Un campo de utilización importante es el de la reparación de estructuras de concreto, gracias a las altas resistencias específicas, la posibilidad de pequeños espesores, la fuerte adhesión a los sustratos y la impermeabilidad frente a agentes agresivos.

Desde el punto de vista del cálculo, no hay todavía un código establecido, pero se obtienen buenos resultados con la metodología del concreto armado tradicional, adaptando el diagrama carga-deformación, de acuerdo con las propiedades específicas del material, a la forma parábola-rectángulo, rectángulo o triángulo-rectángulo, siendo esta última la que hemos tenido ocasión de comprobar. (Ramírez, 1999)

6. Concreto reforzado con fibras

Aunque se esté considerando un material moderno, las fibras se han utilizado históricamente para reforzar materiales frágiles: la paja, para los ladrillos de arcilla cocidos al sol; el pelo de caballo, para las molduras de yeso; el asbesto (hoy prohibido), para fabricados de cemento.

En 1950 aparecen estudios y patentes de aglomerados de cemento con fibras distribuidas al azar, y en los años sesenta diversos científicos publican artículos que despiertan el interés de la investigación académica e industrial sobre el tema. A partir de ese momento ha existido una actividad muy intensa de investigación sobre estos materiales, a la vez que se ha construido con dichos productos.

Los materiales de cemento hidráulico reforzados con fibras suponen una amplia familia de productos. El comportamiento de estos materiales depende de la composición de la matriz, mortero o concreto, y del material de la fibra, su geometría,

su distribución, orientación y concentración. Por ello, hay que admitir diferentes leyes de comportamiento dentro de los mismos.

A continuación nos referiremos, fundamentalmente, a los concretos, dentro de la comparación que estamos haciendo.

Las fibras pueden ser de acero, vidrio, sintéticas (acrílicas, aramida, carbono, nylon, poliéster, polietileno, polipropileno) y naturales (coco, sisal, bagase). Si exceptuamos las fibras de acero, que pueden llegar a tener hasta medio milímetro de diámetro, las otras se mueven en diámetros de 10 a 100 micras. Sus resistencias oscilan entre 0,3 y 3,5 GPa, es decir, alcanzan valores hasta 10 veces el del acero corriente.

Un parámetro característico de las fibras es, precisamente, el que define su esbeltez o aspecto (longitud dividida por diámetro equivalente), que para longitudes de fibras entre 6 y 75 mm tiene valores entre 30 y 150. Otra magnitud que influye en el comportamiento es el espaciamiento, que es función del porcentaje de fibra y de su diámetro o volumen.

El concreto reforzado con fibras tiene un mecanismo de comportamiento respecto al material en masa tal que la primera grieta se forma para cargas superiores, tanto más cuanto menor es el espaciamiento, estableciéndose, después de esa primera grieta, un periodo dúctil tras alcanzarse una resistencia máxima, que depende del volumen, del aspecto y de la adherencia de las fibras.

Con fibras de acero hasta 4,5 por ciento de volumen, por ejemplo, se obtienen hasta 2,5 veces mayores resistencias a la flexión. La resistencia a la compresión aumenta sólo ligeramente, pero la tenacidad, energía necesaria para la fractura completa del material, se incrementa hasta valores del orden de 40 veces el correspondiente al concreto sin fibras. También es muy interesante la resistencia al

impacto, la menor fluencia del material bajo carga mantenida y la gran mejora de la resistencia a la fatiga.

La elaboración de estos materiales compuestos se hace normalmente por mezclado o por proyección. En el mezclado se presentan dificultades por la posible segregación y, sobre todo, por la formación de bolas y erizos, lo que puede disminuirse utilizando agregado de tamaño máximo reducido, del orden de 10 mm. Esto implica la utilización de agitadores para dispersar las fibras y alimentadores a continuación del paso por un tamiz. Se puede bombear con éxito, siempre que no se emplee un volumen muy alto de fibra y se utilicen tuberías mayores que las habituales. Hay que tener en cuenta que eso se hace, habitualmente, con el concreto proyectado (shotcrete) por vía húmeda.

La mejora generalizada que la fibra dispersa proporciona en resistencia a la tensión y tenacidad hace que se emplee bastante en losas de aeropuertos y carreteras, en la reparación de piezas con problemas de cavitación, en depósitos, bancadas y cimentaciones de máquinas que producen choques y vibraciones, muelles y rompeolas, etcétera. (Ramírez, 1999)

El concreto del cemento de Pórtland se considera un material relativamente frágil. Cuando está sometido a tensiones extensibles, el concreto no-reforzado se agrietará y fallará. Desde mediados del siglo XIX se ha utilizado el acero como refuerzo para superar este problema. Como sistema compuesto, el acero que refuerza se encarga de asumir todas las cargas extensibles.

Actualmente las fibras, utilizadas en materiales compuestos tradicionales, como fibra de vidrio, poliméricas, etc.) se han introducido en la mezcla del concreto para aumentar su dureza, o la capacidad de resistir la formación de grieta.

El concreto del cemento de Pórtland reforzado con fibras colocadas más o menos aleatoriamente es comúnmente llamado FRC, por sus siglas en ingles Fiber Reinforced Concrete. En FRC, los millares de fibras pequeñas se dispersan y se distribuyen aleatoriamente en el concreto durante el mezclado, y mejoran así características del concreto en todas las direcciones. Las fibras ayudan a mejorar la ductilidad, fuerza extensible de la pre-grieta, Resistencia a la fatiga, Resistencia al impacto y a eliminar la ruptura por temperatura y la contracción. [Ziad, 1989]

Diversos tipos de fibras, artificiales y naturales, se han incorporado en el concreto. El uso de fibras naturales en concreto precede el advenimiento del concreto reforzado convencional en contexto histórico. Sin embargo, los aspectos técnicos de los sistemas de FRC seguían siendo esencialmente subdesarrollados. Desde el advenimiento de reforzar el concreto con fibra en los años 40, se han realizado muchas pruebas con varios materiales fibrosos para determinar las características y las ventajas reales para cada producto.

Diversos tipos de fibras se han utilizado para reforzar las matrices de cemento. La opción de fibras varía desde los materiales orgánicos sintéticos tales como polipropileno o carbón, inorgánico sintético tal como acero o vidrio, orgánico natural tal como celulosa o sisal hasta el inorgánico natural asbesto. Los productos comerciales se refuerzan actualmente con fibras de acero, de vidrio, de poliéster y de polipropileno. La selección del tipo de fibras es dirigida por las características de las fibras tales como diámetro, la gravedad específica, el módulo de Young, la fuerza extensible, etc. y el grado en que estas fibras afectan las características de la matriz de cemento. [Daniel, 1998]

7. Comportamiento de las fibras del polipropileno en una matriz de cemento

Cuando se trabaja con fibra, como refuerzo del concreto, una de las principales ventajas que se obtiene es que estas crean un puente sobre las grietas internas; y

cuando el sistema compuesto de concreto reforzado con fibra es sometido a una carga la fibra se estira más que el concreto, evitando así la formación de grietas mayores.

Es de hacer notar que el sistema compuesto de concreto reforzado con fibra, se asume como concreto no reforzado al momento de trabajar; hasta que se forman las primeras grietas internas, momento en el cual el refuerzo de fibra asume el control y mantiene el concreto unido.

Sin embargo, los refuerzos de fibras no cuentan con una superficie deformable tan amplia como las de las barras de acero para refuerzo, que tienen una superficie no lisa que ayuda a vincular las propiedades mecánicas, condición que representa una desventaja en la aplicación de la fibra como refuerzo para el concreto.

Es importante señalar que las características principales que influyen la dureza y la carga máxima del concreto reforzado con fibra se basan en el tipo de fibras usadas, el porcentaje en volumen de fibra, y la orientación de las fibras en la matriz.

8. Fabricación del concreto reforzado con fibra de polipropileno.

Las fibras del polipropileno se agregan al concreto en varias formas y usando varias técnicas. Las fibras se pueden incorporar en el concreto como fibras tajadas brevemente discretas, como una red continua de fibrillas, o como malla tejido. La disponibilidad de la forma de la fibra decide al método de fabricación. Cada método tiene sus propias limitaciones. La opción del método es definida por el porcentaje del volumen de las fibras que se pueden obtener durante la fabricación usando una técnica particular.

Daniel, Roller y Anderson indican que Walton y Majumdar produjeron paneles concretos reforzados con la fibra de polipropileno usando una técnica de “*riego en spray*”. [Daniel, 1998) Se pueden obtener porcentajes en volumen fibra hasta 6% usando esta técnica. Los compuestos que incorporaban el monofilamento cortado y fibrillas de polipropileno se producen usando una técnica de mezclado, desecado y el presión. Volúmenes de fibra hasta 11% han sido obtenidos mezclando la fibra cortada

directamente en la matriz con altos cocientes del agua-cemento y después quitando exceso del agua con la succión y presionando.

Una técnica llamada “hand lay-up” fue utilizada para producir compuestos con las redes continuas de fibrillas de polipropileno. Altos porcentajes de volumen de fibras (hasta 12%) en la matriz del cemento puede ser obtenido usando esta técnica. [Daniel, 1998]

Cuando las fibras de polipropileno se incorporan en la mezcla de concreto convencional, los porcentajes de fibras se deben mantener relativamente bajos. Esto indica que son necesarias condiciones de mezcla especiales para obtener altos porcentajes de la fibra. Varios investigadores han reconocido que la adición de la fibra del polipropileno en el concreto tiene un efecto marcado en el asentamiento del concreto, que es una medida de cómo fluye el concreto. El asentamiento para el concreto reforzado con fibra es dependiente de la longitud de la fibra y de la concentración de la fibra. (Daniel, 1998)

Como las fibras del polipropileno son hidrofóbicas y no polares, pueden ser mezcladas antes para asegurar la dispersión uniforme en la mezcla de hormigón. En el caso de fibrillas o las fibras en cinta, se debe esperar un mínimo para mezclar para evitar el destrozo innecesario de la fibra. Las fibras del polipropileno se agregan generalmente al concreto mezclado después de que todos los ingredientes normales se mezclen totalmente. Al colocar el concreto la trabajabilidad se afecta pues la adición de las fibras del polipropileno tiene un impacto negativo en el asentamiento y la trabajabilidad del concreto. Una cantidad óptima de superplastificante evita el problema de la reducción en trabajabilidad [Brown, 2001]

El concreto mezclado con fibra se puede colocar usando métodos convencionales. Para asegurar un funcionamiento máximo todo el aire encerrado se debe expeler del

concreto para alcanzar densidad óptima. También durante el proceso de incorporación de las fibras del polipropileno, se debe compactar mejor el concreto. Generalmente, las fibras del polipropileno, cuando están mezcladas con concreto, responden bien a las técnicas convencionales de la compactación y las fibras no segregan fácilmente la mezcla. (Daniel, 1998)

9. Ventajas y desventajas del concreto reforzado con fibra.

El concreto reforzado con fibra ha comenzado a encontrar su lugar en muchas áreas de los usos civiles de la infraestructura donde se presenta la necesidad de reparar y aumentar durabilidad. También el concreto reforzado se utiliza en las estructuras civiles donde la corrosión se quiere evitar al máximo. Cuando se utiliza en puentes ayuda a evitar fallas catastróficas. También en las áreas propensas a temblor el uso del concreto reforzado con fibra reduciría al mínimo ciertamente las muertes humanas. Además, las fibras de polipropileno reducen o alivian las fuerzas internas bloqueando la formación de grietas microscópicas dentro concreto. La desventaja principal asociada al concreto reforzado con fibra esta en la fabricación. El proceso de incorporar fibras en la matriz del cemento es dependiente de trabajo y más costoso que la producción del concreto simple. Pero la ventajas verdaderas ganadas por el uso de concreto reforzado eliminan esta desventaja. (Brown, 2001)

10. Polipropileno y fibras de polipropileno – estructura y características.

10.1 Polipropileno

El polipropileno (PP) es un material termoplástico versátil, que es producido polimerizando unidades del monómero de las moléculas de propileno en moléculas muy largas del polímero o en cadenas en presencia de un catalizador bajo condiciones cuidadosamente controladas de calor y presión. El propileno es un hidrocarburo no saturado, conteniendo los átomos solamente del carbón y del hidrógeno.

Hay muchas maneras de polimerizar las unidades del monómero, pero como el PP es un material muy usado comercialmente en forma de fibras, se utilizan los catalizadores que produzcan cadenas cristalizables del polímero. Con Ziegler-Natta, la reacción de la polimerización es estéreo-específica. Las moléculas del propileno agregan a la cadena del polímero en una orientación particular, dependiendo de la estructura química y cristalina del catalizador, y una estructura tridimensional se produce en la cadena del polímero.

