



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TENSIÓN INDIRECTA
Y A LA FLEXIÓN DE CONCRETO FIBROREFORZADO DE MATRIZ CEMENTICIA Y PLUMAS
DE AVE: POLLOS**

Elvin Wilson Hernández Hernández

Asesorado por el Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TENSIÓN INDIRECTA
Y A LA FLEXIÓN DE CONCRETO FIBROREFORZADO DE MATRIZ CEMENTICIA Y PLUMAS
DE AVE: POLLOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ELVIN WILSON HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL ING. OSWALDO ROMEO ESCOBAR ALVAREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordon
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TENSIÓN INDIRECTA
Y A LA FLEXIÓN DE CONCRETO FIBROREFORZADO DE MATRIZ CEMENTICIA Y PLUMAS
DE AVE: POLLOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha mayo de 2010.



Elvin Wilson Hernández Hernández

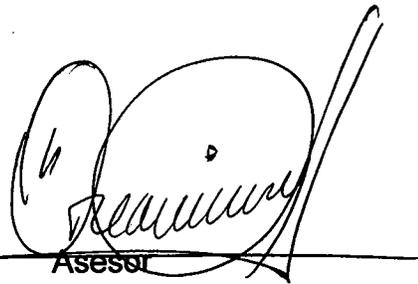
Guatemala, 04 de julio de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
USAC

Estimado Ingeniero Montenegro:

Por este medio hago constar que he revisado el trabajo de graduación que tiene como título "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TENSIÓN INDIRECTA Y A LA FLEXIÓN DE CONCRETO FIBROREFORZADO DE MATRIZ CEMENTICIA Y PLUMAS DE AVE: POLLOS", así como el artículo de trabajo de graduación respectivo, elaborados por el estudiante Elvin Wilson Hernández Hernández con número de carné 2002-12153. Habiendo cumplido con los requisitos y fines planteados, recomiendo su aprobación.

Atentamente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Oswaldo Romeo Escobar Álvarez', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
22 de agosto de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TENSIÓN INDIRECTA Y A LA FLEXIÓN DE CONCRETO FIBROREFORZADO DE MATRIZ CEMENTICIA Y PLUMAS DE AVE: POLLOS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Elvin Wilson Hernández Hernández, quien contó con la asesoría del Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero al trabajo de graduación del estudiante Elvin Wilson Hernández Hernández, titulado, **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TENSIÓN INDIRECTA Y A LA FLEXIÓN DE CONCRETO FIBROREFORZADO DE MATRIZ CEMENTICIA Y PLUMAS DE AVE: POLLOS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre de 2011.

/bbdeb.

Más de **130** Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 373.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, TENSIÓN INDIRECTA Y A LA FLEXIÓN DE CONCRETO FIBROREFORZADO DE MATRIZ CIMENTICIA Y PLUMAS DE AVE: POLLOS**, presentado por el estudiante universitario **Elvin Wilson Hernández Hernández**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 3 de octubre de 2011

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	El dueño de la sabiduría y la inteligencia, quien me acompaña en cada instante de la vida.
Mis padres	Elwin Hernández y Mirna Hernández, gracias por su apoyo incondicional, siempre han sido un ejemplo a seguir.
Mi esposa e hijo	Por su paciencia y amor, son mi motivo de vivir.
Mi hermano	Josealberto, por compartir su sabiduría y ser mi más grande apoyo, nunca te voy a defraudar.
Mis tías y tíos	Por su cariño y apoyo.
Mis abuelos	Por sus consejos y su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la salvación y derramar sus bendiciones sobre mí y toda mi familia.
La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la formación académica y moral que me acompañará siempre.
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez	Por su asesoría y colaboración en la realización de este trabajo.
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol	Por su colaboración y asesoría en la realización de este trabajo.
El Centro de Investigaciones de Ingeniería	Por su colaboración en la realización de este estudio.
Mi familia	Por ser la motivación que cada día me empuja a querer ser una mejor persona.
Mis amigos	Gracias por su amistad y su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	I
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	X
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. ANTECEDENTES DE LOS MATERIALES FIBROREFORZADOS.....	1
2. MATERIALES COMPUESTOS	5
2.1. Clasificación de los materiales compuestos	7
2.1.1. Materiales compuestos reforzados con partículas	8
2.1.2. Materiales compuestos reforzados con fibras.....	9
2.1.3. Materiales compuestos estructurales.....	10
2.2. Características de los materiales compuestos reforzados con fibras	11
2.2.1. Relación de forma.....	12
2.2.2. Cantidad de fibras.....	12
2.2.3. Orientación de las fibras	13
2.2.4. Propiedades de las fibras	14
2.2.5. Propiedades de las matrices.....	14
2.2.6. Unión y rotura	15

3.	MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS.....	17
3.1.	Influencia de la longitud de las fibras.....	18
3.2.	Influencia de la orientación y de la concentración de las fibras	19
3.3.	Componentes del material compuesto fibroreforzado	21
3.3.1.	La matriz.....	21
3.3.2.	Las fibras	22
4.	CONCRETO.....	23
4.1.	Generalidades	23
4.1.1.	Resistencia	24
4.1.2.	Durabilidad.....	26
4.1.3.	Consistencia	27
4.1.4.	Colocación y compactación	29
4.1.5.	Fraguado	30
4.1.6.	Curado.....	33
4.2.	Materiales constituyentes	34
4.2.1.	Cemento	34
4.2.1.1.	Proceso de fabricación	37
4.2.2.	Áridos.....	40
4.2.2.1.	Agregado fino o arena	46
4.2.2.2.	Agregado grueso o grava	50
4.2.3.	Agua	53
5.	PLUMAS.....	55
5.1.	Generalidades	55
5.1.1.	Origen.....	58
5.1.2.	Composición	62
5.1.2.1.	Queratina beta	64
5.1.3.	Propiedades.....	65

5.1.4.	Tipos de plumas.....	68
5.2.	Usos de las plumas en la industria	69
5.3.	Estadísticas de generación de este desecho	69
6.	MATERIA PRIMA, OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN.....	71
6.1.	Cemento	71
6.2.	Agregado fino	71
6.3.	Agregado grueso	72
6.4.	Agua	72
6.5.	Plumas.....	73
7.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	75
7.1.	Diseño de las mezclas.....	75
7.2.	Elaboración de las probetas	76
7.2.1.	Probetas para ensayo de compresión	76
7.2.2.	Probetas para ensayo de tensión indirecta.....	76
7.2.3.	Probetas para ensayo de flexión	77
7.2.4.	Proporcionamiento y pesado de los materiales	77
7.2.5.	Mezclado de los materiales	78
7.2.6.	Moldeado de probetas	80
7.2.7.	Desencofrado	82
7.2.8.	Curado	83
7.3.	Procedimientos de ensayos.....	84
7.3.1.	Ensayo de asentamiento (<i>Slump</i>).....	84
7.3.2.	Ensayo de compresión	86
7.3.3.	Ensayo de tensión indirecta.....	91
7.3.4.	Ensayo de flexión	93
7.4.	Datos obtenidos.....	96
7.4.1.	Datos del diseño de mezclas	96

7.4.2.	Cantidades de materiales utilizados	98
7.4.3.	Datos obtenidos de los ensayos	100
7.4.3.1.	Ensayo de asentamiento	100
7.4.3.2.	Ensayo de resistencia a compresión	101
7.4.3.3.	Ensayo de resistencia a tensión indirecta	103
7.4.3.4.	Ensayo de resistencia a flexión.....	105
8.	CÁLCULOS, RESULTADOS Y GRÁFICAS	107
8.1.	Cálculos realizados.....	107
8.1.1.	Cálculo de la resistencia a la compresión.....	107
8.1.2.	Cálculo de la resistencia a la tensión indirecta	108
8.1.3.	Cálculo de la resistencia a la flexión	108
8.1.4.	Cálculo del peso específico grueso de las mezclas de concreto	109
8.1.5.	Cálculo de relaciones entre datos teóricos y datos reales	110
8.2.	Resumen de resultados	112
8.2.1.	Ensayo de compresión	112
8.2.2.	Ensayo de tensión indirecta.....	115
8.2.3.	Ensayo de flexión	117
8.3.	Gráficas	120
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	125
9.1.	Ensayo de asentamiento según la norma ASTM C-143.....	125
9.2.	Comparación e interpretación de los resultados de los ensayos.....	125
9.2.1.	Ensayo de resistencia a compresión según la norma ASTM C-39.....	125

9.2.2.	Ensayo de resistencia a tensión indirecta según la norma ASTM C-496	127
9.2.3.	Ensayo de resistencia a flexión según la norma ASTM C-293	128
9.3.	Fallas en los especímenes ensayados	129
9.3.1.	Fallas a compresión.....	129
9.3.2.	Falla a tensión indirecta	130
9.3.3.	Falla a flexión.....	130
9.4.	Efectos de las plumas sobre el concreto	131
CONCLUSIONES.....		133
RECOMENDACIONES.....		135
BIBLIOGRAFÍA.....		137
ANEXOS.....		141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de los materiales compuestos	8
2.	Diagrama esquemático de la fabricación de un panel <i>sándwich</i> con un núcleo en panal.....	11
3.	Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.....	18
4.	Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineada, (c) discontinuas y orientadas al azar	20
5.	Medición del asentamiento	28
6.	Fraguado y endurecimiento	31
7.	Materia prima para la fabricación de cemento	35
8.	Esquema de un horno rotativo donde se mezcla y calcina la caliza y la arcilla para formar el <i>clinker</i> de cemento.....	38
9.	<i>Clinker</i> de cemento antes de su molienda	39
10.	Torre de clasificación de arenas en una cantera	46
11.	Grava	50
12.	Partes de una pluma: I. Vexilo, II. Raquis, III. Barbas, IV. Plumón, V. Eje hueco, cálamo.....	56
13.	Evolución de las plumas	61
14.	Proteína α -hélice.....	63
15.	Gráfica de la dureza de la queratina	66
16.	Prueba de resistencia a la fractura	67
17.	Obtención de plumas para la realización de mezclas	73

18.	Pesado de los materiales para la mezcla, en la balanza electrónica	78
19.	Mezclado de los materiales en la mezcladora	79
20.	Llenado de las probetas.....	81
21.	Desencofrado de probetas.....	82
22.	Desencofrado de probetas.....	82
23.	Curado de las probetas.....	84
24.	Ensayo de asentamiento, medición del asentamiento	86
25.	Máquina marca RIEHLE	87
26.	Medición de las probetas utilizando el vernier	88
27.	Nivelación de las probetas con el azufre	90
28.	Realización del ensayo de compresión.....	90
29.	Pesado de las probetas	91
30.	Realización del ensayo de tensión indirecta	93
31.	Máquina universal marca BALDWIN.....	94
32.	Probetas para el ensayo a flexión.....	95
33.	Realización del ensayo de flexión	96
34.	Gráfica de la resistencia a compresión a los 28 días en los distintos tipos de mezcla, en comparación con la resistencia esperada.....	121
35.	Gráfica de la resistencia a tensión indirecta a los 28 días en los distintos tipos de mezcla, en comparación con la resistencia esperada.....	121
36.	Gráfica de la resistencia a flexión a los 28 días en los distintos tipos de mezcla, en comparación con la resistencia esperada.....	122
37.	Gráfica del comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezclas, ensayadas a compresión.....	123