El polipropileno es una de los termoplásticos de más rápido crecimiento, con una cuota de mercado de 6-7% por año. El volumen de polipropileno producido es excedido solamente por el polietileno y el cloruro de polivinilo. El costo moderado y las características favorables del polipropileno contribuyen a su tarifa de fuerte crecimiento. El polipropileno es uno de los más ligeros los polímeros (0,9 g/cc). La razón del renombre de las fibras del polipropileno está debido a la flexibilidad del material. Tiene una buena combinación de características, más económica que muchos otros materiales que pertenecen a la familia de poliolefinas y pueden ser manufacturados por varias técnicas. Estas ventajas se derivan de la misma naturaleza y de la estructura del polipropileno (Clive, 1998)

10.2 Fibras de polipropileno

Las fibras son uno de los usos más importantes para el homopolímero del polipropileno. Debido a que la formación de la fibra es más fácil comparada con otros polímeros. Su baja densidad da lugar a una producción más alta de fibra por kilo del material. (Clive, 1998)

Las virutas del polipropileno se pueden convertir a filamentos por el proceso de hilado fundido tradicional, aunque los parámetros de funcionamiento necesitan ser cambiados dependiendo de los productos finales. El hilado fundido es un proceso en

el cual el polímero fundido es forzado a través de una hilera, una placa de metal que contenga entre 100-200 agujeros o tubos capilares, cada uno con un diámetro menos de 0,008 pulgadas. El polímero fundido emerge de la hilera como filamentos continuos de la fibra que se enfrían usando agua o corriente del aire. Las fibras después son ablandadas calentando a una temperatura cerca del punto de fusión y estiradas. Este proceso reduce la sección representativa y produce la orientación en las fibras, dando como resultado una alta resistencia a la tensión. (Clive, 1998) El modo de la polimerización, su alto peso molecular y orientación molecular y el proceso que se adopta para la fabricación determina las características de las fibras del polipropileno (Hannant, 1978)

Las fibras del polipropileno están disponibles en dos diferentes formas; Monofilamentos y multifilamentos. Los monofilamentos son cintas del polipropileno integradas por un solo filamento hecho por hilado fundido. Los tamaños de monofilamentos van desde 75-5000 denier (1 denier = es numéricamente igual a el peso en gramos de 9,000 metros de hilo.). (Hannant, 1978, Cliver, 1998)

Los monofilamentos se utilizan en productos más tejidos mas tiesos como cuerda o guita. Las cuerdas producidas así tienen alta resistencia de desgaste, no absorben el agua, flotan debido a la baja densidad y conservan la resistencia cuando son humedecidas. Las fibras del monofilamento son caracterizadas por la superficie altamente reflexiva y translúcida, el poder absorbente limitado, la alta dureza y la buena fuerza extensible. Varios monofilamentos individuales con denier ≤ 75 se agrupan en un solo paquete continuo para producir los multifilamentos. (Cliver, 1998, Ahmed, 1982)

11. Uso de las fibras del polipropileno en concreto.

Actualmente se producen grandes cantidades de fibra de polipropileno con la finalidad de ser empleado como refuerzo del concreto, debido a las características que

esta fibra posee; tales como su alto punto de fusión, entre los polímeros; que alcanza los 165 °C; además es químicamente inerte, lo que la hace resistente a la mayoría de los productos químicos; cuenta con una superficie hidrofóbica que evita la absorción de agua de la pasta de cemento, por lo que no afecta los requerimientos de agua de la mezcla (Daniel, 1998).

CAPITULO II

ANTECEDENTES

Durante el transcurso de las ultimas décadas, se han venido realizando gran serie de investigaciones en el área de la tecnología de los materiales, con la finalidad de satisfacer la necesidades de modificar las propiedades del concreto, tales como la tracción, la dureza, ductilidad y durabilidad.

Históricamente las fibras han sido utilizadas para mejorar y reforzar estas propiedades. Inicialmente se utilizaban fibras de origen vegetal, en los últimos años las fibras de polímeros son ampliamente empleadas para lograr satisfacer tal necesidad. Al respecto en esta sección se presentan algunos estudios realizados empleando para ello materiales poliméricos:

Romualdi, (1988), estudio como pequeños porcentajes de fibras de polipropileno ayudan a controlar el microcracking interno, aumentando así la fuerza extensible del concreto. Cuando el concreto se seca, se contrae y durante este proceso las tensiones internas aumentan, provocando una falla de tensión hasta formar microgrietas internas, estas microrajas tienden a unirse hasta formar grietas de mayor tamaño, debilitando así el material. El estudio incluyó ensayos de contracción y determinación del módulo de ruptura, los resultados revelaron que la presencia de porcentajes relativamente bajos de fibras de polipropileno causan un efecto sobre el microcracking interno, el cual consiste en reducir la tendencia a formar fracturas o grietas de mayor tamaño. De igual forma concluyeron que las fibras no ejercen alta influencia en la etapa de curado.

Bentur et al (1989), estudiaron los efectos de bajos volúmenes (0.1 % 0.5 %) de fibrillas de polipropileno, usadas como refuerzo, en las propiedades del concreto, principalmente, en la resistencia al impacto. Las principales conclusiones a las que llegaron fueron: (1) Las diferentes fibras comerciales de polipropileno que se evaluaron exhibieron un buen acoplamiento con la matriz. Sin embargo, a pesar del enlace favorable, un contenido bajo del refuerzo de fibra del polipropileno (0,1 a 0,5%) mostraron poca influencia en la resistencia al impacto de los concretos normales y de alta resistencia; (2) en la carga estática, un contenido bajo de refuerzo de polipropileno conlleva a una mejora marcada en la resistencia a la fractura, sugiriendo que desde un punto de vista práctico su uso potencial es para el control de las grietas inducidas por la carga estática, y no para aumentar la resistencia a la carga dinámica; y (3) hay ventajas potenciales en el uso de un contenido bajo en volumen de las fibras de polipropileno, para realzar la resistencia al impacto del concreto convencionalmente reforzado.

Nagabhushanam et al G. (1989), determinaron la fuerza flexural de fatiga del concreto reforzado para tres concentraciones de fibras de polipropileno. Compararon las características y el funcionamiento de concretos frescos y endurecidos con y sin las fibras. Evaluaron la resistencia a la fatiga y la resistencia a la flexión; determinaron las características del concreto endurecido, tales como resistencia a la compresión, el módulo estático, la velocidad del pulso ultrasónico e índices de dureza; así como las características del concreto fresco, incluyendo el asentamiento, tiempo del cono invertido, el contenido del aire, y la temperatura del concreto. Los resultados de la prueba indicaron un aumento apreciable en la capacidad post-grieta de absorber energía y la ductilidad debido a la adición de fibras. En comparación con el concreto sin refuerzo, la resistencia a la flexión y el límite de la resistencia (para 2 millones de ciclos) aumentaron perceptiblemente. La fuerza flexural estática aumentó después de ser sujeto a fatiga.

Soroushian et al (1992), realizaron un estudio comparativo de la eficacia del uso de fibras de polipropileno y fibras de poliestireno, cuando ambas se usan en fracciones relativamente bajas en volumen, para optimizar las propiedades mecánicas del concreto. Realizaron ensayos de flexión, impacto y compresión y los resultados fueron analizados estadísticamente. Del estudio concluyeron que fracciones mas bajas en volumen de fibras de polietileno pueden producir mejora en la resistencia a la flexión y resistencia al impacto comparables con las producidas cuando se usa un porcentaje mayor de fibras de polipropileno.

Al-Khaja, (1995), investigo los efectos del uso de fibra de polipropileno como refuerzo para mezclas de concreto, y así obtener datos sobre la resistencia y deformación en función del tiempo para un posible uso de estas fibras en la construcción. Los ensayos de compresión, resistencia a la ruptura y tensión fueron realizados variando desde 0,1% hasta 3% el porcentaje en peso de fibra en el cemento. También estudio el efecto de la fibra en la contracción y el encogimiento. Obtuvo como resultado que el uso de fibra de polipropileno aumenta considerablemente la resistencia a la tensión cuando se aumenta el contenido de fibra. Por otra parte la resistencia a la flexión y a la compresión se mantuvo consistentemente igual para la variación del contenido de fibra, comparada a los correspondientes valores de estas resistencias en el concreto sin refuerzo. Una ventaja del uso de un alto porcentaje de fibra fue su contribución a aumentar las propiedades de deformación del concreto. Comparado al concreto sin fibra, hay una disminución favorable en la contracción y el encogimiento en los especímenes con un alto contenido de fibra. En particular, para un 3% en peso de fibras observo un rendimiento significativo en la mejora de la resistencia a la deformación.

Huynh et al. (1996), estudiaron la adición de partículas de neumáticos de camiones y fibras de polipropileno al concreto, con el fin de comparar el comportamiento de ambas mezclas en ensayos de resistencia a la compresión, flexión y agrietamiento por contracción plástica frente al concreto normal. Emplearon dos tamaños de partículas de caucho: gránulos de aproximadamente 2 mm. de diámetro y trozos cuyo tamaño oscila entre 5,5 x 1,2 mm. y 10,8 x 1,8 mm. (longitud x diámetro), mientras que para las fibras de polipropileno el tamaño promedio fue de 25,4 mm. de longitud y 15 µm. de diámetro. Se empleó arena, cemento Pórtland tipo I y II y agua destilada en la misma proporción para la elaboración de cada una de las mezclas. La separación de los trozos de caucho en dos tamaños se realizó mediante tamizado: 1) pasantes del tamiz #6 y retenidos en el #8. 2) pasantes del tamiz #8 y retenidos en el #16. Los resultados mostraron una reducción de la resistencia a la compresión y a la flexión a medida que se incrementa el contenido de caucho en el concreto. Para la resistencia a la compresión, observó que la mayor disminución se registra con el caucho granular. Por otra parte, en los ensayos de agrietamiento por contracción plástica observó una demora en la propagación de las fracturas en los ejemplares con contenido de caucho. Igualmente, observaron que las mezclas de concreto con fibras de caucho tienen una trabajabilidad comparable a la del concreto normal, mientras que las mezclas con fibras de polipropileno presentan la peor trabajabilidad.

Pindado et al. (1999), realizaron una serie de pruebas en concretos para asfalto tratado con polímeros, con el fin de aumentar su porosidad y permeabilidad. El concreto poroso se logra con una graduación de tamaño del agregado grueso y poca adición de fino. Debido a su aplicación, el concreto poroso debe cumplir con ciertas características adicionales como son: La parte superior debe ser capaz de atenuar y absorber el ruido, además de tener una

resistencia mecánica apropiada. Sin embargo, cuando la porosidad aumenta la resistencia mecánica disminuye. Por esta razón, experimentaron como aditivo a los polímeros para aumentar la cantidad de poros sin detrimento de perder resistencia mecánica.

Los autores controlaron la cantidad de poros (alrededor del 25%) en las cuatro mezclas realizadas. La mezcla N° 1 fue usada como referencia y por tanto no contenía ningún polímero; las mezclas N° 2 y 3 tenían 13,3 y 23,4 Kg./m³ de polímero, respectivamente; finalmente, la mezcla N° 4 contenía micro sílice. El polímero que utilizaron fue un copolímero acrílico (FORTON VF-774) disperso en agua. En la mezcla N° 1 fue necesario utilizar un superplastificante para obtener una trabajabilidad similar a la mezcla N° 2. Sus cilindros fueron ensayados a los 28 días. Ellos concluyen que la adición de polímeros mejora la conducta de fatiga del concreto poroso ocasionada por el tránsito normal que circula por carreteras y autopistas.

CAPITULO III

METODOLOGIA

En la siguiente sección se presenta la metodología a seguir para cumplir con los objetivos propuestos, se describe el diseño de mezclas así como los materiales y equipos utilizados para la realización de las mismas.

1. Descripción de los materiales de las mezclas de concreto

Las mezclas de concreto están conformadas principalmente por el cemento, los agregados (finos y gruesos), agua y as adiciones que en nuestro caso son las fibras de polipropileno. A continuación se presenta la descripción de cada uno de ellos, así como las propiedades físico-químicas de algunos de ellos:

1.1. Agregados fino y grueso

Los agregados gruesos y finos fueron donados por la compañía Premex, junto con el análisis físico como puede verse en el Apéndice B. En la tabla 4 se resume parte de este informe.

Tabla N° 4. Característica física del agregado grueso y fino

	Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso Especifico (g/cm ³)	2,55	2,70
Porcentaje de Absorción de H ₂ O (%)	2,88	0,54
Peso unitario compacto (Kg/m ³)	1827	1656

1.2 Cemento

El cemento utilizado es cemento tipo Pórtland I, marca LAFARGE, donado por Cementos La Vega. Las propiedades físicas y químicas del cemento fueron suministradas por el fabricante.

Tabla N° 5. Características químicas del cemento
(Unidad de Control de Calidad LAFARGE)

Compuestos	(%)
SiO ₂	19,95
Al ₂ O ₃	5,08
Fe ₂ O ₃	3,37
CaO	64,23
MgO	1,28
K ₂ O	N/D
Na ₂ O	N/D
SO ₃	2,37
TiO ₂	N/D
P ₂ O ₅	N/D
Pérdida al fuego	2,93
TOTAL	99,21
CaO libre	1,34
Residuo Insoluble	1,2
Álcalis	N/D

Tabla N° 6. Características físicas del cemento (Unidad de Control de Calidad LAFARGE)

Residuos (%)	Tamiz 100 (%)	0,2
	Tamiz 200 (%)	2,9
	Tamiz 325 (%)	13,1
Superficie específica (m ² /Kg.)	Blaine	360
Estabilidad del volumen	Consistencia Normal (ml)	155
	Consistencia Normal (%)	23,8
	Fraguado inicial (min)	131
	Fraguado final (min)	211
	Expansión (%)	0,2
Resistencias (MPa)	1 día	9
	3 día	20,7
	7 día	28,1
	28 día	35,5

1.3. Adiciones

La adición agregada a la mezcla de concreto son fibras de polipropileno, donados por la empresa INVERSIONES ANDRIC, ubicada en Maracay Estado Aragua.

1.4. Malla Plástica o Metálica

Para la elaboración de los paneles se utilizaron 2 mallas, una metálica de acero

galvanizado con hexágonos de 2 cm. de largo, por otra parte se utilizó una malla plástica de polietileno con cuadrados de 1,5 cm de largo.



(a)



(b)

Figura 1. Mallas metálica (a) y plástica (b) utilizadas en la elaboración de los paneles

2. Características de las mezclas

Todas las mezclas se hicieron utilizando una relación agua/cemento (a/c) igual a 0,50, la cual es la relación óptima consultada en la bibliografía (Gutiérrez y Matheus, 2006)

Para alcanzar los objetivos planteados se realizaron diferentes tipos de mezclas las cuales se indican a continuación:

- a.- Una Mezcla sin adición de polipropileno utilizada como muestra patrón, llamada también muestra patrón o blanco.
- b.- Mezclas con 0,5%, 1%, 2%, y 3% en volumen de Polipropileno en sustitución del agregado fino.

- c.- Una mezcla con el porcentaje de Polipropileno que muestre mejor comportamiento en los distintos ensayos.

3. Diseño de mezclas

Para el diseño de las mezclas, se calculo previamente la cantidad de cada uno de los compuestos que la integran, basándose en la resistencia que se desea alcanzar a los 28 días, según la Ley de Abrams. Los cálculos tipo correspondientes al diseño de mezcla se encontrara en la sección Anexos.

Por otra parte los valores previamente establecidos para obtener las mezclas son: en primer lugar la relación agua-cemento (α) de 0,50 y el asentamiento fijado entre 6 y 11 cm. (según lo recomendado en la bibliografía) (Porrero, 2004).

En los casos donde la mezcla contenía Polipropileno, se retiro el porcentaje (volumétrico) correspondiente al agregado fino, es decir, arena y se sustituyo por el Polipropileno.