38.	Gráfica del comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezclas, ensayadas a tensión indirecta	123
39.	Gráfica del comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezclas, ensayadas a flexión	124
40.	Falla en probeta, ensayo de compresión	129
41.	Falla en probeta, ensayo de tensión indirecta	130

TABLAS

I.	Clasificación del concreto según su consistencia	28
II.	Límites permisibles de sustancias dañinas contenidas en la arena.....	48
III.	Límites de granulometría para el agregado fino según norma ASTM C-33.....	49
IV.	Proporción volumétrica de diseño de las mezclas y resistencias esperadas	97
V.	Cantidad de materiales para la base de cada mezcla, dosificación volumétrica y por peso.....	98
VI.	Contenido de plumas en las mezclas	99
VII.	Contenido de agua en las mezclas	99
VIII.	Resultados del ensayo de asentamiento	100
IX.	Datos obtenidos del ensayo a compresión en las probetas de 7 días de edad	101
X.	Datos obtenidos del ensayo a compresión en las probetas de 28 días de edad	102
XI.	Datos obtenidos del ensayo a tensión indirecta en las probetas de 7 días de edad	103
XII.	Datos obtenidos del ensayo a tensión indirecta en las probetas de 28 días de edad	104

XIII.	Datos obtenidos del ensayo a flexión en las probetas de 7 días de edad	105
XIV.	Datos obtenidos del ensayo a flexión en las probetas de 28 días de edad	106
XV.	Resultados del ensayo a compresión en probetas de 7 días de edad	113
XVI.	Resultados del ensayo a compresión en probetas de 28 días de edad	114
XVII.	Resultados del ensayo a tensión indirecta en probetas de 7 días de edad	115
XVIII.	Resultados del ensayo a tensión indirecta en probetas de 28 días de edad	116
XIX.	Resultados del ensayo a flexión en probetas de 7 días de edad	117
XX.	Resultados del ensayo a flexión en probetas de 28 días de edad	118
XXI.	Relaciones de pesos específicos entre las mezclas	120

GLOSARIO

Aglomerantes	Materiales que, en estado pastoso, tienen la propiedad de poderse moldear, de adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, protegerlos, endurecerse y alcanzar resistencias mecánicas considerables.
Álcalis	Son óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos. Actúan como bases fuertes y son muy hidrosolubles. De tacto jabonoso, pueden ser lo bastante corrosivos como para quemar la piel, al igual que los ácidos fuertes.
Aluvial	Formación geológica de material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua.
Anisótropo	Que presenta propiedades variables según la dirección en que se midan. Dicho de una materia, que no es isótropa.
Barraca	Caseta o albergue construido toscamente y con materiales ligeros.

Cantera	Explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos.
<i>Clinker</i>	Material que se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que oscila entre 1 350 y 1 450°C, se muele para fabricar el cemento portland.
Fase	Cada una de las partes homogéneas físicamente separables en un sistema formado por uno o varios componentes.
Fibra	Cada uno de los filamentos que entran en la composición de los tejidos orgánicos vegetales o animales.
Hidratación	Reacción en la que se produce la incorporación de agua a un compuesto.
Hidrólisis	Rompimiento de una molécula debido a la acción del agua.
Insoluble	Que no puede disolverse ni diluirse en otras sustancias.

Integumentario	El sistema integumentario o tegumento es con frecuencia el sistema orgánico más extenso de un animal ya que lo recubre por completo, tanto externamente, como numerosas cavidades internas. Su función es la de separar, proteger e informar al animal del medio que le rodea, en ocasiones actúa también como exoesqueleto.
Laminar	Dicho de la estructura de un cuerpo, que tiene sobrepuestas y paralelamente colocadas sus láminas u hojas.
Matriz	Entidad principal, generadora de otras.
Matriz cementante	Elemento compuesto por 2 o más materiales en el cual uno de ellos sirve como cementante o aglutinante.
Mica	Minerales pertenecientes a un grupo numeroso de silicatos de alúmina, hierro, calcio, magnesio y minerales alcalinos caracterizados por su fácil exfoliación en delgadas láminas flexibles, elásticas y muy brillantes.
Mortero	Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante y agua, que puede contener además algún aditivo.

Panel <i>sándwich</i>	Panel estructural formado por una chapa interna de un material más ligero, encerrado entre dos paneles de alta resistencia.
Polímero	Macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.
Polipéptido	Es el nombre utilizado para designar un péptido de tamaño suficientemente grande; como orientación, se puede hablar de más de 10 aminoácidos.
Rabadilla	Extremidad del espinazo, formado por el hueso cóccix y la última pieza del hueso sacro.
Sulfatos	Sales del ácido sulfúrico. En la naturaleza se encuentran en forma de yeso, o aljez.

RESUMEN

El presente trabajo contiene el análisis de la resistencia a la compresión, tensión indirecta y a la flexión que alcanzaron mezclas de concreto reforzado con fibras naturales, es decir plumas de pollos. Dichos resultados fueron comparados con los obtenidos en mezclas de concreto tradicional.

Los plumas fueron obtenidas como subproducto del procesamiento de carne de pollo, las mismas fueron seleccionadas de tal forma que fueran lo suficientemente pequeñas para homogeneizarse con el resto de los componentes del concreto, aproximadamente 5 cm de longitud. Las concentraciones de dicho material, dentro del concreto, fueron de 0,5% y 0,0125% del volumen de la mezcla. Estas proporciones fueron seleccionadas buscando que fuera posible observar las diferencias en el comportamiento y así poder realizar una comparación directa entre todas las mezclas.

Los ensayos de asentamiento en el concreto fresco y de resistencia a la compresión, tensión indirecta y a la flexión en probetas cilíndricas, se llevaron a cabo bajo los lineamientos que establecen las normas ASTM.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, pusieron en evidencia el hecho de que la adición de este material fibroso, reduce la trabajabilidad y en algunos casos la resistencia a la compresión y tensión indirecta de las mezclas de concreto, no así la resistencia a la flexión. En general, este es el primer estudio que se realiza al respecto, deberán hacerse más pruebas para poder establecer ciertos aspectos que escaparon al alcance de este trabajo, como por ejemplo una caracterización física y química de las plumas, entre otros.

OBJETIVOS

Generales

1. Contribuir con los avances tecnológicos del concreto, obteniendo datos confiables sobre las características de esfuerzos de compresión, tensión indirecta y flexión que se tendrán en el concreto cuando se añaden otros materiales, comparando estos resultados con las propiedades del concreto constituido únicamente por cemento, agregado fino, agregado grueso y agua.
2. Obtener beneficios tecnológicos, económicos y ambientales, por medio de los usos factibles que puedan dársele a las plumas que generalmente son desechadas.

Específicos

1. Satisfacer las exigencias del mercado, de concretos más ligeros y más resistentes.
2. Delimitar los posibles usos de cada tipo de concreto, si existieran, tomando en cuenta sus características especiales.
3. Determinar los efectos de las plumas añadidas al concreto, de modo que se conozca el tipo de interacción que tendrá sobre las propiedades de dicho concreto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Guatemala se investiga muy poco sobre nuevas tecnologías y técnicas que puedan modificar las propiedades del concreto, esta investigación busca satisfacer las exigencias que aumentan día a día para el concreto, centrándose en la incorporación de nuevos materiales para la elaboración de concretos más resistentes y más ligeros, acarreado como consecuencia otros beneficios.

Se sabe que en la naturaleza existe un sin fin de componentes con características muy peculiares, tal es el caso de la queratina normalmente encontrada en las uñas y el pelo, pero también presente en las plumas de las aves. La queratina es un polímero o plástico natural que se caracteriza por ser un material ligero, de alta resistencia mecánica y térmica, estas propiedades son la razón fundamental por la cual se realizó el estudio.

Las plumas representan el 5% a 7% del peso total de los pollos maduros y se generan en cantidades enormes como subproducto inútil durante el procesamiento de carne de pollo, la mayor parte de esta materia es depositada en vertederos y una pequeña parte es incinerada. Cabe mencionar que la contaminación generada por este tipo de desechos afecta gravemente el medio ambiente, poniendo en riesgo la salud de las personas.

Los desechos, en su gran mayoría ocasionan dificultades al momento de disponer de ellos, de encontrar un uso práctico y positivo a este material, no sólo existirán avances tecnológicos sino también se podrían obtener beneficios ambientales.

El concreto es un material versátil, y que puede encontrarse en todo tipo de construcciones, además gran parte del avance humano se debe a la utilización de este material. Sin embargo, este mismo avance ha creado nuevas exigencias para el mismo, impulsando así investigaciones con el propósito de hallar técnicas y tecnologías que permitan mezclas de concreto más adecuadas, eficientes y económicas.

De aquí surge la inquietud de darle uso a las plumas, las cuales pertenecen al grupo de fibras naturales de origen animal. Al introducirlas al concreto, se espera, que se igualen o superen ciertas características del mismo, generando un buen uso a la materia de desecho, convirtiéndose no solo en una forma de reciclaje sino derivando en un concreto más ligero y más resistente.

Como ya se dijo, el presente trabajo de investigación espera alcanzar beneficios tecnológicos y ambientales, de manera que se consiga una integración de los desechos con el concreto para crear nuevos tipos de concreto, con propiedades similares al concreto existente, pero con ventajas que promuevan su uso bajo condiciones especiales.

1. ANTECEDENTES DE LOS MATERIALES FIBROREFORZADOS

La idea de utilizar fibras naturales como refuerzos para la elaboración de mezclas destinadas a la construcción, no es nueva. Esta idea podría remontarse quizá hasta los orígenes de la civilización.

Una prueba indiscutible de que desde tiempo atrás se utilizaron las fibras naturales como refuerzo, es un fragmento que se puede extraer de la Biblia, según expertos la Biblia contiene algunos de los textos más antiguos conocidos en la actualidad, en este fragmento narra cómo los Israelitas que en ese entonces se encontraban cautivos en Egipto, empleaban paja como refuerzo en la elaboración de ladrillos para la construcción.

Existen pruebas físicas de que los egipcios producían y utilizaban adobe reforzado con paja, cerca de Bagdad capital de Iraq, 1 500 años A.C., se construyó el Aqar Quf, con una altura de aproximadamente 57 metros y que en su base incluye adobes secados al sol y reforzados con paja.

No sólo los egipcios utilizaron fibras naturales, en Valencia, España, los techos de las barracas eran construidos con fango y reforzado con paja de arroz, esta fibra natural además de reforzar el techo, repelía al agua. Es así como desde tiempos remotos se ha venido utilizando y experimentando con las fibras de origen natural.

Avanzando un poco en la historia y situados ya en la época actual, el primer material reforzado con fibra natural de origen mineral fue el asbesto-cemento, cuyo invento se atribuyó a Ludwing Hatschek en el año de 1899.

Se debe mencionar que este material asbesto-cemento fue no sólo el más conocido hasta hace poco, sino también el más exitoso y además el más utilizado. Pero debido a que se comprobó que ocasionaba cáncer a los pulmones y por los serios riesgos que suponía contra la salud, asociados con la extracción y procesamiento de asbesto, se llegó al remplazo del asbesto por una mezcla de otras fibras. El asbesto cemento fue la tecnología dominante hasta 1960.

En la década de 1960 se desarrollaron los concretos reforzados con fibra, que empleaban fibra de acero, fibra de vidrio, polipropileno y algunas otras fibras sintética, esta tecnología se le atribuye a las investigaciones realizadas por Rumualdi y Bason que fueron publicadas en 1963, en el caso de la fibra de vidrio, su baja resistencia a los álcalis fue un factor que impidió su uso a escala comercial.

En los últimos años se han logrado grandes adelantos y se han realizado también diversas investigaciones para incorporar fibras de refuerzo al mortero y al concreto, dando como resultado diversos materiales utilizados en la industria de la construcción.

Las fibras utilizadas han sido muy variadas, desde fibra de acero, fibra de vidrio, polipropileno, fibras de nylon, y algunas otras fibras sintéticas, hasta fibras de origen natural como estopa de coco entre otros. Sin embargo, a la primera gama de fibras arriba mencionadas, se les puede considerar generalmente inapropiadas para países en desarrollo, debido a los altos costos y abastecimiento limitado de dichas fibras, lo que ha dirigido la atención hacia las fibras naturales, ya sea de origen vegetal o de origen animal.

2. MATERIALES COMPUESTOS

Las tecnologías modernas requieren casi en su totalidad de materiales que posean una combinación inusual de propiedades, en muchos casos estas propiedades simplemente son imposibles de conseguir con metales, cerámicas, polímeros y otros materiales ya conocidos. No existe una definición ampliamente aceptada para poder definir lo que es un material compuesto. La dificultad de definir este término radica en las limitaciones de tamaño que se imponga a los componentes del que está formado el material.

Algunos expertos definen un material compuesto como un material integrado por una mezcla de dos o más micro y macro constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí.

En términos generales, se puede considerar a un material compuesto como un material multifase, este material nuevo debe conservar una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes, de manera que presente la mejor combinación posible. De acuerdo con lo antes mencionado en el principio de acción combinada, las mejores propiedades se obtienen por la combinación razonada de dos o más materiales diferentes.

La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos fases, una llamada matriz, que es continua y rodea a la otra fase, y otra denominada fase dispersa. Las propiedades de los compuestos son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de las fases dispersas.

En conclusión podemos decir que los materiales compuestos se forman con la combinación de dos o más materiales o fases insolubles que difieren en forma y en composición química, estos materiales no cambian su composición química durante el proceso de formación del material compuesto y forman una interface entre sí. El resultado de la acción conjunta de estos materiales se caracteriza por tener un efecto o resultado superior al que resultaría de la simple suma de las propiedades de cada uno de estos materiales.

Una de las ventajas que propone esta combinación, es que los materiales pueden seleccionarse de acuerdo a las exigencias para obtener combinaciones inusuales de sus propiedades.

Podríamos decir también que un material compuesto es un material multifase obtenido artificialmente, en oposición a los que se encuentran en la naturaleza. Además, las fases constituyentes deben ser químicamente distintas y separadas por una interfaz.

Los materiales combinados no solo son artificiales, existen materiales compuestos naturales, como por ejemplo, la madera, que consiste en fibras de celulosa flexibles embebidas en un material rígido llamado lignina. El hueso es un material compuesto formado por colágeno, una proteína resistente pero blanda, y por apatito, un mineral frágil.

Una buena parte de los materiales compuestos se han creado con el objetivo de mejorar la combinación de propiedades mecánicas tales como:

- Resistencia
- Rigidez
- Resistencia a la corrosión

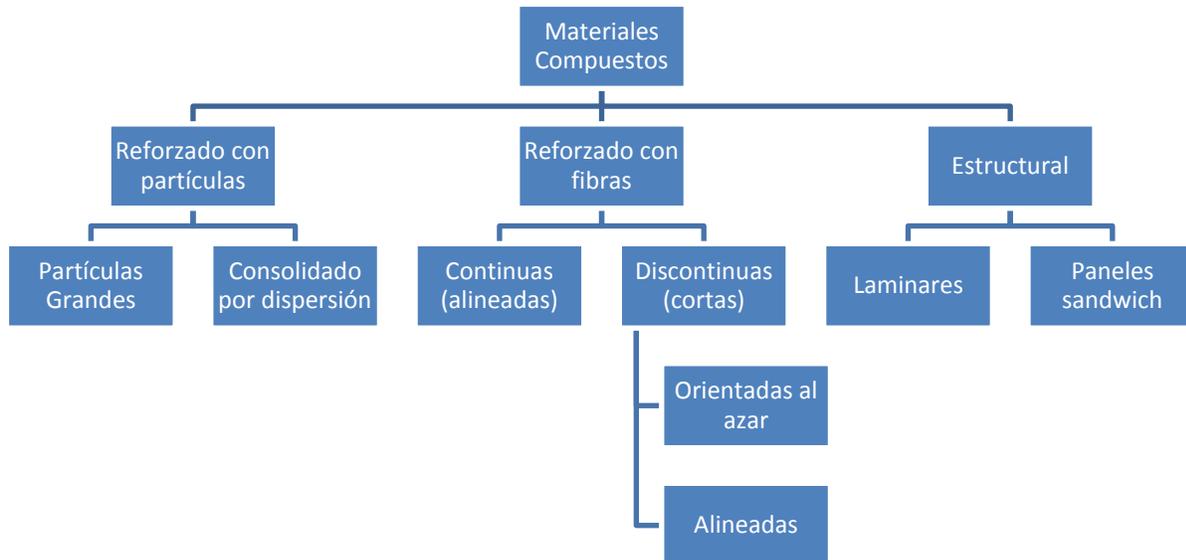
- Resistencia al desgaste
- Peso
- Resistencia a la fatiga
- Comportamiento dependiente de la temperatura
- Aislamiento y conductibilidad térmica
- Aislamiento acústico

2.1. Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se clasifican o se dividen en tres grandes grupos, los cuales son:

- Materiales compuestos reforzados con partículas
- Materiales compuestos reforzados con fibras
- Materiales compuestos estructurales

Figura 1. **Clasificación de los materiales compuestos**



Fuente: elaboración propia.

2.1.1. **Materiales compuestos reforzados con partículas**

Los materiales compuestos reforzados con partículas se subdividen en:

- Reforzados con partículas grandes
- Consolidados por dispersión

Esta distinción se fundamenta en el mecanismo de consolidación o de reforzamiento. El término "grande" se utiliza para indicar que las interacciones matriz-partícula no se pueden describir a nivel atómico o molecular, sino mediante la mecánica continua.

En la mayoría de los materiales compuestos la fase dispersa es más dura y resistente que la matriz y las partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. En esencia, la matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una parte de la carga. El grado de reforzamiento o de mejora del comportamiento mecánico depende de la fuerza de cohesión en la interfaz matriz-partícula. Un material compuesto con partículas grandes es el hormigón, formado por cemento (matriz) y arena o grava (partículas).

Entre más pequeñas sean las partículas y estén mejor distribuidas en la matriz, el reforzamiento es más efectivo. Además, la fracción de volumen de las dos fases influye en el comportamiento; las propiedades mecánicas aumentan al incrementarse el contenido de partículas.

Las interacciones matriz-partícula que conducen a la consolidación ocurren a nivel atómico o molecular. Las partículas de los materiales compuestos consolidados por dispersión normalmente son mucho más pequeñas: los diámetros tienen de 10 a 100 μm . Mientras la matriz soporta la mayor parte de la carga aplicada, las pequeñas partículas dispersas dificultan o impiden el desplazamiento de dislocaciones. De este modo se restringe la deformación plástica de tal manera que aumenta el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza.

2.1.2. Materiales compuestos reforzados con fibras

Los materiales compuestos reforzados con fibras, son materiales que contienen fibras en su interior. Se forman por la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles dentro de una matriz más blanda y dúctil.

El objeto de la utilización de fibras es que de esta manera se consigue mejor resistencia en condiciones específicas, incluso a altas temperaturas. Quizá uno de los mejores beneficios que se pueden obtener es la alta rigidez y alta relación resistencia/peso.

La forma en que funciona este sistema consiste en que el material de la matriz transmite la fuerza a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

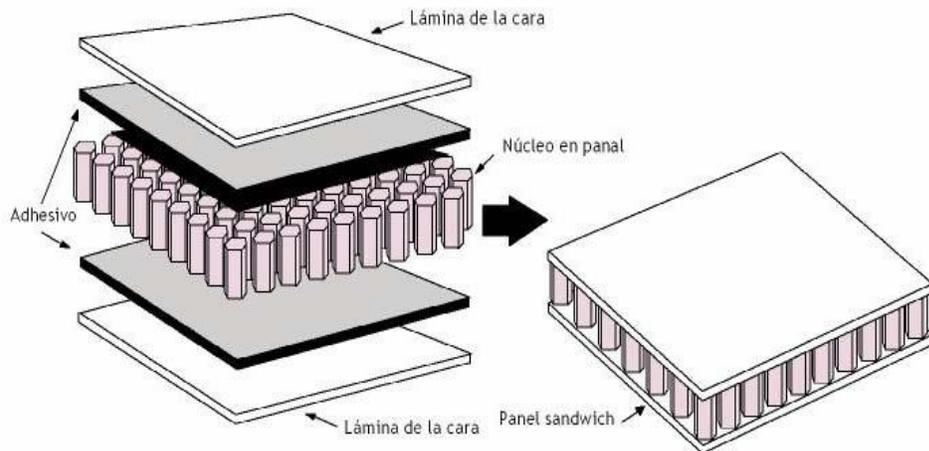
2.1.3. Materiales compuestos estructurales

Se dice que un material compuesto estructural está formado tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos y algo muy importante es que sus propiedades no sólo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales, esto es algo a lo que debe prestarse mucha atención, puesto que aun teniendo los materiales indicados, si el diseño geométrico es incorrecto, los resultados serán insatisfactorios.

Dos de los compuestos estructurales más comunes son:

- Los compuestos laminares, los cuales poseen una dirección preferente con elevada resistencia (tal como ocurre en la madera).
- Los paneles *sándwich*, que poseen caras externas fuertes separadas por una capa de material menos denso, o núcleo.

Figura 2. **Diagrama esquemático de la fabricación de un panel *sándwich* con un núcleo en panal**



Fuente: <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/rev7.pdf>

2.2. Características de los materiales compuestos reforzados con fibras

A continuación se describen ciertas características, quizá las más evidentes al momento de crear un material compuesto.