A continuación se presentan los resultados de estos cálculos previamente realizados para 60 litros de concreto de cada mezcla preparada.

En la tabla 7 se presenta el diseño correspondiente a la mezcla patrón.

Tabla N° 7: Diseño de mezcla patrón

Componente	Dosis (Kg.)
Cemento	24,10
Agua	10,20
Arena	64,90
Piedra	41,20

En la tabla 8 se presenta el diseño correspondiente a la mezcla con un 0,5% en volumen de Polipropileno

Tabla N° 8: Diseño de mezcla con 0,5% en volumen de Polipropileno

Componente	Dosis (Kg.)
Cemento	24,10
Agua	10,20
Arena	64,20
Piedra	41,20
Polipropileno	0,275

En la tabla 9 se presenta el diseño correspondiente a la mezcla con un 1% en volumen de Polipropileno

Tabla N° 9: Diseño de mezcla con 1% en volumen de Polipropileno

Componente	Dosis (Kg.)
Cemento	24,10
Agua	10,20
Arena	63,4
Piedra	41,20
Polipropileno	0,55

En la tabla 10 se presenta el diseño correspondiente a la mezcla con un 2% en volumen de Polipropileno

Tabla N° 10: Diseño de mezcla con 2% en volumen de Polipropileno

Componente	Dosis (Kg.)
Cemento	24,10
Agua	10,20
Arena	61,20
Piedra	41,20
Polipropileno	1,10

En la tabla 11 se presenta el diseño correspondiente a la mezcla con un 3% en volumen de Polipropileno

Tabla N° 11: Diseño de mezcla con 3% en volumen de Polipropileno

Componente	Dosis (Kg.)
Cemento	24,10
Agua	10,20
Arena	60,30
Piedra	41,20
Polipropileno	1,70

4. Mezclado

Se utilizó una mezcladora de eje vertical con capacidad nominal de 60 litros. Para ello se utilizó una mezcladora de eje vertical con capacidad nominal de 60 litros

siguiendo el procedimiento descrito en la Norma COVENIN N° 354 (ASTM C 192-69).

Luego del mezclado se procede a realizar la caracterización de la mezcla de concreto en estado fresco: La fluidez de la mezcla y/o trabajabilidad se mide a través del Cono de Abrams según la Norma COVENIN N° 339 (ASTM C 143).

La fibra se agregan en la mezcla una vez agregados y mezclados los restantes componentes y se continua el mezclado

5. Elaboración de cilindros, losas y paneles

Para la elaboración de cilindros se siguieron los pasos establecidos en la Norma COVENIN N° 344 “Concreto fresco. Toma de Muestras”.

Cilindros

Se realizaron los cilindros según la Norma COVENIN N° 338.

Losas

Se elaboraron, para cada una de las mezclas, losas en moldes metálicos con 0,2 metros de ancho, 0,2 metros de longitud y 0,05 metros de alto, Al igual que los cilindros estos moldes deben estar limpios y lubricados con aceite mineral antes proceder al vaciado de concreto

Paneles

Para la elaboración de los paneles se utilizaron los mismos moldes que se elaboraron para hacer las losas, los paneles fueron elaborados colocando una capa de mezcla luego la malla (plástica o metálica) y sobre esta otra capa de mezcla. En los paneles que contienen ambos tipos de malla, estas se colocan superpuestas, es decir,

una capa de mezcla, luego se colocan las dos mallas juntas y sobre estas la otra capa de mezcla.

Curados de probetas y Paneles

El curado de las probetas y paneles se llevo a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la Norma COVENIN N° 338 y COVENIN N° 340, las probetas y paneles fueron retiradas de los moldes 24 horas después de su preparación y se sumergieron en agua limpias en el tanque de curado.

6 Selección de porcentaje optimo

Se realizaron probetas cilíndricas y losas con mezclas con porcentajes de polipropileno de 0,5%; 1%; 2%; y 3% en volumen, cada una de las probetas, cilíndricas y losas., fueron pesadas y medidas antes de cada ensayo. Las probetas cilíndricas fueron ensayadas a los 28 días para resistencia a la compresión usando la norma COVENIN N° 338 y resistencia a la tracción indirecta siguiendo la norma COVENIN N° 341

Las losas fueron marcadas con líneas en donde debían ser apoyadas las cargas para garantizar la distribución de la carga, para medir la resistencia a la tracción por flexión siguen la norma COVENIN N° 343.

El porcentaje que presentó el mejor comportamiento fue utilizado para la elaboración de los paneles.

7. Ensayos Mecánicos

Para caracterizar las mezclas se realizaron ensayos mecánicos a los cilindros, losas y paneles, los ensayos se realizaron en la sede del IMME en la Universidad Central de Venezuela.

7.1 Ensayos en Cilindros

Los ensayos mecánicos que se realizaron en los cilindros a los 28 días después de preparadas las mezclas, fueron resistencia a la compresión y resistencia a la tracción indirecta o ensayo Brasileño. Para realizar los ensayos se utilizó una prensa hidráulica con manómetro, Marca Baldwin, Modelo Universal.

Los ensayos de compresión y tracción indirecta se realizaron de acuerdo al procedimiento descrito en la Norma COVENIN 338 y COVENIN 341 respectivamente.

También se realizaron mediciones de pulso ultrasónico en los cilindros a los 28 días después de realizadas las mezclas, este procedimiento se realizó siguiendo la Norma COVENIN 1681.

7.2. Ensayos en Losas y Paneles

Para las losas se realizaron ensayos de resistencia a la tracción por flexión, para esto se utilizó la misma prensa hidráulica antes mencionada, este ensayo se llevó a cabo según la Norma COVENIN 343.

Por otra parte a los paneles se les realizaron ensayos de la absorción de agua, así como para la influencia del agua salada y ciclos de calor y humedad sobre la resistencia a la tracción por flexión.

7.3. Absorción de agua

Para medir la absorción de aguas en los paneles se sumergen los paneles durante un día en agua, luego se retiran se secan superficialmente y se pesa para calcular su peso húmedo, posteriormente se meten en el horno durante 2 horas se sacan y se

pesan nuevamente, se colocan otra vez en el horno por 2 horas y se pesan si el peso se mantiene este será el peso seco.

7.4. Ciclos de calor y humedad

En este ensayo se sumergen los paneles en agua durante 12 horas, luego se retiran y se introducen en el horno eléctrico a 110 °C durante 12 horas, después se retiran del horno y se sumergen nuevamente en agua, y así sucesivamente hasta completar 5 ciclos de calor y humedad, posteriormente se ensayan para medir el efecto de estos ciclos sobre la resistencia a la flexión.

7.5. Efecto del agua mar

Para estudiar el efecto del agua de mar en los paneles se sumergieron los mismos durante 14 días en unos tanques llenos de agua mar, cumplido el tiempo se retiraron se dejaron secar al aire libre y se ensayaron para medir la resistencia a la flexión. Se utilizó agua de mar sintética para la realización de los ensayos, la composición de esta se presenta en la tabla N° 12.

Tabla N° 12: Composición de Agua de Mar Sintética (<http://marenostrum.org>)

	1 Litro	60 Litros	100 Litros
	Peso (grs.)		
Cloruro de Sodio	24	1440	2400
Cloruro de Magnesio	5	300	500
Sulfato de Sodio	4	240	400
Cloruro de Calcio	1,1	66	110
Cloruro de Potasio	0,7	42	70
Bicarbonato de Sodio	2	d	200
Bromuro de Sodio	0,096	5,76	9,6
Acido Bórico	0,026	1,56	2,6
Cloruro de Estroncio	0,024	1,44	2,4
Fluoruro de Sodio	0,003	0,18	0,3

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

1. Asentamiento

El asentamiento de las mezclas se ve afectado negativamente por la adición del polipropileno, tal como se esperaba de acuerdo a la bibliografía, (Brown, 2001), lo que se evidencia al medir esté con el cono de Abraham. Donde las cuatro mezclas arrojaron un resultado de 0 cm, en contraste con el de la mezcla patrón que fue de 11 cm.

Es de hacer notar que la trabajabilidad en las cuatro mezclas se afecta considerablemente, sin embargo, en las mezclas con un porcentaje de 0,5 y 1 % de fibra la compactación se logra con mayor facilidad que en los casos con mayor concentración de fibra (2 y 3 %) donde la misma no es total.



Figura 12. Asentamiento para la mezcla 1%.

2. Selección del Porcentaje Optimo de Polipropileno

En la primera etapa del estudio, se evaluó la resistencia a la compresión, a la tracción indirecta, a la tracción por flexión, así como la medición del pulso ultrasónico, con la finalidad de seleccionar el porcentaje optimo de fibra de polipropileno a usar, para elabora los paneles.

2.1.- Resistencia a la compresión

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, por lo que se requiere que la perdida de esta característica por la adición de polipropileno sea mínima. Este ensayo se realizo según la norma venezolana COVENIN N° 338.

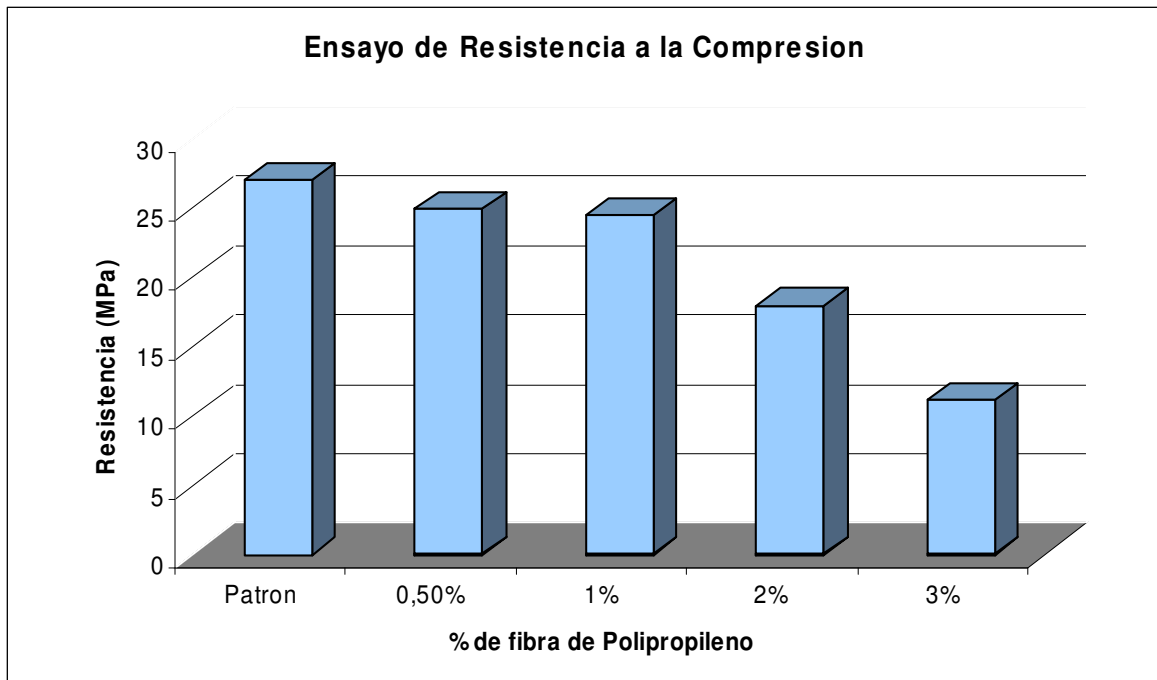


Figura 13. Resistencia a la compresión a los 28 días.

En la figura 13 se presentan los valores obtenidos para la resistencia a la compresión a los 28 días, aquí se observa que para todas las mezclas con fibra hubo

una disminución en la resistencia lo cual se puede atribuir principalmente a que la adición de la fibra redujo en gran medida la trabajabilidad de las mezclas, dificultando la compactación en las probetas a medida que el porcentaje de fibra aumenta, razón por la cual las probetas cilíndricas con fibra presentaban grietas en su superficie lateral conocidas como cangrejas.

Las probetas con porcentaje de fibra igual a 0,5% y 1%, son las que mantienen mejor la resistencia a la compresión, mientras que las mezclas con 2 y 3% de polipropileno mostraron una pérdida del 35 y 60% de la resistencia con respecto al patrón.

Es importante señalar que al momento de presentarse la falla de los cilindros sin fibra, la misma ocurre como una pequeña explosión, producto de la carga, mientras que los cilindros con fibra permanecen unidos al fallar, incluso algunos presentaron falla por aplastamiento, como se ve en la figura 14.



Figura 14. Falla por aplastamiento mezcla con 2% de fibra

2.2.- Resistencia a la tracción Indirecta (Ensayo Brasileño).

Se realizo según la norma venezolana COVENIN N° 341. Este ensayo consiste en aplicar una carga de compresión diametral a lo largo de dos generatrices opuestas en una probeta cilíndrica, esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la ruptura en el plano diametral.