- Relación de forma (l / d)
- Cantidad de fibras
- Orientación de las fibras
- Propiedades de las fibras
- Propiedades de las matrices
- Unión y rotura

2.2.1. Relación de forma

La resistencia del material aumenta cuando la relación longitud dividido diámetro (l/d) es grande. Lograr que la resistencia aumente se consigue utilizando fibras de diámetros lo más pequeño posible, la explicación a lo anterior es sencilla, debido a que las fibras se fracturan por defectos en la superficie, por lo tanto mientras menor sea el diámetro menor será el área superficial y por lo tanto mayor será la resistencia. También deben utilizarse preferiblemente fibras largas, puesto que los extremos soportan menos carga que el centro de las fibras, entonces mientras más largas sean las fibras menos extremos habrá dentro de la pieza.

Es posible utilizar también fibras cortas, para ello las fibras que se utilizaran que serán cortas deben poseer una relación de forma por encima de algún valor crítico, para conseguir buena resistencia y fácil procesado.

2.2.2. Cantidad de fibras

En cuanto a la cantidad de fibras que debe utilizarse se ha estimado que una fracción mayor en volumen de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del compuesto. Sin embargo, existen ciertos valores ya determinados que nos indican la fracción máxima en volumen de fibras que puede utilizarse para obtener resultados satisfactorios.

Para obtener resultados adecuados la fracción máxima en volumen de fibra que se recomienda utilizar es aproximadamente el 80%, es indispensable resaltar y tener presente que si se sobrepasa esta relación los resultados serán adversos, esto debido a que más allá de esta cantidad las fibras ya no quedan totalmente rodeadas por la matriz, obteniéndose un material menos resistente.

2.2.3. Orientación de las fibras

Dentro de la matriz las fibras pueden ser colocadas con orientaciones diversas, para poder obtener un comportamiento isotrópico, es decir para obtener propiedades homogéneas en el material, se colocan fibras cortas con orientación aleatoria.

El ordenar las fibras unidireccionalmente produce un comportamiento anisotrópico, en este caso la resistencia y la rigidez son paralelas a las fibras, esto quiere decir que cuando la orientación es perpendicular a las fibras la resistencia es menor que cuando se orientan en paralelo, también es posible observar que estas propiedades disminuyen con el aumento del ángulo entre las fibras y la tensión aplicada.

Si se requiere es posible diseñar las propiedades de estos materiales, para soportar condiciones de carga diferentes; en pocas palabras, se pueden introducir fibras largas y continuas en varias direcciones, consiguiendo un compuesto casi isotrópico.

2.2.4. Propiedades de las fibras

Dentro de las propiedades más atractivas de las fibras podemos mencionar que son resistentes, rígidas y de poco peso. Dependiendo de las condiciones para las cuales se requiera el elemento, la fibra deberá ser seleccionada para resistir ciertas condiciones específicas.

Características importantes de las fibras:

- Resistencia específica = σ_y/ρ
- Módulo específico = E / ρ

Dónde:

σ_y = límite elástico

ρ = densidad de la fibra

E = módulo de la elasticidad de la fibra

Vale la pena mencionar que generalmente el módulo específico más alto se encuentra en materiales con número atómico bajo y enlace covalente. Además mientras más alta sea la resistencia específica reflejara una fibra de mejor resistencia.

2.2.5. Propiedades de las matrices

La función primordial de la matriz es, soportar las fibras manteniéndolas en una posición correcta, transferir la carga a las fibras fuertes, proteger de sufrir daños durante su uso y fabricación, evitar la propagación de grietas a lo largo del compuesto.

También se sabe que la matriz, es responsable de controlar el comportamiento del elemento en las condiciones específicas para las que fue diseñado debido a que además de unir las fibras sirve como un forro para las fibras protegiéndolas de las condiciones exteriores.

2.2.6. Unión y rotura

Es necesario que las fibras se encuentren perfecta y firmemente unidas al material de la matriz, esto con el objetivo de que las cargas se transfieran correctamente de la matriz a las fibras. Se debe mencionar que si la unión es pobre o débil, las fibras pueden salir de la matriz durante la carga, reduciendo la resistencia en general y específicamente la resistencia a la fractura del elemento.

La similitud de los coeficientes de expansión térmica de ambos materiales es una de las propiedades que deben tomarse en consideración al introducir fibras en una matriz, pues si tanto la matriz con la fibra se expanden o contraen de forma distinta, se pueden romper las fibras o su unión con la matriz.

3. MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

Los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes en cuanto a la aplicación de la tecnología. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez con una baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico.

Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, en la actualidad se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos sorprendentes y extremadamente elevados.

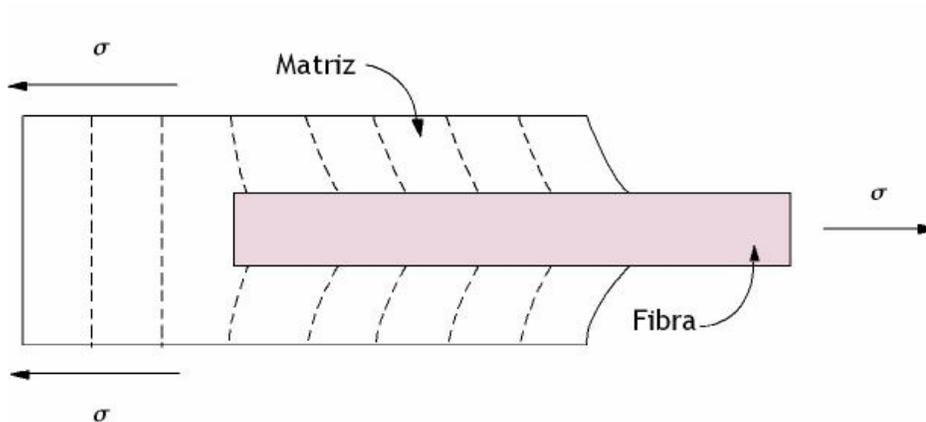
En general se entiende por material compuesto reforzado con fibras a aquel material conformado por fibras rectas, de preferencia largas, embebidas en el interior de una matriz que mantiene a las fibras unidas y distribuye los esfuerzos. Se podría decir que las fibras ofrecen sus mejores propiedades cuando trabajan en la dirección de las fibras, esto significa, que en un caso idealizado deberían encontrarse perfectamente alineadas la dirección de las fibras con la dirección de la fuerza exterior.

3.1. Influencia de la longitud de las fibras

Es necesario hacer notar que las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la interfaz de las fases matriz y fibra.

Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación como el que se muestra en la figura de abajo; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.

Figura 3. **Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción**



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcm971c/doc/bmfcm971c.pdf>

Para poder aumentar la resistencia y la rigidez de un material compuesto se puede hacer uso de la longitud de fibra crítica. Esta longitud crítica L_c depende del diámetro d de la fibra, de la resistencia a la tracción σ_f , de la resistencia de la unión matriz-fibra T_c , de acuerdo con:

$$L_c = \sigma_f d / T_c$$

Las fibras con $L \gg L_c$ se denominan continuas, normalmente L debe ser mayor que $15L_c$; por otro lado las fibras de menor longitud se denominan discontinuas o fibras cortas. En las fibras discontinuas de longitud significativamente menor que L_c , la matriz se deforma alrededor de la fibra de modo que apenas existe transferencia del esfuerzo y el efecto del reforzamiento de la fibra es insignificante.

3.2. Influencia de la orientación y de la concentración de las fibras

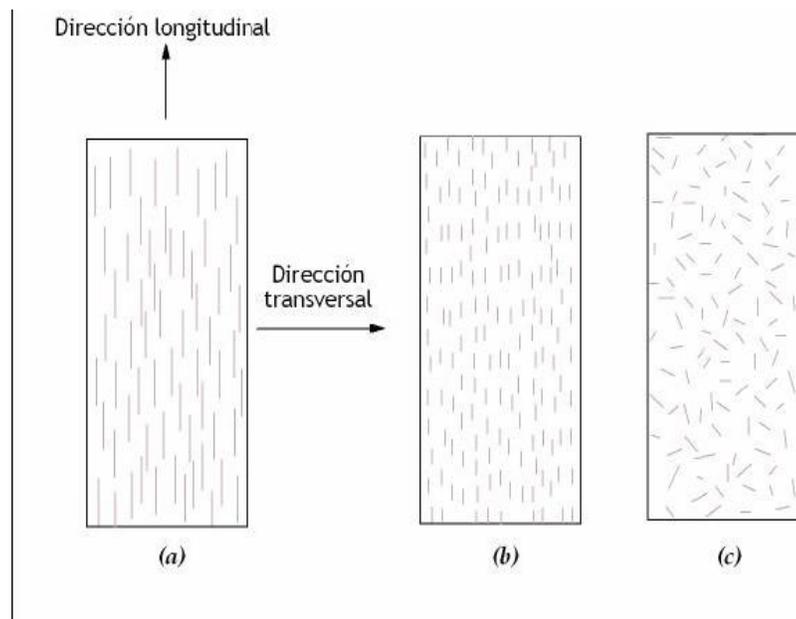
La influencia que ejerce la disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución sobre la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras, es radical y extremadamente grande.

Con respecto a la orientación se presentan dos posibles situaciones:

- Alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras
- Alineación al azar

Se ha podido determinar un patrón el cual indica que las fibras continuas normalmente se alinean, como se muestra en la primera figura de abajo (a), mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear o bien se pueden orientar al azar o alinearse parcialmente, como se muestra en las dos figuras de la derecha (b) y (c).

Figura 4. **Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineada, (c) discontinuas y orientadas al azar**



Fuente: <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/rev7.pdf>

3.3. Componentes del material compuesto fibroreforzado

3.3.1. La matriz

La fase matriz de un material compuesto reforzado con fibras ejerce varias funciones:

- Une las fibras y actúa como un medio que distribuye y transmite a estas los esfuerzos externos aplicados, es importante mencionar que solo una pequeña fracción del esfuerzo aplicado es resistido por la matriz. Además la matriz debe ser dúctil pero por otra parte, el módulo de elasticidad de la fibra debe ser mucho mayor que el de esta.
- La matriz protege las fibras del deterioro superficial que puede resultar de la abrasión mecánica o de reacciones químicas con el medio ambiente.
- Separa las fibras y en virtud de su relativa blandura y plasticidad, impide la propagación de grietas de una fibra a otra, que originarían fallas. En otras palabras, la matriz actúa como una barrera que evita la propagación de grietas. Aunque algunas fibras individuales se rompan, la rotura total del material compuesto no ocurrirá hasta que se hayan roto gran número de fibras adyacentes.

3.3.2. Las fibras

La longitud, el diámetro, o la esbeltez, que es la relación existente entre la longitud y el diámetro, son los parámetros que describen a una fibra. Según su origen las fibras pueden clasificarse en sintéticas y naturales.

Entre las sintéticas podemos mencionar los polímeros naturales tales como fibras de celulosa, de proteínas y misceláneas, y los polímeros sintéticos.

Las fibras naturales pueden sub clasificarse en tres grupos, las de origen vegetal tales como; fibras de madera, hojas semillas, hierba. Las de origen animal en donde podemos encontrar lana, pelo, seda y otros filamentos. Y las de origen mineral tal como las fibras de asbesto.