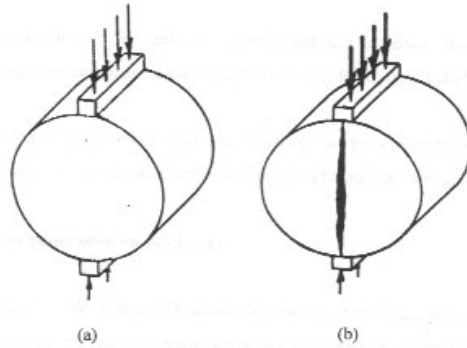


Figura 15. Configuración de la Carga (a) y ruptura de la probeta (b)

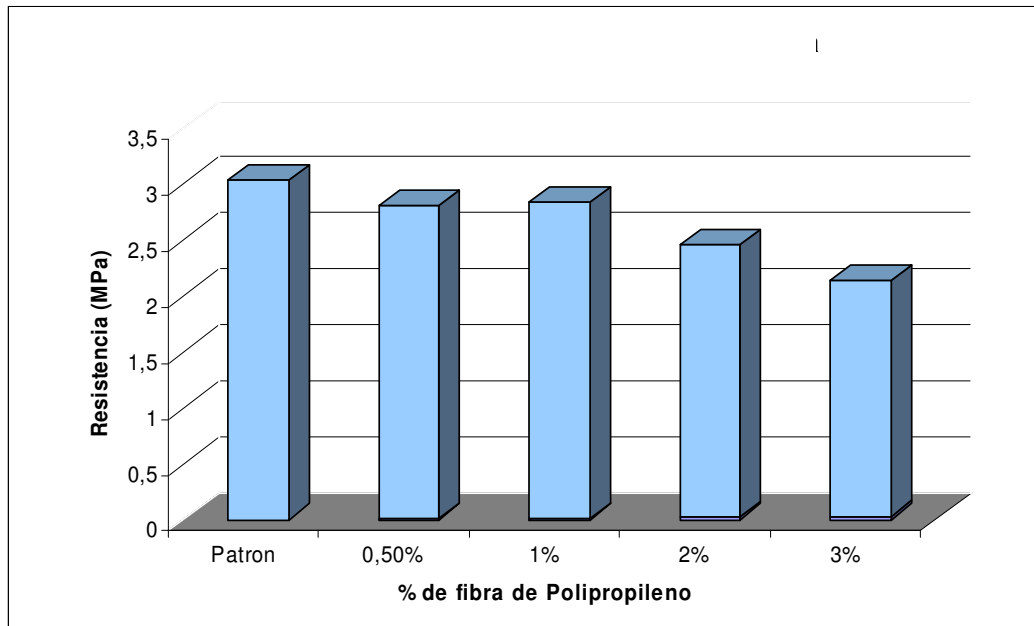


Figura 16. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta (Brasileño)

En este ensayo se observa un comportamiento muy parecido al presentado para el ensayo de resistencia a la compresión, observándose menos afectada la resistencia a la tracción indirecta en las mezclas con menor porcentaje de polipropileno, mezclas con 0,5 y 1%.

2.3.- Resistencia a la tracción por flexión.

Es bien conocido que el concreto tiene una gran resistencia a la compresión pero la resistencia a la flexión no es la mejor. Este ensayo se realizo según la norma venezolana COVENIN N° 343.

La Figura 17 presenta los resultados obtenidos para los ensayos de la prueba de resistencia a la tracción por flexión realizados a las losas a los 28 días después de preparadas las mezclas.

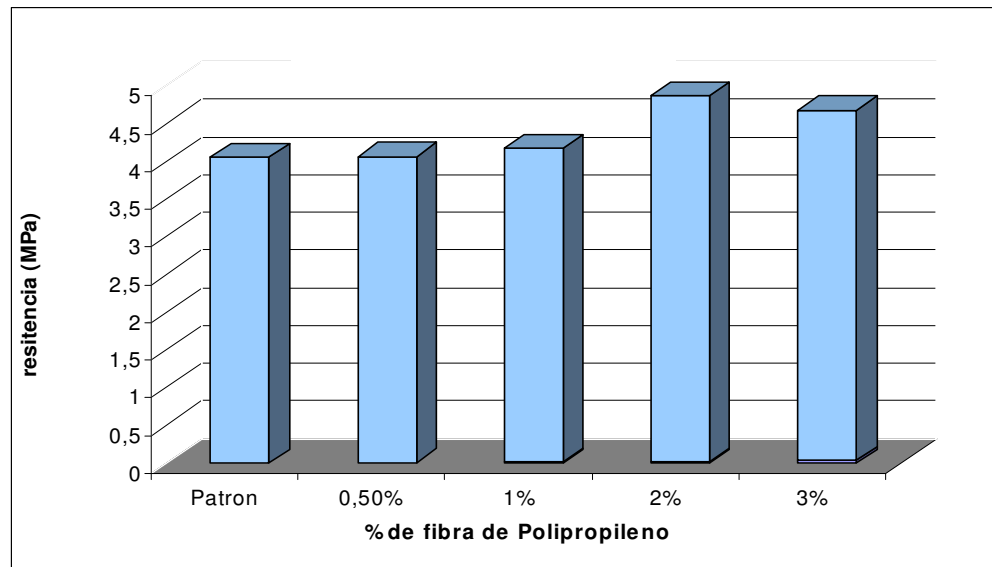


Figura 17. Resistencia a la tracción flexión a los 28 días.

Se puede observar que la adición de polipropileno aumenta la resistencia a la flexión para todos los porcentajes, en este ensayo el mejor comportamiento se observa para las mezclas que contienen 2 y 3% de fibras de polipropileno, las fibras aparte de esta mejora evidente en la resistencia a la flexión, también ayudan a mantener unido el concreto una vez que han fallado como se observa en las figuras 18 y 19.



Figura 18. Concreto sin Fibra.



Figura 19. Concreto con Fibra.

2.4.- Velocidad de Pulso ultrasónico

En este ensayo se siguió el procedimiento descrito en la norma venezolana COVENIN N° 1681, aquí se evaluó la variación de la velocidad de pulso ultrasónico, que no es mas que el tiempo que tarda la onda en atravesar la masa del concreto, esta velocidad dependerá de las discontinuidades internas del cilindro, entre otras propiedades del material, entonces es de esperar una velocidad mayor en los cilindros

mejor compactados, debido a que al haber una mayor cantidad de poros internos la onda experimentara mas cambios de fase lo que produce atenuación en la velocidad de propagación.

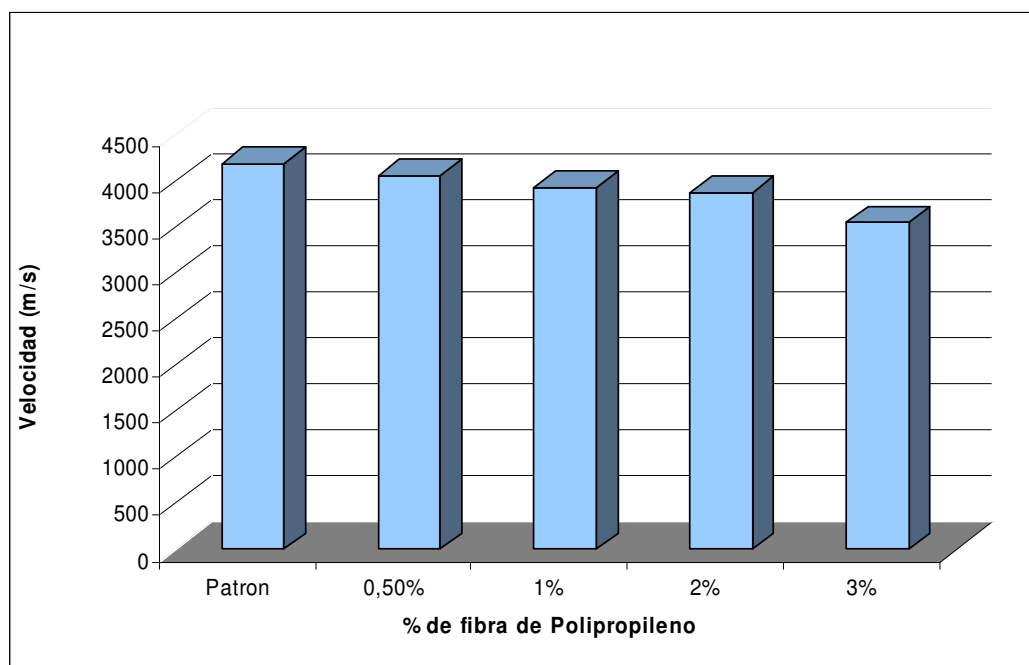


Figura 20. Velocidad de Pulso ultrasónico a los 28 días.

En la figura 20 se observa el comportamiento esperado para la variación de la velocidad de pulso, las mezclas con menor porcentaje de polipropileno presentan una velocidad mayor, los valores obtenidos para las velocidades de pulso ultrasónico en todas las mezclas se encuentran entre 3500 y 4500 m/s lo que corresponden a una clasificación de bueno, según la clasificación de Leslie – Cheesman (Castorina, 2002). En este ensayo las mezclas que presentan un mejor comportamiento son las que contiene 0,5 y 1% de fibras de polipropileno.

Se escogió como mezcla de trabajo para la elaboración de paneles la que tenía 1% de fibras de polipropileno. Esta decisión se tomó basándose en los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, para los de compresión y tracción indirecta las mezclas con 0,5 y 1 % de fibra presentaron un mejor comportamiento en relación a las de mayor concentración (2 y 3%) donde las pérdidas en la resistencia estuvieron entre el 30 y el 60 %, con respecto a la muestra patrón.

Por otra parte, en el ensayo de resistencia a la flexión la mezcla con 1% de fibra presentó una resistencia más alta en comparación a la mezcla con 0,5%.

Finalmente, la concentración con 1 % de fibra presenta una mejora en la resistencia a la flexión con menor pérdida de resistencia a la compresión a la tracción indirecta.

3.- Caracterización de los paneles

En la segunda parte del estudio se evaluaron las propiedades de los paneles cuadrados de 20 cm. de lado y 5 cm de alto, estos consistían en dos capas de mezcla de concreto y en el medio se colocó una malla metálica y/o plástica, estos paneles fueron sometidos básicamente a ensayos de flexión, y a ciclos de calor y humedad, axial como a la acción del agua de mar para estudiar el efecto de estas condiciones en la resistencia a la flexión, también se determinó la absorción de agua; todos los ensayos se realizaron a los 28 días después de preparada la mezcla.

3.1.- Absorción de Agua

Los paneles fueron sumergidos en agua durante 12 horas y después de cumplido este tiempo se calcula el peso del panel húmedo, luego se secan en el horno para calcular el peso seco de los mismos, la absorción de agua se muestra como porcentaje en peso de agua absorbido en relación al peso del panel seco.

En la Tabla 13 se muestran la descripción los paneles, para facilitar la lectura de los gráficos presentados.

Tabla 13. Nomenclatura usada en los gráficos para identificar los paneles

Mezcla	Descripción
A	Patrón
B	Mezcla patrón con malla plástica
C	Mezcla patrón con malla metálica
D	Mezcla patrón con malla plástica y metálica
E	Mezcla con 1% de polipropileno
F	Mezcla con polipropileno con malla plástica
G	Mezcla con polipropileno con malla metálica
H	Mezcla con polipropileno con malla plástica y metálica

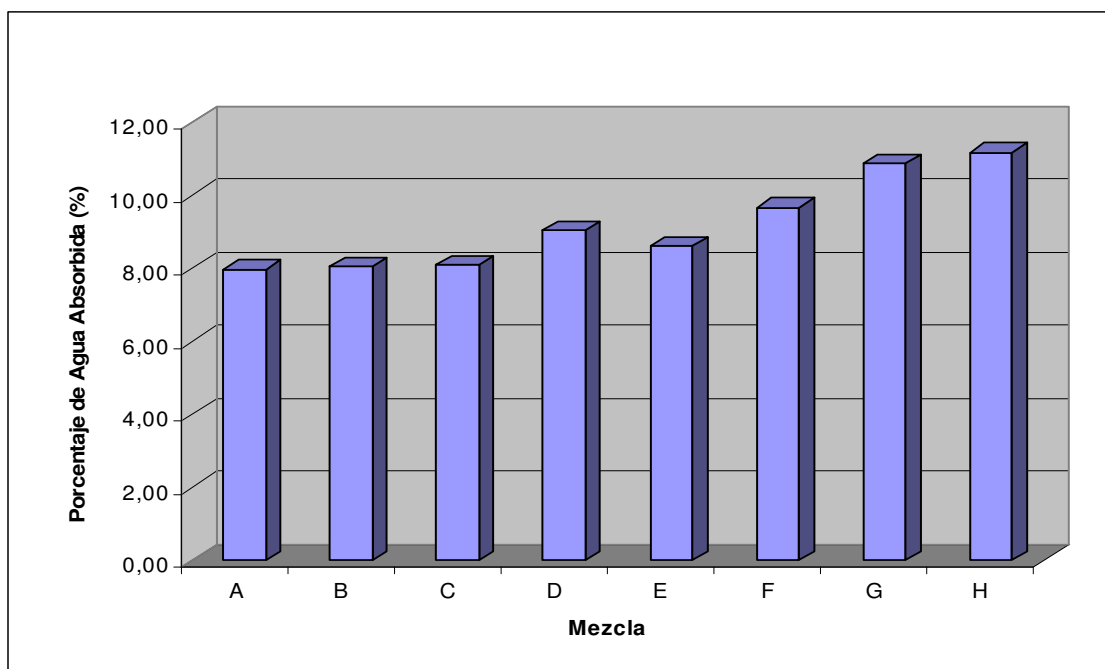


Figura 21. Absorción de agua a los 28 días.

En la figura 21 se muestran los valores obtenidos para los porcentajes de absorción de agua, se puede observar como los valores mas altos corresponden a los paneles con polipropileno, este hecho se debe a que las fibras contribuyen a la porosidad de la mezcla lo que contribuye directamente al aumento de la absorción, por otra parte la colocación de las mallas también parece afectar la absorción, debido, posiblemente, a que la malla contribuye a la formación de espacios no rellenos en el interior de la mezcla, los paneles que tienen los dos tipos de malla presentan en ambos casos (sin polipropileno y con polipropileno) el mayor valor para el porcentaje de absorción de agua.

3.2.- Resistencia a la flexión en paneles

Se realizo nuevamente el ensayo de flexión para estudiar la influencia de la colocación de la malla plástica o metálica en la resistencia a la flexión

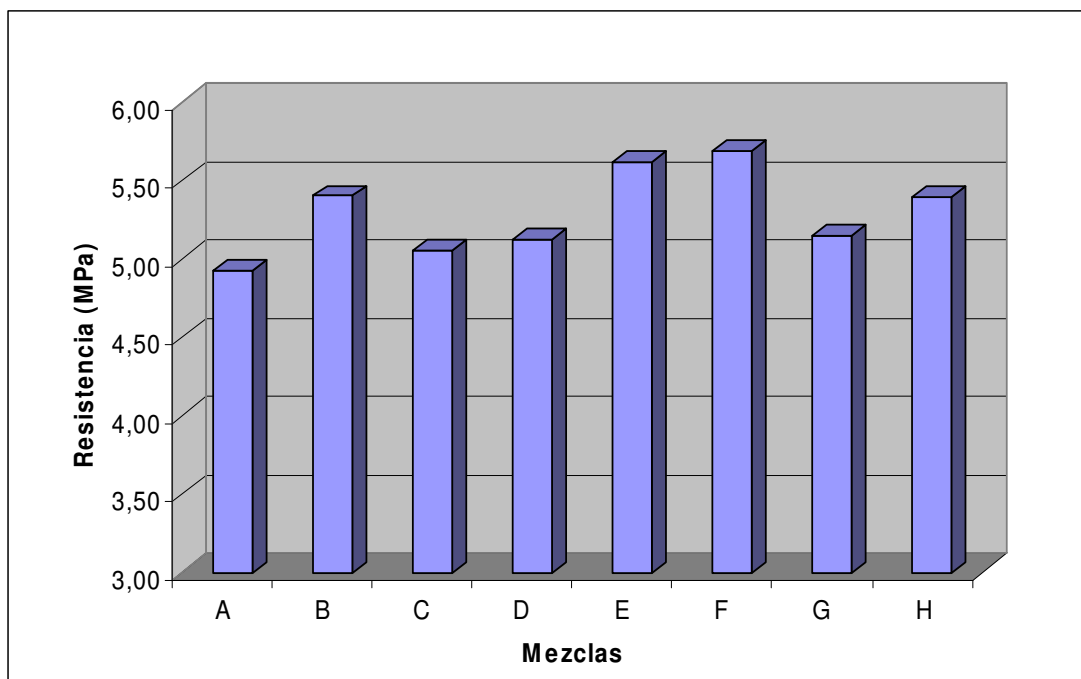


Figura 22. Resistencia a la flexión en los paneles a los 28 días.

Los resultados del ensayo muestran que la colocación de la malla parece influir de manera positiva en la resistencia a la flexión de la mezcla sin fibra de polipropileno, la resistencia de la mezcla sin fibra aumenta considerablemente según se evidencia en la figura 22, consiguiéndose el mejor resultado para los paneles sin fibra en aquellos donde se colocó malla plástica. Por otra parte los paneles con fibra presentan una mayor resistencia que los anteriores y la inclusión de la malla contribuye de manera significativa a la resistencia a la flexión obteniéndose los valores más altos para los paneles con polipropileno en los cuales se utilizó malla plástica.

Si bien la malla, sea plástica o metálica incide positivamente en la resistencia a la flexión, esta no hace nada para inhibir o retardar las microgrietas que se forman en el interior de los paneles y que son la principal causa de la falla del concreto, por su parte la fibra funciona como puentes que ayudan a retardar la aparición de las grietas internas, es por esto que los mejores resultados se observan en los paneles con polipropileno, y si a la acción de la fibra le sumamos la de la malla plástica se obtienen mejores resultados. Cuando se utiliza la configuración de las dos mallas los valores bajan en comparación con la utilización individual de cada malla debido a que pueden quedar espacios vacíos en los sitios donde se unen ambas mallas, lo que reduce la resistencia a la flexión usando esta configuración.

3.3.- Ciclos de calor y humedad

Los paneles fueron sometidos a ciclos de calor y humedad para estudiar la influencia de estas condiciones desfavorables en la resistencia a la flexión, es de esperar un “desgaste” de los paneles y por consiguiente una pérdida en la resistencia a la flexión.

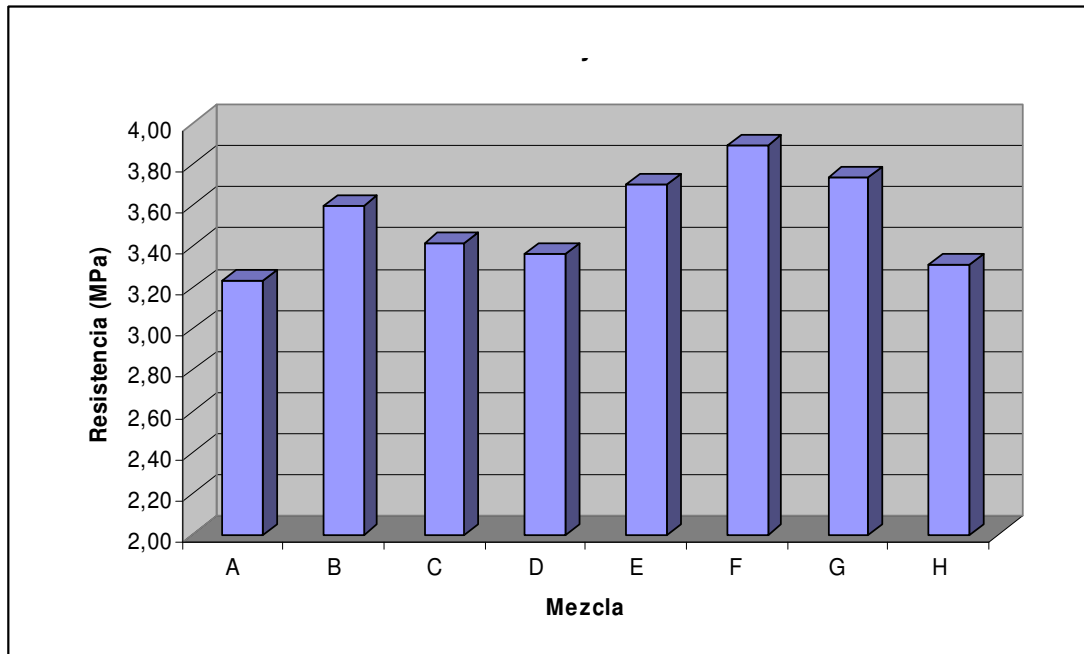


Figura 23. Resistencia a la flexión para paneles sometidos a ciclos de calor y humedad a los 28 días

Los resultados obtenidos para este ensayo, en comportamiento, son bastante parecidos a los que se obtuvieron para la resistencia a la flexión anterior, la resistencia es mayor en los paneles con polipropileno, el mejor comportamiento se logra en el panel con fibra y malla plástica, pero los valores son considerablemente mas pequeños que los anteriores, o sea, la resistencia a la flexión se vio afectada negativamente por los ciclos de calor y humedad. Estos ciclos producen una expansión cuando se calienta el concreto luego se contrae al enfriar para después sufrir otra expansión y así sucesivamente, esto provoca que se produzcan grietas internas en la masa de concreto antes de someterse a carga, por lo que la respuesta al ensayo es una disminución en la resistencia. Estas grietas internas son en parte inhibidas por las fibras por lo que los valores más altos de esta propiedad es la de los paneles con fibra.

3.4 – Efecto del agua de mar.

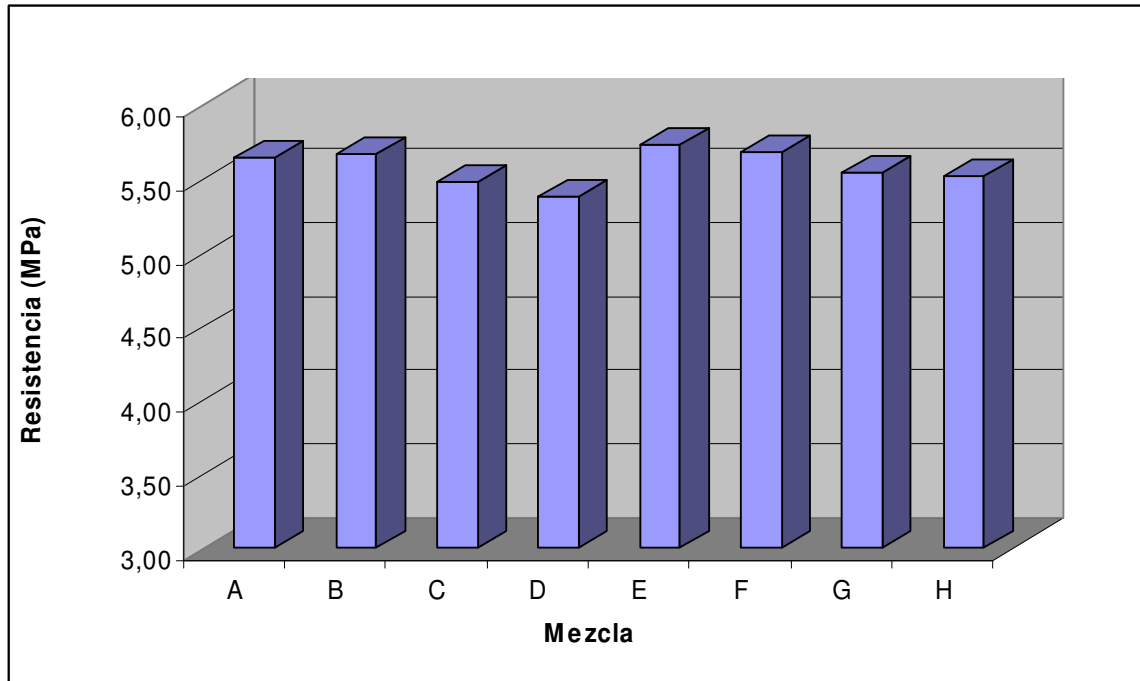


Figura 24. Resistencia a la flexión para paneles sometidos a ciclos de calor y humedad a los 28 días

En la figura 24 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión para los paneles sumergidos en agua salada, estos valores siguen la tendencia que se obtuvo para los anteriores ensayos, un aumento ligero aumento con el uso de malla y otro mas significativo cuando se utiliza fibra y malla en la elaboración de paneles. Los valores mantienen la tendencia, pero son ligeramente mayores a los obtenidos en los otros ensayos, por lo que se puede concluir que el medio salino no constituye un problema para los paneles con fibra de polipropileno.

CONCLUSIONES

En esta sección se presentan las conclusiones más relevantes de esta investigación, entre las cuales se pueden mencionar:

- ♦ La adición de fibras de polipropileno en la mezcla de concreto disminuye el asentamiento de esta, la trabajabilidad de las mezclas se ve afectada y las mezclas con porcentaje de fibras de polipropileno igual a 2 y 3% pierden la fluidez casi en su totalidad.
- ♦ La adición de fibras de polipropileno, en los porcentajes utilizados en esta investigación (0.5, 1, 2 y 3%), disminuye la resistencia a la compresión del concreto.
- ♦ Las Mezclas con porcentaje igual a 0.5 y 1% son las que mantienen una resistencia aceptable, ya que se mantienen en el rango de 21 y 30 MPa, considerado estándar o comercial para concretos de moderadas resistencias.
- ♦ La resistencia a la tracción indirecta disminuye al aumentar el porcentaje de fibras de polipropileno en las mezclas de concreto.
- ♦ La pérdida de resistencia en las mezclas con polipropileno se puede explicar por los problemas de compactación.
- ♦ La velocidad de pulso ultrasónico disminuye con el aumento de fibras de polipropileno en el concreto debido a la formación de poros internos y el cambio de fase que experimenta la onda al pasar del concreto a fibra durante el recorrido.

- ◆ La resistencia a la tracción por flexión aumenta conforme aumenta el porcentaje de fibra en la mezcla de concreto.
- ◆ El porcentaje que representa una mejor opción para preparar las mezclas de los paneles es 1%.
- ◆ Los paneles con fibra de polipropileno absorben mas agua que los que no contienen fibra.
- ◆ La colocación de malla en los paneles mejora la resistencia a la flexión. Siendo la malla plástica la que produce el mejor resultado
- ◆ Los ciclos de calor y humedad afectan negativamente la resistencia a la flexión de los paneles
- ◆ Para el tiempo que estuvieron sumergidos los paneles no se observa que el agua salada tenga efectos sobre la resistencia a la flexión de los paneles
- ◆ La configuración que representa una mejor opción para la elaboración de los paneles, es la formada por la mezcla con 1% de polipropileno y malla plástica, ya que con esta configuración se obtuvieron los mejores resultados en los ensayos realizados.

BIBLIOGRAFIA

Ahmed, M., Polypropylene Fibers - Science and Technology, Society of Plastics Engineers, Inc, New York, 1982.

Al-Khaja, W. A., "Mechanical properties and time-dependent deformations of polypropylene fiber concrete". Dep. Physical Engineering Sci., Arabian Gulf Univ., Saudi Arabia. Journal of King Saud University, Engineering Science (1995), 7(1), 67-76. Publisher: King Saud University, University Libraries.

Aston Universit "Hormigón con Fibras es más Resistente" Revista Concrete Inglaterra Aston University Aston University, Inglaterra. [Documento en línea] Disponible: http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID_Articulo=1034.

Bentur, A., Mindess, S., and Skalny, J., "REINFORCEMENT OF NORMAL AND HIGH STRENGTH CONCRETES WITH FIBRILLATED POLYPROPYLENE FIBRES", Fibre Reinforced Cements and Concretes: Recent Developments, Papers presented at the International Conference held September 18-20, 1989 at the School of Engineering, University of Wales College of Cardiff, UK; Ed. by R. N. Swamy and B. Barr; Elsevier Applied Science, London, 1989, pp 229-239.

Blitz, J. "Fundamentos de los Ultrasonidos". Editorial Alambra. Madrid 1969

Bravo, A. y H. Guevara (2005). "Estudios de las mezclas de concreto-caucho reciclado a través de ensayos destructivos y no destructivos". Caracas, Universidad Central de Venezuela. Tesis de Pregrado.

Brown, R., Shukla, A., y Natarajan, K., Fiber Reinforcement of concrete structures, University of Rhode Island, September 2002 [Documento en línea] Disponible: <http://www.uritc.uri.edu/media/finalreportspdf/536101.pdf>.

Clive, M., Calafut, T., Polypropylene-The definitive user's guide and data book, Plastics design library, PDL Handbook Series, 1998.

Daniel, J.I., Roller, J.J., and Anderson.E.D., Fiber reinforced Concrete, Portland Cement Association, Chapter 5, pag 22-26,1998.

Feldman, D., and Barbalata, A., Synthetic Polymers, Technology, properties, applications, Chapman & Hall, 1996.

Frank, H.P., Polypropylene, Gordon and Breach Science Publishers, 1968.

Geymayr, G. W. “Todo lo esencial del concreto en su bolsillo”, 1985.

Gutiérrez, A. y A. Matheus (2006) “Estudios de ensayos destructivos y no destructivos de las mezclas de concreto con polietilenterftalato (PET) Reciclado”, Caracas, Universidad Central de Venezuela. Tesis de Pregrado.

Hannant, D.J., Fibre cements and fibre concretes, John Wiley and Sons, ltd., New York, 1978, 213 pages.