Las fibras de cualquiera que sea su origen poseen diversas formas como redondeadas, rectangulares, dentadas, rizadas, con extremos en gancho, en malla o agrupadas por encolamiento. Las fibras naturales mantienen sus resistencias sólo durante un período relativamente corto, a menudo mucho menos de un año, debido a su tendencia a degradarse en la matriz alcalina, especialmente en ambientes, cálidos y húmedos.

La capacidad de refuerzo de una fibra depende del grado en que los esfuerzos pueden serle transferidos desde la matriz, grado que a su vez está regido por las características intrínsecas de la fibra, como por ejemplo resistencia a la tensión más resistente que esta; capacidad de resistir deformaciones muy superiores a las deformaciones con las que la entidad principal se agrietaría; módulo de elasticidad alto para aumentar el esfuerzo que soporten en un elemento bajo carga.

4. CONCRETO

4.1. Generalidades

El concreto es el material que resulta de la unión de áridos o también llamados agregados con la pasta, esta pasta se obtiene al añadir agua a un conglomerante.

El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando hablamos de concreto, se refiere a un cemento artificial. De este tipo de cementos existe una gran gama, el más importante y común es el cemento portland. La pasta que está conformada por el cemento y el agua es la que brinda al concreto la capacidad de fraguar y endurecer, tanto al aire como bajo el agua. Debe observarse que los áridos o agregados que son materiales inertes no tienen ninguna participación en el fraguado y endurecimiento, sin embargo es necesario que estos queden totalmente embebidos en la pasta, para que el concreto sea de calidad.

El concreto es entonces un producto maleable con muy buenas propiedades adherentes, que luego de mezclar cada uno de sus componentes, en el transcurso de unas pocas horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo del mismo, obteniéndose de esta manera un material de consistencia pétreo.

Algunas de las principales características físicas del concreto, en valores aproximados, se listan a continuación:

- Densidad: alrededor de $2\ 350\ \text{kg/m}^3$

- Resistencia a compresión:
 - Para concreto ordinario, entre 150 y $500\ \text{kg/cm}^2$, esto es de 15 a 50 MPa.
 - Para concreto de alta resistencia, alcanza hasta los $2\ 000\ \text{kg/cm}^2$, esto es 200 MPa.

- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, alrededor de $1/10$ de la resistencia a compresión.

- Tiempo de fraguado: 2 horas aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente.

- Tiempo de endurecimiento:
 - De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima
 - En 1 semana, es decir 7 días, adquiere $\frac{3}{4}$ partes de la resistencia
 - En 4 semanas, es decir 28 días, prácticamente adquiere la resistencia total.

4.1.1. Resistencia

El concreto posee varias propiedades físicas, entre todas ellas la principal o la que mejor desarrolla es la resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia a carga axial que puede alcanzar un espécimen de concreto o de mortero, a una edad de 28 días. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) y se le designa con el símbolo f_c . El concreto generalmente utilizado tiene una resistencia a la compresión de entre 210 y 350 kg/cm^2 , un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm^2 , se han podido alcanzar resistencias de hasta 1 400 kg/cm^2 en algunos casos.

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1,99 a 2,65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1,33 a 1,99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

La resistencia a la torsión para el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto. La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión.

El módulo de elasticidad, denotando por medio del símbolo E, se puede definir como la relación del esfuerzo normal a la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140 600 y 422 000 kg/cm², y se puede aproximar como 15 100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – Cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero.

4.1.2. Durabilidad

La durabilidad del concreto se define como, la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

Hay que considerar no solo los efectos provocados por las cargas y sollicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone el concreto. Por ello se debe considerar el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura, ya que puede afectarla por ejemplo la corrosión, en ambientes químicos agresivos, en zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo o en los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar.

Para garantizar la durabilidad del concreto, frente a la corrosión es importante realizar un concreto con una permeabilidad reducida, realizando una mezcla con una relación agua/cemento baja, una compactación idónea, un peso en cemento adecuado y la hidratación suficiente de éste, añadiendo agua de curado para completarlo. De esta forma se consigue que existan la menor cantidad de poros posibles y una red capilar interna poco comunicada, para así reducir los ataques al concreto.

4.1.3. Consistencia

La consistencia en el concreto, es la mayor o menor facilidad que tiene el mismo en estado fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. En la consistencia del concreto influyen distintos factores, especialmente la cantidad de agua de mezclado, pero también el tamaño máximo del árido o agregados, la forma de estos y su granulometría.

La consistencia del concreto se fija mucho antes de la mezcla de sus componentes, analizando cual es la consistencia más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación y otros factores se elabora el diseño de la mezcla, controlando básicamente la relación agua-cemento. Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en rellenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se produce cuando se desmolda es la medida que define la consistencia.

Figura 5. **Medición del asentamiento**



Fuente: <http://www.ficunfv.com/laboratorios/51-concreto/66-concreto>

Los concretos se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica en la tabla siguiente.

Tabla I. **Clasificación del concreto según su consistencia**

Consistencia del concreto fresco		
Consistencia	Asentamiento cono de Abrams (cm)	Compactación
Seca	00 – 02	Vibrado
Plástica	03 – 05	Vibrado
Blanda	06 – 09	Picado con barra
Fluida	10 – 15	Picado con barra
Líquida	16 – 20	Picado con barra

Fuente: elaboración propia.

La tabla I, muestra la consistencia que se obtendrá en el concreto en base a la medida en centímetros del asentamiento que registrará el concreto en estado fresco después de retirar el cono de Abrams, se muestra también una sugerencia de la forma en que se debe compactar el concreto al momento de su colocación.

4.1.4. Colocación y compactación

El vertido del concreto fresco en el interior del encofrado o molde debe efectuarse evitando que se produzca la segregación de la mezcla, es decir evitando que sus componentes se separen. Para ello debe evitarse verterlos desde grandes alturas, la altura máxima a la que debe ser vertido es de dos metros de caída libre y no se debe desplazar horizontalmente la masa.

Para conseguir un concreto compacto, eliminando sus huecos y para que se obtenga un completo cerrado de la masa, hay varios sistemas de consolidación. El picado con barra, que se realiza introduciéndola sucesivamente, este solo debe utilizarse en concretos de consistencias blandas y fluidas. La compactación por golpeo repetido de un pisón se emplea en capas de 15 o 20 cm de espesor y mucha superficie horizontal. La compactación por vibrado es la habitual en concretos donde se espera una alta resistencia y es apropiada en consistencias secas.

Mediante el vibrado se reduce el aire contenido en el concreto sin compactar que se estima del orden del 15% al 20% hasta un 2% a 3% después del vibrado.

El vibrador más utilizado es el de aguja, este es un cilindro metálico de 35 a 125 mm de diámetro cuya frecuencia varía entre 3 000 y 12 000 ciclos por minuto. La aguja se dispone verticalmente en la masa de concreto fresco, introduciéndose en cada bachada hasta que la punta penetre en la capa anterior y cuidando de no tocar las armaduras pues la vibración podría separar la masa de hormigón de la armadura.

4.1.5. Fraguado

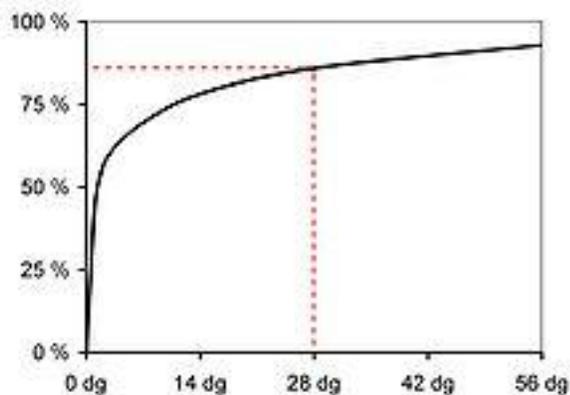
Para poder iniciar el proceso de fraguado y endurecimiento es necesario que el cemento entre en contacto con el agua. El proceso de fraguado es el resultado de reacciones químicas entre los componentes del cemento, a esta fase inicial de hidratación es a la que llamamos fraguado y se caracteriza porque la pasta, pasa del estado fluido al estado sólido. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracterizan por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo existe un único proceso de hidratación continuo.

El fenómeno físico de endurecimiento no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos microcristalinos asimilables a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

En condiciones normales el concreto común, comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas las 10 o 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza.

Figura 6. **Fraguado y endurecimiento**



Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia>

La figura 6, muestra la resistencia en porcentajes que adquiere el concreto, conforme pasa el tiempo. Se puede observar que la mayor cantidad de resistencia se obtiene a los 28 días, y podría decirse que desde la colocación hasta los 28 días es el tiempo crítico en el que deben cuidarse los aspectos externos a este, para garantizar el éxito de la obra.

El comportamiento observado en la figura se debe a que en el cemento portland, el más frecuentemente empleado en la fabricación de concreto, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta desde los 7 días, hasta los 28 días. Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

Es necesario mencionar que en la actualidad es posible regular la velocidad con que el concreto pierde su fluidez y se endurece, gracias a la gran gama de productos que se encuentran actualmente en el mercado. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y colocación, una reacción lenta aplaza de forma conveniente el desarrollo de la resistencia mecánica. Lograr esto es posible controlando la cantidad de yeso que se añade al *clinker* de cemento.

En las plantas de concreto, donde se mezcla la pasta de cemento y agua con los áridos, también se pueden añadir productos que regulan el tiempo de fraguado.

4.1.6. Curado

El curado es uno de los procesos más importantes para el concreto, por la influencia decisiva que tiene en la resistencia final. Durante el fraguado y endurecimiento primario se producen pérdidas de agua por evaporación, formándose diminutos huecos capilares en el concreto que disminuyen su resistencia, debido a que el espacio que antes ocupaba el agua ahora se encuentra vacío. En particular el calor, la sequedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua incluso una vez compactado.

Por este motivo es preciso y de suma importancia compensar estas pérdidas curando el concreto añadiendo abundante agua que permita que se desarrollen nuevos procesos de hidratación, derivando en un aumento de la resistencia.

Existen varios procedimientos habituales para curar el concreto. Dentro de los cuales podemos destacar:

- Inundación de la superficie, manteniendo un volumen de agua sobre ella
- Colocación de plástico
- Riego de agua en la superficie
- Inmersión en agua, empleada en prefabricación
- Productos de curado aplicados por pulverización:
 - Pulverizados a base de resina; estos forman una película que impide la evaporación del agua, este es uno de los sistemas más eficaces pero también uno de los más costosos.

4.2. Materiales constituyentes

4.2.1. Cemento

De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento portland y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son minerales muy abundantes en la naturaleza, por ser su precio relativamente bajo en comparación con otros materiales y tener unas propiedades muy adecuadas para las metas que deben alcanzar.

El cemento no es más que un material que une los fragmentos detríticos, es decir arenas o gravas, de ciertas rocas clásticas que pueden ser areniscas o conglomerados. En general el cemento es un polvo seco hecho de sílice, alúmina, cal, óxido de hierro y óxido de magnesio, que se endurece cuando se mezcla con agua, siendo las sustancias cementantes más frecuentes la sílice, los carbonatos y los óxidos de hierro.

Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta endurecida de aspecto similar a una roca.