Huynh, H. y Raghavan, D. (1996). “Rubber particles from recycled tires in cementitious composite materials”. [Documento en línea]. Disponible: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build96/art129.html>

International Atomic Energy Agency. "Guidebook on non-destructive testing of concrete structures". 2002.

Mc Millan F. y T. Lewis. "Cartilla del Concreto", Editorial Limusa, México, 1989 pp. 13-31.

Nagabhushanam, M., Ramakrishnan, V., and Vondran, G., "FATIGUE STRENGTH OF FIBRILLATED POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED CONCRETES," Transportation Research Record, 1989, No. 1226, pp. 36-47.

Pindado, M. y Aguado, A. "Fatigue behavior of polymer of modified porous concretes". Cement and concrete research, vol. 29, 1999

Porrero J., Ramos C., Grases J., Velazco G., "Manual del Concreto Estructural", Editorial Sidetur, Venezuela, 2004 pp. 31-185.

Ramírez O., Jose L., "La Multiple Identidad del concreto", Informes de la Construcción, Mexico, vol. 49, núm. 454. [Revista en línea] Disponible: <http://www.imcyc.com/revista/1999/nov99/multiple1.htm>

Romualdi, J. P., "Effect of polypropylene fibers in the early curing stages of concrete". Dep. Civ. Eng., Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh, PA, USA. Avail. NTIS. Report (1988), (NSF/ENG-88032; Order No. PB89-167795), 78 pp. From: Gov. Rep. Announce. Index (U. S.) 1989, 89(13)

Rongguo Zhao and Hong Yin, Polypropylene Fibers, <http://trcs.he.utk.edu/textile/nonwovens/polypro.html>, February 18, 2001

Shazkelford J. F. "Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros".
Prentice Hall .Madrid, 1998 pp.359, 331-333.

Soroushian, P.; Khan, A.; Hsu, J., "Mechanical properties of concrete materials reinforced with polypropylene or polyethylene fibers". Civ. Eng. Dep., Michigan State Univ., East Lansing, MI, USA. ACI Materials Journal (1992), 89(6), 535-40.

Thoedore, O.J. K., Polypropylene, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1960.

Tobio, J. .M. "Ensayos no destructivos. Métodos aplicables a la construcción". Madrid 1967.

UNICON. (2004). "Módulo de elasticidad". Artículo técnico. Disponible:
<http://www.unicon.com.pe/articulos/2004/ar-046.htm>.

Valle, L. "Los Ultrasonidos", Editorial INDEX, Madrid 1972

Ziad, B., Gregory, P., "Use of Small-Diameter Polypropylene fibers in Cement based materials," pp 200-208 in Fiber Reinforced Cements and Concretes, Recent Developments., Edited by Swamy, R.N., Barr, B., September, 1989.

<http://marenostrum.org/curiosidades/composicion/index.htm>

<http://www.athiel.com/lib7/drj2.htm>.

APENDICE A: NORMAS APLICADAS

- ◆ COVENIN 28:2002 (ASTM C 150). "Cemento Pórtland. Especificaciones".
- ◆ COVENIN 254:1998 (ASTM Eli). "Cedazos de Ensayos".
- ◆ COVENIN 263:1978 (ASTM C 29). "Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado".
- ◆ COVENIN 268:1998 (ASTM C 128). "Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción".
- ◆ COVENIN 269:1998 (ASTM C 127). "Agregado grueso. Detemiinación de la densidad y la absorción".
- ◆ COVENIN 272:1978 (ASTM C 70). "Método de ensayo para determinar la humedad superficial en el agregado fino".
- ◆ COVENIN 338:2002 (ASTM C 31, C 39 y C 192). "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto".
- ◆ COVENIN 339:1994 (ASTM C 143). "Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams".
- ◆ COVENIN 340:1979 (ASTM C 192). "Método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos de flexión".
- ◆ COVENIN 341:1979 (ASTM C 496). "Método de ensayo para determinar la resistencia a tracción indirecta del concreto, usando probetas cilíndricas".
- ◆ COVENIN 343:1979 (ASTM C 293). "Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción por flexión del concreto en las vigas simplemente apoyadas, con carga en el centro del tramo".
- ◆ COVENIN 344:2002 (ASTM C 172). "Concreto fresco. Toma de muestra".

- ◆ COVENIN 354:2001 (ASTM C 192). "Concreto. Método para mezclado de concreto en el laboratorio".
- ◆ COVENTN 1468:1979 (ASTM C 469). "Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto".
- ◆ COVENTN 1681:1980 (ASTM C 597) "Método de ensayo para determinar la propagación de ondas en el concreto".
- ◆ COVENTN 2385:2000. "Concreto y Mortero. Agua de mezclado. Requisitos".

APÉNDICE B: DATOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGREGADO Y CEMENTO PÓRTLAND.

1. Ensayo de agregado grueso.



VENEZUELA

Caracas, 6-jul-2007

ENSAYO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: PIEDRA #1

ENSAYO SOLICITADO POR: LAFARGE PRE MEX

MUESTRA SACADA POR: ALEXANDER VALERA FECHA: JUNIO

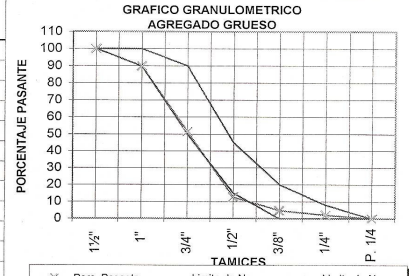
MUESTRA ENTREGADA POR: ALEXANDER VALERA FECHA: JUNIO

PROCEDENCIA: LAFARGE PREMEX

USO REQUERIDO: AGREGADO PARA CONCRETO

MATERIAL PRODUCIDO O VENDIDO POR: CANTERA EL MELERO

CEDAZO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDOS ACUMULADOS	% PASANTES ACUMULADOS
2 1/2"				
2"				
1 1/2"		0,0	0,0	100,0
1"	1013	10,2	10,2	89,8
3/4"	3776	38,2	48,4	51,6
1/2"	3853	39,0	87,4	12,6
3/8"	778	7,9	95,2	4,8
1/4"	255	2,6	97,8	2,2
P. 1/4"	216	2,2	100,0	0,0
Peso T.	9.891 g			



PESO ESPECIFICO

Peso en el Aire: 8.001 g

Peso en el Agua: 5.024 g

P ESPECIFICO: 2,69 g/cm³

PESO UNITARIO SUELTO

Peso Recipiente: 7,536 Kg

Peso Muest. + Recip.: 27,253 Kg

Peso Muestra: 19,717 Kg

Vol. Recipiente: 0,01420 m³

PESO UNITARIO SUELTO: 1.389 Kg/m³

TAMIZ # 200

Peso Lav.Ta # 200: 5.000 g

Peso Sec.D.Lav: 4.943 g

TAMIZ # 200: 1,14%

PORCENTAJE DE ABSORCION

Peso Mues S.S.S: 8.001 g

Peso Seco: 7.910 g

PORC ABS: 1,15 %

PESO UNITARIO COMPACTO

Peso Recipiente: 7,536 Kg

Peso Muestra + Recipiente: 29,856 Kg

Peso Muestra: 22,320 Kg

Vol. Recipiente: 0,01420 m³

PESO UNITARIO COMPACTO: 1.572 Kg/m³

PORCENTAJE DE PART (MAXIMAS Y MINIMAS)

Número Partículas Medidas: 50

Numero de Part. Largas: 28

% Part. Largas: 56,00

Numero de Part. Planas: 17

% Part. Planas: 34,00

Numero de Part. Planilargas: 45

% Part. Planilargas: 90

Numero de Partículas: 19

Porcentaje Max Min: 38,00

Fecha: 06/07/07

Realizado por: Alexander Valera

Revisado por: Gleicy Ramos

Normas utilizadas en la elaboración del informe: Covenin 254,255,258,269,270,277.

CCL-03

2. Ensayo del agregado fino.



VENEZUELA

PC-CC-R-01
Caracas, 3-mar-2007

ENSAYO DE AGREGADO FINO

MATERIAL: ARENA (Entrada a Planta)

ENSAYO SOLICITADO POR: LABORATORIO

MUESTRA SACADA POR: GLEICY RAMOS FECHA: FEBRERO

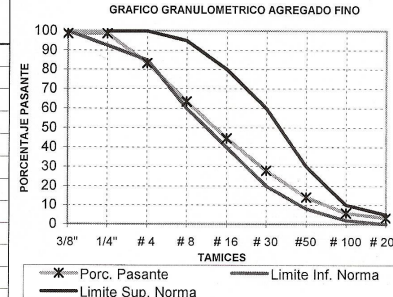
ENTREGADO POR: GLEICY RAMOS FECHA: FEBRERO

PROCEDENCIA: AGREGADO PARA CONCRETO

USO REQUERIDO: ARENERA PUENTEAREAS

CEDAZO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDOS ACUMULADOS	% PASANTES
1/2"				
3/8"	13	1,3	1,3	98,7
1/4"	0	0,0	1,3	98,7
# 4	154	15,4	16,7	83,3
# 8	198	19,8	36,6	63,4
# 16	188	18,8	55,4	44,6
# 30	165	16,5	71,9	28,1
#50	139	13,9	85,9	14,1
# 100	83	8,3	94,2	5,8
# 200	25	2,5	96,7	3,3
Fondo	33	3,3	100,0	0,0
Peso T.	998 g			

GRAFICO GRANULOMETRICO AGREGADO FINO



MODULO DE FINURA (MF) = 3,62

PESO ESPECIFICO

Densidad*Muestra+Envase: 646,59 gr/cm³

Peso del Envase: 148 g

Peso del Envase+H₂O: 646 g

P.del Envase+H₂O+Muestra: 953 g

Peso de La Muestra: 500 g

Densidad del H₂O: 0,99797 cm³

P ESPECIFICO: 2,57 g/cm³

PESO UNITARIO SUELTO

Peso Recipiente: 6,563 Kg

Peso Muest. + Recip.: 11,207 Kg

Peso Muestra: 4,644 Kg

Vol. Recipiente: 0,00280 m³

PESO UNITARIO SUELTO: 1,659 Kg/m³

TAMIZ # 200

Peso Lav.Ta.# 200: 2,000 g

Peso Sec.D.Lav: 1,884 g

TAMIZ # 200: 5,80%

IMPUREZAS ORGANICAS

Color N° 1

NO Contiene Impurezas.

PORCENTAJE DE ABSORCION

Peso SSS: 500 g

Peso Seco: 489 g

PORC ABS: 2,26 %

PESO UNITARIO COMPACTO

Peso Recipiente: 6,563 Kg

Peso Muestra + Recipiente: 11,738 Kg

Peso Muestra: 5,175 Kg

Vol. Recipiente: 0,00280 m³

PESO UNITARIO COMPACTO: 1,848 Kg/m³

PORCENTAJE EN SUSPENSION

Cant de Mat en Suspensión: 50 cm³

Cant de Muestra: 500 g

PORCENTAJE EN SUSPENSION 6,00 %

PRESENCIA DE CLORUROS Y SULFATOS

Cloruros: ☐ SI ☒ NO

Sulfatos: ☐ SI ☒ NO

Fecha: 03/03/07 Realizado por: TSU.Gleicy Ramos Revisado por: Ing. Ana Acevedo

Normas utilizadas en la elaboracion del informe: Covenin 254,256,258,259,263,268,270,277.

APENDICE C: CALCULOS TIPOS

1. Diseño de mezcla

Para calcular la dosificación de cada uno de los compuestos de la mezcla concreto-polipropileno, en primer lugar se establece la relación agua-cemento (α) igual 0,50 y el asentamiento para el caso de estudio es un valor entre 6 y 11 cm, según lo recomendado en la Bibliografía (Porrero, 2004).

Dosificación de cemento.

La ecuación C.1 representa un modelo matemático que se ajusta a las características de los materiales utilizados en los ensayos de la presente investigación, y a través de éste se puede determinar la resistencia promedio que debe alcanzar el concreto a la edad de 28 días (Porrero, 2004).

$$R_{28} = \frac{M}{N^{\alpha}} \quad \text{Ec. [C.1]}$$

Donde:

$\alpha = a/C$. relación agua-cemento en peso (*adim*).

R_{28} : resistencia media a la compresión a la edad de 28 días (kgf/cm^2).

M y N : son constantes que dependen de otros factores no considerados (naturaleza de los agregados y del cemento).

Para $a=0,50$; M y N para agregado grueso triturado, de 2,45 cm de tamaño máximo (1"), arena natural (ambos agregados en la condición de saturación con superficie seca) y cemento Portland tipo I son 902.5 y 8.69; respectivamente (Porrero, 2004), se tiene:

$$R_{28} = \frac{902,5}{8,69^{0,50}}$$

$$R_{28} = 306 \text{ Kgf} / \text{ cm}^2$$

Una vez conocida la resistencia promedio esperada a los 28 días se puede obtener la dosis de cemento, según la relación triangular: (Porrero, 2004)

$$C = \frac{k \cdot T^n}{\alpha^m} \quad \text{Ec. [C.2]}$$

Donde:

C: dosis de cemento (Kg/m^3).

T: asentamiento en el Cono de Abrams (cm),

k, m, n : son constantes que dependen de otros factores no considerados (naturaleza de los agregados como el tamaño máximo y su forma) (Porrero, 2004),

Para $a=0,50$; $T = 8$ cm; k, m y n para los mismos materiales señalados anteriormente son 117,2; 0,16 y 1,3 respectivamente (Porrero, 2004), se tiene:

$$C = \frac{117,2 \cdot 8^{0,16}}{0,50^{1,3}}$$

$$C = 402 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

Por otra parte, a través de la relación agua-cemento definida como $a = a/C$, se puede obtener el valor correspondiente a la dosificación de agua despejando a , por lo tanto, se tiene:

$$a = \alpha \cdot C \quad \text{Ec. [C.3]}$$

$$a = 0,50 \cdot 402 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$a = 201 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

1.2 Ecuación de volumen y cálculo de las dosis de agregados.

Para preparar un metro cúbico de la mezcla, la suma de los volúmenes absolutos de todos los componentes debe ser igual a 1000 litros; entonces: (Porrero, 2004)

$$1000l = V_c + V_a + V_{aire} + \frac{F}{\gamma_F} + \frac{G}{\gamma_G} \quad \text{Ec. [C.4]}$$

$$F = G \quad \text{Ec. [C.5]}$$

$$V_c = C \cdot 0,3 \quad \text{Ec. [C.6]}$$

$$V_{aire} = C/P \quad \text{Ec. [C.7]}$$

Donde:

V_c : volumen absoluto del cemento, sin considerar aire entre los granos, este valor corresponde a multiplicar el peso del cemento por 0,3 (L/m^3).