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio. Para poder obtener cemento, se usa una variedad de elementos como materia prima, los cuales se pueden clasificar según su contenido de carbonatos de calcio de la siguiente manera:

- Calizas: portadoras en abundancia de carbonato de calcio 75% - 100%

- Margas: su contenido de carbonato de calcio es de 40% - 75% y van acompañadas de sílice y productos arcillosos.
- Arcillas: principalmente contienen sílice combinada con alúmina y otros componentes como óxidos de hierro, sodio y potasio.

Figura 7. **Materia prima para la fabricación de cemento**



Fuente: <http://www.ieslosremedios.org/>

Puede decirse con acierto que el primer padre del cemento fue Vicat a él se debe el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad y que propuso en 1817. En sus trabajos marca la pauta a seguir, en la fabricación del cemento por medio de la mezcla de calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente.

En 1824, Joseph Aspdin, un constructor de Leeds en Inglaterra, dio el nombre de cemento portland y patentó un material pulverulento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland.

Probablemente, el material patentado por Aspdin era una caliza hidráulica debido, entre otras cosas, a las bajas temperaturas empleadas en la cocción. Puede decirse que el prototipo del cemento moderno fue producido a escala industrial por Isaac Johnson quien en 1845 logra conseguir temperaturas suficientemente altas para convertir en *clinker* a la mezcla de arcilla y caliza empleada como materia prima.

En el cemento las dos principales reacciones de hidratación, que originan el proceso de fraguado y endurecimiento son:



El silicato tricálcico es el compuesto activo por excelencia del cemento pues desarrolla una resistencia inicial elevada y un calor de hidratación también elevado. Fragua lentamente y tiene un endurecimiento bastante rápido. En los cementos de endurecimiento rápido y en los de alta resistencia aparece en una proporción superior a la habitual.

El silicato bicálcico es el que desarrolla en el cemento la resistencia a largo plazo, es lento en su fraguado y en su endurecimiento. Su estabilidad química es mayor que la del silicato tricálcico, por ello los cementos resistentes a los sulfatos llevan un alto contenido de silicato bicálcico.

El aluminato tricálcico es el compuesto que gobierna el fraguado y las resistencias a corto. Su estabilidad química es buena frente al agua de mar pero muy débil a los sulfatos. Al objeto de frenar la rápida reacción del aluminato tricálcico con el agua y regular el tiempo de fraguado del cemento se añade al *clinker* piedra de yeso.

El aluminatoferrito tetracálcico no participa en las resistencias mecánicas, su presencia es necesaria por el aporte de fundentes de hierro en la fabricación del *clinker*.

Actualmente, el cemento portland ha llegado a una gran perfección y es el material industrializado de construcción de mayor consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del concreto.

4.2.1.1. Proceso de fabricación

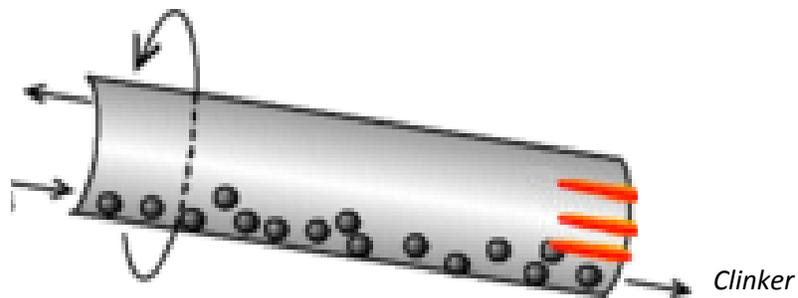
El primer paso para la fabricación del cemento portland, es buscar depósitos de roca caliza y margas, debe asegurarse que tengan las características necesarias para obtener un cemento de calidad.

La materia prima obtenida directamente de las canteras debe ser llevada a la planta para machacarla y molerla mediante una machacadora y molino de crudo, su función es transformar el material en polvo fino (harina).

La siguiente etapa es la cocción de la materia prima. En el método de vía seca, la harina almacenada en los silos de homogenización se lleva a una torre de precalentamiento, que tiene una temperatura de 1 000°C aproximadamente. En el método de vía húmeda no se precalienta la pasta, sino que ésta es transportada por bombas centrífugas a los hornos.

En ambos casos se lleva el material a un horno, el cual es un largo cilindro de acero revestido interiormente con ladrillos refractarios, y que gira alrededor de su eje longitudinal, con una pequeña pendiente descendente. La velocidad de rotación varía de 0 a 150 revoluciones por hora, y a través de ese movimiento el material sigue sus reacciones químicas para formar los compuestos del *clinker*. El cemento portland se obtiene al calcinar los materiales a unos 1 500°C.

Figura 8. **Esquema de un horno rotativo donde se mezcla y calcina la caliza y la arcilla para formar el *clinker* de cemento**



Fuente: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/289623>

En el horno se distinguen etapas de secado, calcinación, clinkerización y enfriamiento. El secado se da en el material proveniente del método de vía húmeda. La calcinación, en esta etapa los carbonatos de calcio y de magnesio se disocian en óxido de calcio y magnesio respectivamente. En la etapa de clinkerización es donde se producen las reacciones químicas más complejas del proceso, transformándose la materia prima en un nuevo material llamado *clinker*, que tiene la forma de pelotillas verde-grisáceas de unos 12 mm de diámetro.

Figura 9. ***Clinker* de cemento antes de su molienda**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormigón>

El *clinker* debe enfriarse aproximadamente a 35⁰C, luego este debe ser molido, para esto existe el molino de cemento que tiene dos cámaras separadas por un tabique y en cuyo interior hay bolas metálicas de diferentes tamaños, desde 90 mm a 10 mm de diámetro.

Los diferentes componentes del cemento, *clinker*, yeso, cenizas, caliza y sulfato ferroso deben ser introducidos al molino, la primera cámara rompe el *clinker*, la segunda le da finura. Luego de ser molido añadidos los otros componentes y empaquetado, el cemento está listo para ser puesto a disposición del consumidor.

Un *clinker* de cemento portland de tipo medio contiene:

- Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)40% a 50%
- Silicato bicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)20% a 30%
- Aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)10% a 15%
- Aluminatoferrito tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)5% a 10%

4.2.2. Áridos

Los áridos son una materia prima imprescindible en la construcción de edificios e infraestructuras de un país. Son la segunda materia prima más consumida, después del agua. Los áridos deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al concreto. No se deben emplear calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables o porosas. Para la durabilidad en medios agresivos serán mejores los áridos silíceos, los procedentes de la trituración de rocas volcánicas o los de calizas sanas y densas.

Con áridos naturales rodados, los concretos son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia.

Según su origen el árido puede ser: natural, artificial o reciclado.

- El árido natural es el que procede del laboreo de un yacimiento y que ha sido sometido únicamente a procesos mecánicos. En cuanto a su forma se distinguen en redondeados o rodados y procedentes de machaqueo. Este último presenta formas angulosas debido a la fracturación mecánica necesaria para su obtención. Las rocas de las que se extraen áridos naturales son:
 - Rocas calcáreas sedimentarias tales como: caliza y dolomía
 - Arenas y gravas
 - Rocas ígneas y metamórficas tales como: granito, basalto y cuarcita
- El árido artificial es el que procede de un proceso industrial y ha sido sometido a alguna modificación físico-química o de otro tipo.
- El árido reciclado es el que resulta del reciclaje de residuos de demoliciones o construcciones y de escombros, en Guatemala este árido tiene muy poco uso, debido quizá a la falta de empresas que lo produzcan.

Dentro de las propiedades físicas que poseen los áridos podemos listar las siguientes:

- Densidad: depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades, indican también que el material es poroso, débil y de alta absorción.
- Porosidad: la palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida, en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, permeabilidad y absorción.
- Peso unitario: es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. El procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C-29.
- Porcentaje de vacíos: es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C-29.

$$\% \text{ vacios} = \frac{(SxW - P.U.C.)}{SxW} x 100$$

Dónde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso unitario compactado seco del agregado

- Humedad: es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso natural} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Una de las propiedades más importantes que deben poseer los áridos para que puedan ser utilizables en la construcción, son las propiedades químicas. De no cumplir con estos requerimientos químicos, no podrían ser mezcladas con el cemento. A continuación se listan las dos principales propiedades químicas de los áridos:

- Reacción álcali-carbonatos: se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas. Los procedimientos para la evaluación de esta característica, se encuentran normalizados en ASTM C-586.

- Reacción álcali-sílice: los álcalis en el cemento están constituidos por el óxido de sodio y de potasio quienes en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo. Normalmente para que se produzca esta reacción, es necesario contenidos de álcalis del orden del 0,6%, temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción. Existen pruebas de laboratorio para evaluar estas reacciones que se encuentran definidas en ASTM C-227, ASTM C-289, ASTM C-295 y que permiten obtener información para calificar la reactividad del agregado.

Dentro de las propiedades resistentes que nos interesa que posean los áridos con el fin de garantizar un concreto de óptima calidad podemos mencionar las siguientes:

- Resistencia: la resistencia del concreto no puede ser mayor que la de los agregados; la textura, la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante.
- Tenacidad: esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angulosidad y textura del material.

- Dureza: se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

En conclusión, los áridos de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo, tanto en su estructura, composición, así como estar libres de cualquier otro material que pudiera encontrarse junto con ellos. Los áridos entonces deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

4.2.2.1. Agregado fino o arena

El agregado o árido fino o también llamado arena, se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100. Se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, esta también puede ser manufacturada o una combinación de ambas.

Figura 10. Torre de clasificación de arenas en una cantera



Fuente: <http://www.territorioscuola.com/wikipedia/es.wikipedia.php?title=Áridos>

El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena, según algunos expertos, no es posible hacer un buen concreto sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad.

El árido fino o arena constituye de hecho la mayor parte del porcentaje en peso del concreto. Dicho porcentaje usualmente supera el 60% del peso en el concreto fraguado y endurecido. El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas.

La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables. En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

Para su uso las arenas se pueden clasificar por su tamaño. Para lograr esto se les hace pasar por unos tamices que van reteniendo los granos más gruesos y dejan pasar los más finos, en base a esto las podemos clasificar de la siguiente manera:

- Arena fina: es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1 mm de diámetro y son retenidos por otro de 0,25 mm.
- Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2,5 mm de diámetro y son retenidos por otro de 1 mm.
- Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5 mm de diámetro y son retenidos por otro de 2,5 mm.

Las arenas de granos gruesos dan regularmente, morteros más adherentes y más resistentes que las finas. La arena gruesa tiene el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos. En contra partida, ósea utilizando arena muy fina el mortero será plástico, resultando éste muy poroso y poco adherente.

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en las normas, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales, a continuación se muestra una tabla en la que se pueden encontrar tanto las normas como los límites máximos permisibles de ciertas sustancias perjudiciales presentes en el agregado.

Tabla II. **Límites permisibles de sustancias dañinas contenidas en la arena**

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz no. 200	(ASTM C 117)	3%
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1%
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	1%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2%
Pérdida por meteorización	(ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄)	10%

Fuente: elaboración propia.