V_a : volumen absoluto *del* agua que se puede suponer igual a la dosis de agua (L/m^3).

V_{aire} : volumen de aire (L/m^3).

F y G : es la masa de la arena y *del* agregado grueso, respectivamente **por** m^3 de concreto (Kg).

γ_F y γ_G : pesos específicos del agregado fino y grueso, respectivamente (Kg/L).

P : tamaño máximo de grano 25,4 mm ó 1 plg.

Nota: Los pesos específicos de la arena y de la grava, se encuentran en el apéndice B.

Resolviendo el siguiente sistema de dos ecuaciones, con dos incógnitas F y G , se tiene:

$$1000l = 402 \cdot 0,3 + 201 + \frac{402}{25,4} + \frac{F}{2,57} + \frac{G}{2,69} \quad \text{Ec.[C.8]}$$

$$F = G \quad \text{Ec.[C.9]}$$

$$1000 = 120,6 + 201 + 15,8 + 0,39F + 0,37F$$

$$1000 - 120,6 - 201 - 15,8 = 0,76F$$

$$662,6 = 0,76F$$

$$F = 662,6/0,76$$

$$F = G = 871,8 \text{ litros}$$

1.3 Corrección por humedad

Debido a que la suposición de que los agregados se encuentran en estado de saturación con superficie seca no es cierta, se deben corregir las dosis del agregado fino (F_w), el agregado grueso (G_w) y el agua (a_m), necesarias para la mezcla. Por lo tanto, se utiliza el valor de absorción (A_b) de agua, por parte de la arena y la piedra (ver apéndice B), mediante las siguientes ecuaciones: (Porrero, 2004)

$$F_w = F \cdot \frac{100 + w}{100 + A_b} \quad \text{Ec.[C.10]}$$

Donde:

F_w : agregado fino húmedo (Kg/m);

w : porcentaje de humedad calculada en el laboratorio según Norma COVENIN 272.

$$F_w = 871,8 \cdot \frac{100 + 5,46}{100 + 2,25}$$

$$F_w = 899,2 \text{ litros}$$

Corrigiendo la dosis de la grava la mezcla:

$$G_w = 871,8 \cdot \frac{100 + 0,33}{100 + 1,25}$$

$$G_w = 863,9 \text{ litros}$$

Ahora, se corrige la dosis de agua para la mezcla mediante la ecuación: (Porrero, 2004)

$$a_M = a + F - F_w + G - G_w \quad \text{Ec. [C. 11]}$$

$$a_M = 201 + 871,8 - 899,2 + 871,8 - 863,9$$

$$a_M = 181,5 \text{ litros}$$

Los resultados anteriores corresponden a 1000 Litros de mezclas, por lo tanto para el caso estudio donde se prepara 50 Litros de mezcla (0,05 m³) se tiene:

$$C = 402 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^3 = 20,1 \text{ Kg}$$

$$a = 181,5 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^3 = 9,1 \text{ Kg}$$

$$C = 899,2 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^3 = 45,0 \text{ Kg}$$

$$C = 863,9 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^3 = 43,2 \text{ Kg}$$

2. Resistencia a la compresión

Siguiendo las pautas de la Norma COVENIN 338, la resistencia a la compresión se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{4 \cdot P_c}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Ec. [C.12]}$$

Donde:

R_c : esfuerzo de compresión (Kgf/cm^2).

P_c : carga máxima aplicada (Kgf).

D : diámetro promedio de la probeta (cm).

$$R_c = \frac{4 \cdot 47400 \text{Kgf}}{\pi \cdot (15,01 \text{cm})^2}$$

$$R_c = 267,9 \text{Kgf/cm}^2 = \frac{0,0980665 \text{MPa}}{1 \text{Kgf/cm}^2} = 26,3 \text{MPa}$$

3. Resistencia a la tracción indirecta (Ensayo brasilero)

El esfuerzo en ensayos de tracción indirecta se obtiene haciendo uso de la Norma COVENIN 341, mediante la siguiente ecuación:

$$R_{\pi} = \frac{2 \cdot P_T}{\pi \cdot l \cdot D} \quad \text{Ec.[C.13]}$$

Donde:

R_{π} : esfuerzo de flexión (Kgf/cm^2).

P_T : carga máxima aplicada (Kgf).

l : longitud promedio de la probeta (cm).

$$R_{\pi} = \frac{2 \cdot 21750 \text{Kgf}}{\pi \cdot 30,39 \text{cm} \cdot 15,02 \text{cm}}$$

$$R_{\pi} = 30,33 \text{Kgf/cm}^2 = 2,97 \text{MPa}$$

4. Resistencia a la tracción por flexión

La resistencia a la tracción por flexión en losas se calcula de acuerdo a la norma COVENIN N° 343, según la ecuación:

$$R_{TF} = \frac{3 \cdot P_{TF} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h} \quad \text{Ec.[C.14]}$$

Donde:

R_{TF} : esfuerzo de tracción a la flexión $\{Kgf/cm^2\}$.

L : luz (cm).

b: ancho promedio de la probeta prismática (cm).

h : altura promedio de la probeta prismática (cm).

$$R_{TF} = \frac{3 \cdot 1020 \cdot 16}{2 \cdot 20,21 \cdot 5,40}$$

$$R_{TF} = 41,54 \text{ Kgf/cm}^2 = 4,07 \text{ MPa}$$

5. Velocidad de pulso ultrasónico

Para obtener la velocidad del pulso ultrasónico haciendo uso de la Norma COVENIN 1681, es necesario conocer el tiempo que tarda la onda ultrasónica en atravesar la probeta:

$$v = \frac{d \cdot 10^4}{t} \quad \text{Ec.[C.15]}$$

Donde:

v : velocidad de pulso ultrasónico (m/s)

d : longitud de la trayectoria de la onda (altura del cilindro) (cm)

t : tiempo de paso de la onda a través de la probeta (μs)

$$v = \frac{30,39cm \cdot 10^4}{72,4\mu s} = 4197,5 m/s$$

APENDICE D: RESULTADOS Y DATA EXPERIMENTAL

Tabla N° 14: Resistencia a la compresión

Mezcla	Cilindro N°	Diametro (cm.)	Carga (Kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio (Mpa)
Patron	P1	15,01	47400	26,3	27,0
	P2	14,99	48400	26,9	
	P3	15,52	53800	27,9	
0,5 % Fibra	A1	15,03	45200	25,0	24,9
	A2	14,96	44400	24,8	
	A3	15,01	44900	24,9	
1 % Fibra	B1	14,96	44400	24,8	24,4
	B2	14,99	43400	24,1	
	B3	15,03	44200	24,4	
2 % Fibra	C1	14,91	33200	18,6	17,9
	C2	14,96	30600	17,1	
	C3	15,00	32300	17,9	
3 % Fibra	D1	15,01	22200	12,3	11,1
	D2	15,50	18400	9,6	
	D3	15,03	20800	11,5	

Tabla N° 15: Resistencia a la tracción indirecta

Mezcla	Cilindro	Diametro (cm.)	Longitud (cm.)	Carga (Kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio (Mpa)
Patron	P4	15,02	30,39	21750	2,97	3,04
	P5	14,99	30,10	22450	3,11	
	P6	15,01	30,14	22100	3,05	
0,5 % Fibra	A4	15,03	30,11	19000	2,62	2,80
	A5	15,00	30,00	21420	2,97	
	A6	14,98	30,02	20300	2,82	
1 % Fibra	B4	15,29	30,45	22075	2,96	2,83
	B5	14,94	30,37	19600	2,70	
	B6	14,97	30,15	20400	2,82	
2 % Fibra	C4	14,99	30,58	17320	2,36	2,43
	C5	15,39	30,02	18525	2,50	
	C6	15,01	30,17	17700	2,44	
3 % Fibra	D4	15,30	30,63	14850	1,98	2,11
	D5	15,00	30,49	16350	2,23	
	D6	15,01	30,20	15400	2,12	

Tabla N° 16: Resistencia a la flexión

Mezcla	Losa N°	Ancho (cm.)	Altura (cm.)	Carga (Kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio (Mpa)
Patron	LP1	20,21	5,40	1020	4,07	4,05
	LP2	20,56	5,22	979	4,11	
	LP3	20,6	5,16	923	3,96	
0,5 % Fibra	LA1	20,32	5,41	954	3,78	4,06
	LA2	20,3	5,46	1140	4,43	
	LA3	20,35	5,26	951	3,98	
1 % Fibra	LB1	20,21	5,41	1070	4,26	4,16
	LB2	20,12	5,37	1007	4,08	
	LB3	20,48	5,00	903	4,15	
2 % Fibra	LC1	20,41	5,36	1250	5,02	4,85
	LC2	20,35	5,29	1250	5,17	
	LC3	20,26	5,36	1080	4,37	
3 % Fibra	LD1	20,50	5,37	1170	4,66	4,64
	LD2	20,21	5,20	1020	4,39	
	LD3	20,25	5,07	1080	4,88	

Tabla N° 17: Velocidad de pulso ultrasónico.

Mezcla	Cilindro	Longitud (cm.)	Tiempo (μs)	Velocidad de pulso ultrasónico (cm/s)	Velocidad de pulso ultrasónico promedio(cm/s)
Patron	P4	30,39	72,4	4197,5	4190,29
	P5	30,10	71,6	4203,9	
	P6	30,14	72,3	4169,4	
0,5 % Fibra	A4	30,11	74,0	4068,9	4061,69
	A5	30,00	73,7	4070,6	
	A6	30,02	74,2	4045,6	
1 % Fibra	B4	30,45	77,4	3935,8	3929,41
	B5	30,37	77,3	3929,0	
	B6	30,15	76,8	3923,5	
2 % Fibra	C4	30,58	78,6	3890,5	3878,43
	C5	30,02	76,5	3925,5	
	C6	30,17	79,0	3819,3	
3 % Fibra	D4	30,63	86,7	3534,9	3556,99
	D5	30,49	85,3	3574,1	
	D6	30,20	84,8	3561,9	

Tabla N° 18: Resistencia a la flexión para paneles

Muestra	Cilindro N°	b (cm.)	h (cm.)	Carga (Kgf)	Resistencia (Kgf) (Mpa)		Resistencia Promedio
A	A4	20,33	5,07	1220	56,03	5,49	4,92
	A5	20,15	5,28	1110	47,42	4,65	
	A6	20,14	5,32	1120	47,16	4,62	
C	E4	19,74	5,42	1240	51,32	5,03	5,40
	E5	20,21	5,23	1330	57,74	5,66	
	E6	20,25	5,20	1280	56,10	5,50	
E	B4	20,21	5,65	1360	50,59	4,96	5,05
	B5	19,95	5,45	1270	51,44	5,04	
	B6	20,05	5,55	1350	52,46	5,14	
H	H4	20,50	5,12	1100	49,13	4,82	5,13
	H5	20,28	5,14	1370	61,37	6,02	
	H6	20,30	5,20	1060	46,35	4,55	
B	C4	20,23	5,41	1460	59,18	5,80	5,61
	C5	20,06	5,33	1390	58,54	5,74	
	C6	20,12	5,62	1430	54,01	5,30	
D	G4	20,24	5,60	1570	59,36	5,82	5,68
	G5	20,45	5,32	1510	62,61	6,14	
	G6	20,55	5,77	1480	51,92	5,09	
F	D4	20,21	5,50	1340	52,60	5,16	5,15
	D5	20,18	5,45	1250	50,05	4,91	
	D6	20,01	5,37	1320	54,90	5,38	
G	F4	19,88	5,58	1430	55,45	5,44	5,40
	F5	20,23	5,10	1280	58,38	5,73	
	F6	20,12	5,50	1300	51,26	5,03	

Tabla N° 19: Absorción de agua en paneles

Muestra	Cilindro	Peso humedo (grs.)	Peso seco (grs.)	Agua absorbida (grs.)	Agua absorbida (%)	Agua absorbida promedio (%)
A	A4	5048	4605	443	9,62	9,0
	A5	5200	4781	419	8,76	
	A6	5020	4618	402	8,71	
C	E4	5142	4652	490	10,53	10,9
	E5	4919	4429	490	11,06	
	E6	4978	4485	493	10,99	
E	B4	4974	4582	392	8,56	8,6
	B5	4858	4459	399	8,95	
	B6	5205	4805	400	8,32	
H	H4	4680	4213	467	11,08	11,2
	H5	4970	4473	497	11,11	
	H6	4965	4459	506	11,35	
B	C4	5461	4981	480	9,64	9,7
	C5	5148	4721	427	9,04	
	C6	5129	4649	480	10,32	
D	G4	5234	4815	419	8,70	8,6
	G5	5048	4643	405	8,72	
	G6	5046	4655	391	8,40	
F	D4	4914	4567	347	7,60	8,1
	D5	4962	4550	412	9,05	
	D6	4922	4578	344	7,51	
G	F4	4960	4605	355	7,71	8,0
	F5	4764	4408	356	8,08	
	F6	5038	4658	380	8,16	

Tabla N° 20: Resistencia a la flexión para paneles

Muestra	Cilindro N°	b (cm.)	h (cm.)	Carga (Kgf)	Resistencia (Kgf) (Mpa)		Resistencia Promedio (Mpa)
A	A4	20,33	5,07	1220	56,03	5,49	4,92
	A5	20,15	5,28	1110	47,42	4,65	
	A6	20,14	5,32	1120	47,16	4,62	
B	E4	19,74	5,42	1240	51,32	5,03	5,40
	E5	20,21	5,23	1330	57,74	5,66	
	E6	20,25	5,20	1280	56,10	5,50	
C	B4	20,21	5,65	1360	50,59	4,96	5,05
	B5	19,95	5,45	1270	51,44	5,04	
	B6	20,05	5,55	1350	52,46	5,14	
D	H4	20,50	5,12	1100	49,13	4,82	5,13
	H5	20,28	5,14	1370	61,37	6,02	
	H6	20,30	5,20	1060	46,35	4,55	
E	C4	20,23	5,41	1460	59,18	5,80	5,61
	C5	20,06	5,33	1390	58,54	5,74	
	C6	20,12	5,62	1430	54,01	5,30	
F	G4	20,24	5,60	1570	59,36	5,82	5,68
	G5	20,45	5,32	1510	62,61	6,14	
	G6	20,55	5,77	1480	51,92	5,09	
G	D4	20,21	5,50	1340	52,60	5,16	5,15
	D5	20,18	5,45	1250	50,05	4,91	
	D6	20,01	5,37	1320	54,90	5,38	
H	F4	19,88	5,58	1430	55,45	5,44	5,40
	F5	20,23	5,10	1280	58,38	5,73	
	F6	20,12	5,50	1300	51,26	5,03	

Tabla N° 21: Resistencia a la flexión para paneles sometidos a ciclos de calor y humedad

Muestra	Cilindro N°	b (cm)	h (cm)	Carga (Kg)	Resistencia (Kgf) (Mpa)		Resistencia Promedio (Mpa)
A	A7	20,36	5,22	783	33,87	3,32	3,25
	A8	20,36	5,18	740	32,51	3,19	
	A9	20,29	5,22	760	32,99	3,24	
B	C7	20,31	5,12	850	38,32	3,76	3,83
	C8	19,68	5,14	910	42,01	4,12	
	C9	20,11	5,16	820	36,75	3,60	
C	C7	20,27	5,79	960	33,91	3,33	3,41
	C8	20,70	5,41	800	31,69	3,11	
	C9	20,00	5,33	920	38,86	3,81	
D	D7	20,39	5,19	780	34,08	3,34	3,36
	D8	20,41	5,21	670	29,02	2,85	
	D9	20,31	5,17	900	39,79	3,90	
E	E7	20,05	5,38	950	39,29	3,85	3,70
	E8	20,22	5,08	770	35,42	3,47	
	E9	20,01	5,21	870	38,44	3,77	
F	F7	20,41	5,23	1050	45,14	4,43	3,80
	F8	20,16	5,64	960	35,93	3,52	
	F9	20,73	5,44	900	35,21	3,45	
G	G7	20,45	5,39	930	37,57	3,68	3,73
	G8	20,28	5,25	880	37,78	3,71	
	G9	20,40	5,42	970	38,85	3,81	
H	H7	20,28	5,16	770	34,22	3,36	3,31
	H8	20,38	5,41	850	34,20	3,35	
	H9	20,35	5,16	740	32,78	3,21	

Tabla N° 22: Resistencia a la flexión para paneles sometidos a la acción del agua salina

Muestra	Cilindro N°	b (cm)	h (cm)	CARGA (Kg)	Resistencia (Kgf)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Promedio (Mpa)
A	A10	20,36	5,22	1340	57,97	5,68	5,63
	A11	20,36	5,18	1070	47,01	4,61	
	A12	20,29	5,22	1550	67,29	6,60	
B	B10	20,31	5,12	1210	54,54	5,35	5,67
	B11	19,68	5,14	1330	61,39	6,02	
	B12	20,11	5,16	1280	57,37	5,63	
C	C10	20,27	5,79	1400	49,45	4,85	5,47
	C11	20,70	5,41	1420	56,25	5,52	
	C12	20,00	5,33	1460	61,67	6,05	
D	D10	20,39	5,19	1410	61,61	6,04	5,38
	D11	20,41	5,21	1160	50,25	4,93	
	D12	20,31	5,17	1190	52,61	5,16	
E	E10	20,05	5,38	1340	55,42	5,43	5,72
	E11	20,22	5,08	1410	64,85	6,36	
	E12	20,01	5,21	1240	54,79	5,37	
F	F10	20,41	5,23	1440	61,91	6,07	5,67
	F11	20,16	5,64	1520	56,89	5,58	
	F12	20,73	5,44	1400	54,77	5,37	
G	G10	20,45	5,39	980	39,59	3,88	5,54
	G11	20,28	5,25	1560	66,98	6,57	
	G12	20,40	5,42	1570	62,88	6,17	
H	H10	20,28	5,16	1350	60,00	5,88	5,52
	H11	20,38	5,41	1480	59,55	5,84	
	H12	20,35	5,16	1110	49,17	4,82	

APENDICE E: TABLAS CONSULTADAS

Tabla N° 23. Clasificación de la calidad del Concreto por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman (Castorina, 2002).

Velocidad de pulso m/seg	Condición del Concreto
Más de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Tabla N° 24. Valores usuales de asentamiento con el Cono de Abrams (Porrero, 2004).

Elemento	Rango de Asentamiento (cm.)
Prefabricados	Nulo-6
Fundaciones ciclópeas	3-8
Pedestales, muros de fundación armados	4-8
Pavimentos	5-8
Losas, vigas, columnas, muros de corte	6-11
Paredes estructurales delgadas	10-18
Transportado por bombeo	6-18
Autonivelante	Mayor de 18

Tabla N° 25. Propiedades físico químicas de la fibra de polipropileno suministradas por Euclip-Toxement

Material 100% polipropileno virgen	
Gravedad específica :	0.91 G/m ³ (ASTM D-1505)
Índice de fluidez :	0.3 g/seg (ASTM D-1238)
Punto de fusión :	166°C (300°F)
Punto de ignición :	590°C (1.100°F)
Absorción de agua a 20°C:	Ninguna
Corte de fibra :	¾, 1, 1½, 2½ pulgadas
Resistencia química a bases y agentes Oxidantes :	Inerte*
Resistencia química a los ácidos y álcalis:	Inerte*
Resistencia al moho y Microorganismos:	Buena*

* En conformidad con la norma ASTM C-1116

Tabla N° 26. características mecánicas de la fibra de polipropileno suministradas por Euclip-Toxement

Módulo de elasticidad :	0.7 x 10 ⁶ psi.
Resistencia a la tensión:	80 K.S.I.
Resistencia a la tracción:	70.000 psi.
Elongación hasta el rompimiento:	8% mínimo
Resistencia a la abrasión:	Buena
Conductividad térmica y Eléctrica:	Baja

APENDICE F: GLOSARIO

♦ **Adiciones:** Sustancias inertes a la reacción agua-cemento que se añade en baja proporción en el concreto, para obtener alguna característica ventajosa.

♦ **Aditivo:** Sustancia química o natural que se añade en baja proporción en el concreto, para modificar alguna de sus propiedades y adecuarlo al fin que se destine.

♦ **Agregados:** Materiales naturales o no que se mezcla con el cemento y el agua para producir morteros y concretos. Por lo general, son grava y arena, y se usan para dar al concreto su resistencia característica.

♦ **Agregado fino:** Arena natural o piedra picada cuyo tamaño de partícula es menor a 5 mm.

♦ **Agregado grueso:** Grava u otro material pétreo en el que la mayoría de sus partículas se encuentran en un rango de 9,5 mm a 38 mm.

♦ **Apanalamiento o Cangrejera de concreto:** Apariencia en forma de panal de abejas, de los agregados del concreto, como resultado de una consolidación deficiente. Vacío manifiesto en una masa o pieza de concreto endurecido.

♦ **Asentamiento:** Medida de la consistencia del concreto fresco, evaluada mediante el ensayo con el Cono de Abrams.

♦ **Cedazo:** tamiz con marco de madera o metal que permite establecer la granulometría de un agregado.

♦ **Cemento:** Material inorgánico finamente molido, que al mezclarse con agua forma una pasta que endurece por reacciones y procesos de hidratación. Después del endurecimiento mantiene su resistencia y estabilidad, incluso debajo del agua.

♦ **Cemento Pórtland:** Cemento hidráulico producido generalmente al pulverizar clinker de cemento Pórtland con sulfato de calcio. La mezcla de éste con el agua y los agregados produce concreto o mortero,

♦ **Clinker:** El vocablo "clinker" da nombre al producto intermedio en la fabricación del cemento, principal componente de este último. Se traía del producto obtenido por calcinación a 1.500 °C de una mezcla de caliza y arcilla.

♦ **Compactación o Consolidación:** es la operación manual o mecánica, por medio de la cual se trata de densificar la masa del concreto fresco, reduciendo al mínimo los vacíos.

♦ **Concreto:** Es una mezcla de cemento, agua, agregados fino y gruesos, que con o sin aditivos y mediante la hidratación del cemento adquiere consistencia y resistencia.

♦ **Concreto de baja resistencia:** Es un concreto con resistencia a la compresión en un rango de 150 a 210 Kg./cm. a 28 días.

♦ **Concreto de moderada resistencia:** Es un concreto con resistencia a la compresión en un rango de 210 a 350 Kg./cm² a 28 días.

♦ **Concreto de alta resistencia:** Este es un concreto con resistencia a la compresión a 28 días superiores a 420 Kg./cm². Su uso logra reducir las dimensiones de los elementos estructurales, incrementando el área de servicio por niveles.

♦ **Concreto endurecido:** Concreto que ha desarrollado suficiente resistencia para poder soportar las cargas especificadas. Concreto cuyo tiempo de elaboración ha sobrepasado el tiempo de fraguado y en consecuencia se encuentra en estado rígido.

♦ **Concreto fresco:** Estado fluido del concreto desde el momento que es mezclado hasta que inicia su endurecimiento. Este estado del concreto permite mantener su capacidad de colocación y consolidación. Concreto recién mezclado con agua, formando una masa plástica y fluida, capaz de ser moldeada.

♦ **Consistencia del concreto:** Se refiere al estado de la mezcla con respecto a su estado de fluidez. Es una medida de plasticidad del concreto fresco o del mortero para fluir. La forma usual de medirlo es mediante el asentamiento en el caso del concreto, flujo o lechada en los morteros y resistencia a la penetración para la pasta de cemento.

♦ **Curado:** Tratamiento que se da al concreto para evitar la pérdida de agua que necesita el cemento para su hidratación. Este importante proceso, bien sea a través de riego, inmersión o suministro de vapor, permite obtener una buena durabilidad del concreto.

♦ **Desenfrar o Desmoldar:** Acción de retirar del molde el concreto o mortero una vez endurecido, y debe realizarse después de 24 horas (como mínimo) de haberlo encofrado.

♦ **Diseño de mezcla:** Procedimiento mediante el cual se calcula las cantidades de todos los componentes de una mezcla de concreto, para lograr el comportamiento deseado. Debe cumplir con tres requisitos: resistencia exigida por el calculista, relaciona agua-cemento para los efectos de la durabilidad y una plasticidad (asentamiento).

♦ **Ensayo destructivo:** Ensayos destinados a evaluar la condición resistente del concreto provocando la destrucción del mismo.

♦ **Ensayo no destructivo:** Ensayos destinados a evaluar la condición resistente del concreto sin afectación del mismo.

♦ **Esfuerzo:** Magnitud de fuerzas internas por unidad de área producidas por cargas externas. Cuando las fuerzas son paralelas al plano, el esfuerzo es llamado esfuerzo cortante. Cuando el esfuerzo normal está dirigido hacia la parte en que actúa, es llamado esfuerzo de compresión. Cuando está dirigido hacia afuera de la parte en que actúa, es llamado esfuerzo de tensión.

♦ **Fluidez:** Es el **grado** de movilidad o calidad de fluido que puede tener la mezcla de concreto.

♦ **Fraguado:** Es el proceso de endurecimiento del concreto. Período en el cual al mezclarse el cemento con el agua permanece plástica y/o trabajable durante un lapso corto de tiempo.

♦ **Granulometría:** Es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen los agregados.

♦ **Granulometría continua:** Granulometría en la cual se encuentran presentes las fracciones intermedias.

♦ **Granulometría discontinua:** Granulometría en la cual ciertos tamaños de partícula intermedias están ausentes o en proporción muy escasa, es decir un tamaño de partícula en específico.

♦ **Grieta:** Es la separación o abertura en el concreto de importante magnitud que puede ser el inicio de una falla estructural.

♦ **Módulo de Rotura:** Equivalente a resistencia a la tracción por flexión, pero es un término en desuso.

♦ **Mortero:** Es la mezcla de cemento, agregado fino y agua.

♦ **Pasta de cemento:** Constituyente del concreto que esta formado por cemento y agua.

♦ **Plasticidad:** Es la propiedad que tiene la pasta de cemento, el concreto o mortero fresco (recién mezclados), que evalúa su resistencia a la deformación su facilidad de moldeado.

♦ **Porosidad:** es una propiedad inherente del concreto, que se debe al exceso de agua para la mezcla, que al evaporarse deja una red de poros tanto capilares como microscópicos el gel del cemento.

♦ **Puzolana o Puzolánica:** Un material silíceo o sílico aluminoso que por sí solo posee poco o ningún valor cementante. Pero en forma finamente dividido y en presencia de humedad, es químicamente reactivo con hidróxido de calcio a temperatura ordinaria para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

♦ **Relación agua-cemento ($a/C = \alpha$):** Es la Relación que se obtiene de dividir el peso del agua, entre el peso del cemento de la mezcla. Mientras mayor sea esta relación menor será la resistencia mecánica y menor durabilidad del concreto.

♦ **Resistencia:** Es el término genérico para designar la habilidad de un material para resistir deformaciones o rotura inducidas por fuerzas externas.

♦ **Resistencia a la compresión:** Capacidad máxima de carga que soporta un material antes de llegar a su límite de ruptura, se expresa en Kg./cm. o MPa.

♦ **Resistencia a la tensión:** Máximo esfuerzo de tensión que puede soportar un material antes de llegar a su límite de destrucción.

♦ **Resistencia mecánica:** Es la capacidad máxima de los materiales para soportar cargas o tensiones sin llegar a su límite de destrucción.

♦ **Ripio:** Residuo o fragmento de desechos que se utilizan para rellenar.

♦ **Segregación:** Tendencia a la separación natural de los componentes de la mezcla de concreto.

♦ **Trabajabilidad:** La propiedad de la mezcla de concreto que determina su facilidad de ser moldeada, colada y acabada.

♦ **Vibrado:** Acción de vibrar el concreto fresco con el objeto de expulsar el aire atrapado durante el mezclado de la revoltura y minimizar el efecto de la porosidad.