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites que se establecen según la norma ASTM C-33 y que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla III. **Límites de granulometría para el agregado fino según norma ASTM C-33**

Tamiz	Porcentaje que Pasa
3/8" (9,50 mm)	100%
No.4 (4,75 mm)	95 - 100 %
No.8 (2,36 mm)	80 - 100 %
No. 16 (1,18 mm)	50 - 85 %
No. 30 (600 μ m)	25 - 60 %
No. 50 (300 μ m)	10 - 30 %
No. 100 (150 μ m)	2 - 10 %

Fuente: elaboración propia.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado módulo de finura, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. El módulo de finura debe ubicarse en el rango de 2,3 a 3,1.

4.2.2.2. Agregado grueso o grava

La grava, árido grueso o también llamado agregado grueso, es un árido formado por pequeños fragmentos de roca. Está formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior.

Se considera como el material retenido a partir del tamiz no. 4, para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la norma ASTM C-33.

Figura 11. **Grava**



Fuente: <http://www.territorioscuola.com/wikipedia/es.wikipedia.php?title=%C3%81ridos>

Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada, esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas. Sin embargo se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva. El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y elongadas.

En varios estudios se ha demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible esto es de 12,7 mm a 9,5 mm.

Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm, y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50% a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días. Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados.

Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las canteras mediante el dinamitado y debido a la reducción de tamaño por medio de la trituración. Estas fisuras lo convertirán en un material indeseable para su utilización en concreto.

Se debe tener presente que hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero este proceso de separación es llamado segregación. Llegado este caso se suele decir que el concreto es áspero, pedregoso y poco dócil.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

Por lo regular el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto
- Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo
- Un tercio del peralte de las losas

Está claro que el tamaño en el agregado grueso es fundamental por la trabajabilidad, adherencia y otros aspectos, pero además el tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7,5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso.

4.2.3. Agua

El agua de mezclado es uno de los componentes más importante ya que interviene en las reacciones de hidratación del cemento.

La cantidad de agua debe ser la necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el concreto disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua en exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo una reducción excesiva de agua originaría una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua que se empleará.

En una pieza de concreto el agua interviene en dos etapas que pueden diferenciarse. Ambas, el agua destinada al amasado, como la destinada al curado deben ser aptas para cumplir su función. Es muy importante que el agua de curado sea apta pues puede afectar negativamente a las reacciones químicas cuando se está endureciendo el concreto. Normalmente el agua indicada para este proceso suele coincidir con la potable y están normalizados una serie de parámetros que debe cumplir. Así en la normativa está limitado el pH, el contenido en sulfatos, el ión cloro y los hidratos de carbono.

Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

El agua que contiene menos de 2 000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2 000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

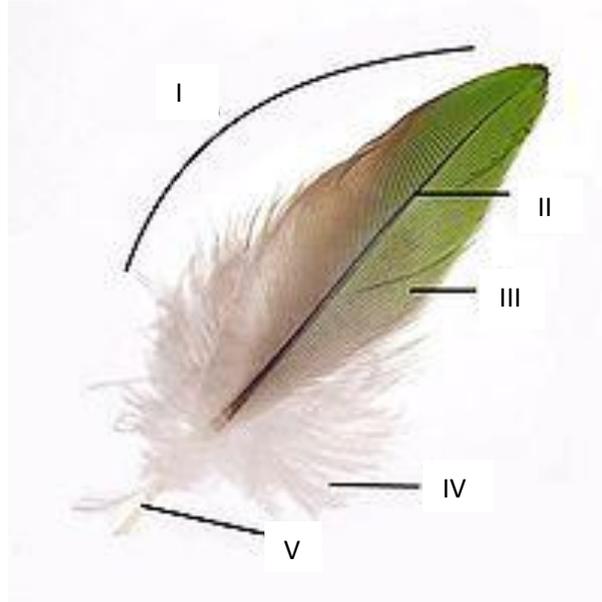
5. PLUMAS

5.1. Generalidades

Las plumas son estructuras queratinosas de la piel de las aves. Su estructura es más compleja que la de cualquier otro apéndice integumentario de los vertebrados, es decir que su estructura es más compleja que la estructura de las escamas, pelo, cuernos, etc. Son fundamentales en el vuelo aviar, pues forman la superficie sustentadora del ala. El conjunto de todas las plumas de un ave recibe el nombre de plumaje, y forma una capa densa, aislante, que protege al animal frente al agua y el frío.

Las plumas están formadas por un cañón o raquis, con el que se insertan al cuerpo, y un estandarte formado por barbas dispuestas a los lados del raquis. De las barbas salen unas barbillas que pueden engancharse entre sí. Las plumas están caracterizadas por ser un material ligero de alta resistencia mecánica y térmica. Las plumas son repelentes es decir no poseen adherencia e impermeables al agua ósea no penetrable, estas dos importantes características las obtienen gracias a su micro estructura.

Figura 12. **Partes de una pluma: I. Vexilo, II. Raquis, III. Barbas, IV. Plumón, V. Eje hueco, cálamo**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Origen_de_las_aves

El primer plumaje que adquieren las aves se llama plumaje natal y está compuesto básicamente por plumón. Algunas de ellas nacen ya con este plumaje, como las gallinas, los patos y las gaviotas, mientras que algunos pollos nacen desnudos y lo adquieren unos pocos días después de eclosionar.

El primer plumaje constituido por elementos de contorno típicos, se llama plumaje juvenil. La diferencia principal con el que van a adquirir como adultos está en que las plumas de vuelo son más cortas, su textura más suave y el patrón de color diferente. El plumaje adulto se adquiere al reemplazarse el plumaje juvenil y está constituido por elementos de contorno.

Las plumas son una estructura muerta, debido a que una vez desarrolladas ya no reciben más aporte del cuerpo del ave que el sustento físico. Para que cada una de estas se mantenga en buenas condiciones, el ave debe periódicamente renovarlas, al proceso consistente en la pérdida secuencial de todas o parte de ellas y su sustitución por plumas nuevas, se le conoce con el nombre de muda. Dependiendo de numerosas variables, las diferentes especies de aves siguen una enorme variedad de estrategias de muda, aunque la renovación total del plumaje suele realizarse una vez al año.

Hay una creencia extendida que sugiere que las plumas se mantienen impermeables gracias a una sustancia grasienta segregada por una glándula cercana a la rabadilla, denominada glándula uropigial. El ave recoge la secreción con el pico y la extiende por todo el cuerpo. Sin embargo, se ha demostrado que el plumón tratado con aceite uropigial resiste una presión de penetración de agua menor que el plumón no tratado. Lo cierto es que la principal función del aceite uropigial es la de mantener el plumaje en buenas condiciones y libre de microbios.

Los plumajes que puedan adquirir las aves básicamente van a ser diferentes en tres aspectos. Estos aspectos que diferenciaran el plumaje del ave son: el tipo de plumas que lo conforman, su textura y su coloración.

La coloración de las plumas varía mucho y depende principalmente de la especie, aunque en algunas especies cada individuo tiene características de coloración únicas y diferentes a otros de la misma especie. Esta coloración en algunas especies resulta muy llamativa, mientras que en otras únicamente imita el hábitat en el que vive el ave. También suele ser distinta en los machos que en las hembras y jóvenes.

Las plumas representan el 5% a 7% del peso total de los pollos maduros y se generan en cantidades enormes como subproducto inútil en el procesamiento de carne de pollo o de otras aves de corral.

Las plumas contienen 90% de proteína cruda en forma de queratina. La queratina es un polímero o plástico natural que se caracteriza por ser un material ligero, de alta resistencia mecánica y térmica, y que desde hace apenas algunas décadas se empieza a investigar para ser aprovechada como materia prima en diferentes productos.

5.1.1. Origen

Las primeras plumas aparecieron en los dinosaurios. Recientes estudios han demostrado que el *Sinosauropteryx*, el *Shuvuuia*, el *Microraptor*, *caudipteryx* y otros muchos dinosaurios teropodos descubiertos en los últimos años tenían plumas.

En principio eran estructuras más simples llamadas protoplumas, parecidas a pelos que se fueron haciendo más complejas. Las plumas tenían inicialmente una función que no tenía nada que ver con el vuelo. Probablemente primero fueron usadas en la termorregulación y posteriormente para el cortejo, tal y como muchas aves lo hacen hoy en día. Después los dinosaurios arborícolas adaptaron su uso para el planeo, y de ahí surgió su función más famosa.

Hasta hace poco, la mejor hipótesis sobre el origen de las plumas y protoplumas era la de ramificación o deshilachamiento de una escama reptiliana típica. Esa explicación ha sido rechazada en favor de otra mucho más acorde con la biología del desarrollo y el registro fósil.

En las aves, las plumas comienzan a desarrollarse como pequeñas espinas que surgen de la epidermis. Ese sería también el primer paso evolutivo. Los autores sitúan el origen de esas espinas en los dinosaurios terópodos primitivos, aunque podrían ser mucho más antiguas, hay un fósil chino que muestra largas fibras huecas sobre la cola, y pertenece al *Psittacosaurus*, un dinosaurio muy alejado de los terópodos.

En la segunda etapa, la parte interior del tubo hueco se diferencia en varias fibras. Cuando la cubierta externa del tubo se rompe y se desprende, lo que queda es un haz de fibras simples, un mechón de pelos insertado en la base o cálamo.

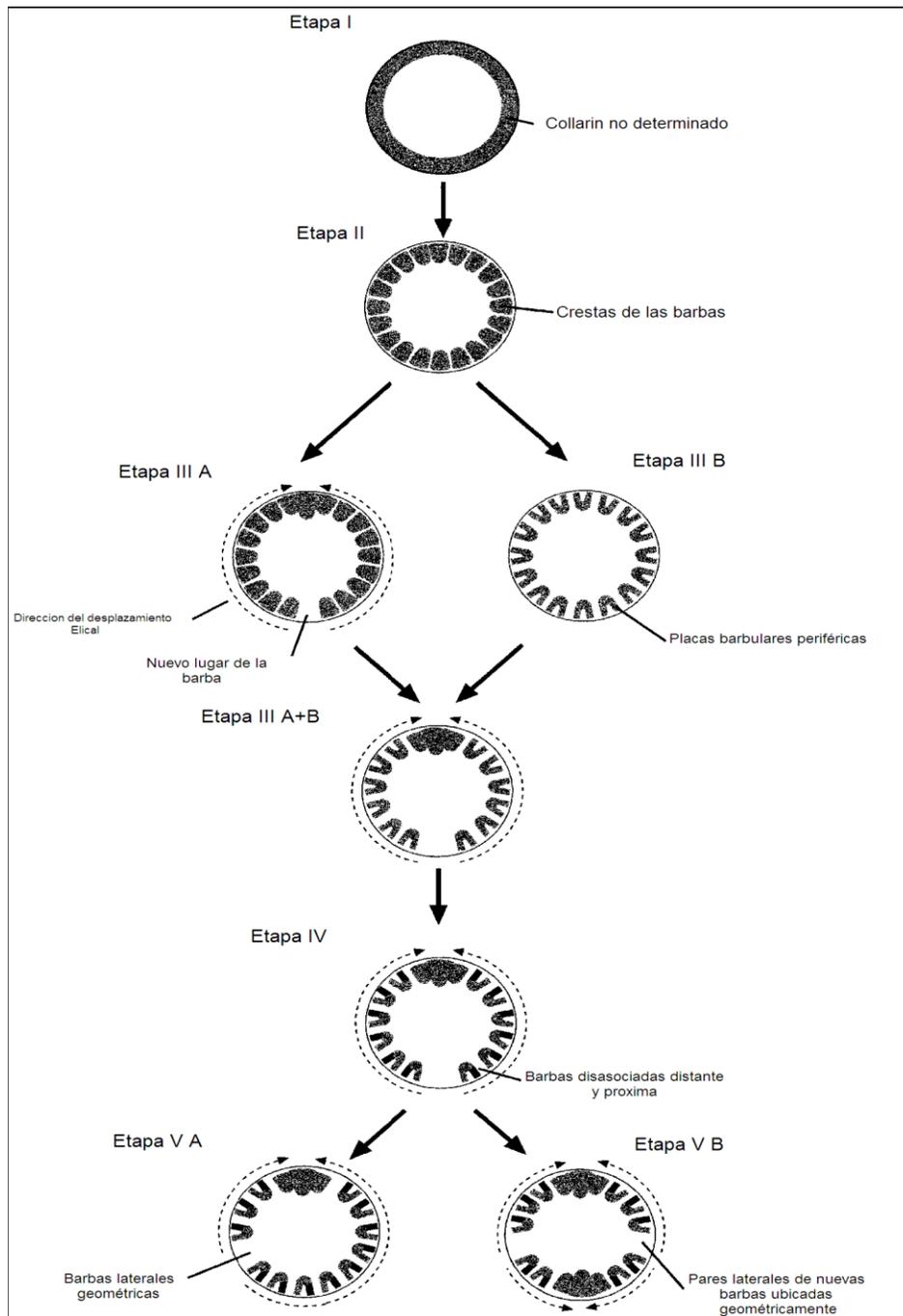
La tercera etapa es algo más complejo, aquí es importante mencionar que quedan dos cosas importantes por evolucionar en una pluma: el raquis que es el eje central, y las bárbulas que no son más que las ramitas que salen de las barbas y se entrecruzan. Aquí surge la pregunta: ¿Qué se forma primero?. En realidad da igual, el orden de las etapas IIIA y IIIB no altera el resultado final que es la pluma pennácea. Esta ya tiene la típica forma plana cuando sale de su espina-cascarón y se despliega.

El raquis, aparece porque las fibras empiezan a formarse helicoidalmente dentro del tubo. Eso crea una zona de fusión longitudinal que se convierte en el tronco de la pluma. Las bárbulas se forman por una pequeña diferenciación de las fibras ya mencionadas, que les hace saltar a un nivel más de complejidad, y, de paso, mejora el aislamiento térmico del animal.

En la cuarta etapa, una nueva diferenciación de las bárbulas da lugar al tercer nivel de ramificación, aquí aparecen los ganchitos de tipo velcro que unen las bárbulas entre sí, impidiendo que la pluma se deshilache. Tenemos ya una pluma, idéntica a las que protegen y adornan el cuerpo de las aves actuales.

Queda un sencillo refinamiento en la etapa cinco, la aparición de más barbas en una zona del tubo da lugar al desarrollo de una pluma asimétrica, como las que tienen en las alas las aves voladoras y también el probable planeador arborícola *Microraptor*. La pluma asimétrica es aerodinámica, el lado estrecho es más duro y está algo curvado; es el lado que corta el aire.

Figura 13. Evolución de las plumas



Fuente: elaboración propia.

El momento exacto de aparición de las proto plumas parece, no obstante, difícil de determinar.

Los primeros fósiles que las presentan aparecen en el Cretácico temprano, representados por formas como *Sinosauropteryx*. Son posteriores a la primera ave conocida, *Archaeopteryx*, que presentaba exclusivamente plumas auténticas. Eso indica que el origen de la estructura es mucho más antiguo. Paralelamente, se ha comunicado el descubrimiento de largas fibras dorsales en al menos un dinosaurio ornitisco (*Psittacosaurus*) e incluso se han observado similitudes con las conocidas estructuras pilosas de los pterosaurios.

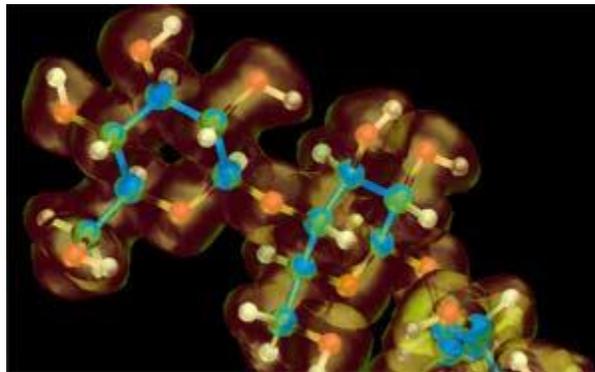
De confirmarse que las fibras halladas en los tres tipos de animales poseen un origen común, la fecha de aparición de las proto plumas sería anterior a la separación evolutiva entre dinosaurios y pterosaurios, que se estima en el Triásico medio, y por tanto sería una estructura presente originalmente en todos los dinosaurios y sus más inmediatos antepasados, los lagosúquidos.

5.1.2. Composición

La queratina del griego *κερατίνη*, córneo, es una proteína con estructura helicoidal, muy rica en azufre, que constituye el componente principal de las capas más externas de la epidermis de los vertebrados y de otros órganos derivados del ectodermo, como el pelo, uñas, plumas, cuernos y pezuñas. La queratina es una proteína con una estructura secundaria, es decir, la estructura primaria de la proteína, se pliega sobre sí misma, adquiriendo tres dimensiones. Esta forma nueva es un espiral, llamándose así proteína α -hélice.

Esta estructura se mantiene con esa forma tan característica gracias a los puentes de hidrógeno y a las fuerzas hidrofóbicas, que mantienen unidos los aminoácidos de dicha proteína. Todo esto unido le da a la proteína esa especial dureza característica.

Figura 14. **Proteína α -hélice**



Fuente: <http://my.opera.com/tutoriabiologiaUBAXXI/blog/blog>

En otras palabras, la cadena polipeptídica de esta proteína se enrolla en una hélice con giro a la derecha que se estabiliza por puentes de hidrógeno entre los aminoácidos. La resistencia adicional proviene del enrollamiento con giro a la izquierda de cuatro de las hélices anteriores para formar una súper hélice denominada protofibrilla.

Los factores estabilizadores de la protofibrilla son los puentes de hidrógeno intermoleculares y los puentes disulfuro intermoleculares formados por la oxidación de residuos de cisteína yuxtapuestos. Once de las protofibrillas se combinan y forman agregados denominados microfibrillas; a su vez, cientos de estos se combinan para formar una matriz proteica llamada macrofibrilla.

Podemos imaginar la queratina como un manojo de hilos que se torsionan formando una cuerda y a su vez esas cuerdas se vuelven a unir torsionandose y formando una gran cuerda o maroma, para poder formarse una idea se puede pensar en las cuerdas que se usan para amarrar los grandes buques a puerto.

Existen dos tipos de queratina diferenciadas por su estructura y componentes:

- La queratina alfa: presenta en sus cadenas de aminoácidos restos de cisteína, los cuales constituyen puentes disulfuros, es decir que posee cisteína y tiene enlaces disulfuro.
- La queratina beta: la queratina beta no presenta cisteína y por lo tanto, tampoco puentes disulfuro. No posee cisteína.

De estos dos tipos de queratina la que más nos interesa es la queratina beta puesto que las plumas están constituidas por esta.

5.1.2.1. Queratina beta

La queratina de tipo beta es inextensible, la beta queratina es la disposición que adquiere la queratina al romperse los puentes de hidrógeno $C=O\cdots HN$ que dan forma de hélice a la alfa queratina. La beta queratina está presente en las aves y los reptiles, este tipo de queratina es mucho más dura que la alfa queratina.

Estructuralmente la beta queratina es muy diferente de la alfa queratina puesto que esta posee una estructura en espiral de la bobina de hélice alfa, mientras que la primera tiene una estructura retorcida en forma de láminas beta, esto permite enlaces de hidrogeno sin bloqueos estéricos entre los grupos amino y caroxyl de los enlaces péptidos en cadenas proteínicas adyacentes, facilitando un alineamiento cercano y un enlace fuerte. Las moléculas de queratina fibrosa pueden retorcerse alrededor unas de las otras para formar filamentos helicoidales intermedios.

Como ya se dijo las plumas están constituidas por beta-queratina, un material hidrofílico ($\alpha=72^\circ$), su arreglo estructural de barbas y bárbulas permite que existan espacios no tan grandes para dejar pasar una gota, ni tan pequeños como para formar una superficie lisa. Por eso al caer una gota de agua sobre la pluma, ésta queda prácticamente levitando, debido a las pequeñas bolsas de aire formadas entre estos espacios porosos. Dado que el ángulo de contacto entre una gota y la pluma va de los 100° a los 140° , las plumas son hidrofóbicas.

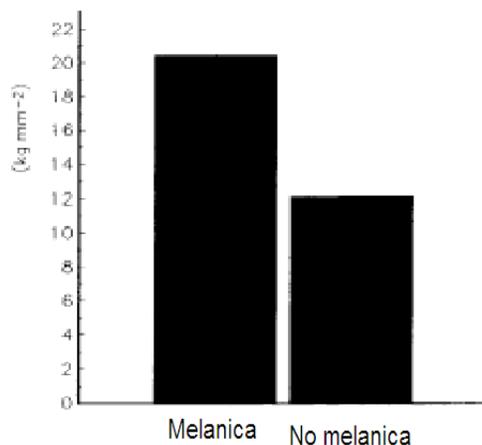
5.1.3. Propiedades

El primer paso al explorar la mecánica de las plumas en las aves fue investigar que tan variables son las propiedades de los tipos de queratinas entre las especies. Cuando se examinaron las propiedades de rigidez (módulo de Young) de un amplio rango de especies de aves, se encontró poca evidencia de diferencias sistemáticas en las propiedades entre especies.

Se concluyó que el desempeño mecánico de las plumas era, por lo tanto, controlado más por la forma que por las propiedades del material. Más recientemente, se han explorado las propiedades de falla de las queratinas y la influencia modulante del ambiente sobre las propiedades.

Actualmente se ha usado el ensayo de microdureza como método para calibrar la competencia de las queratinas para resistir el desgaste abrasivo. Por mucho tiempo ha sido conocido que las plumas que contienen el pigmento de melanina, el cual da origen a la coloración negra y café oscuro, sufre menos desgaste que las aéreas adyacentes de plumas más pálidas. Los ensayos de microdureza confirmaron que esta observación tenía una base en las diferencias de microdureza ya que la queratina melánica es significativamente más dura que la queratina no-melánica.

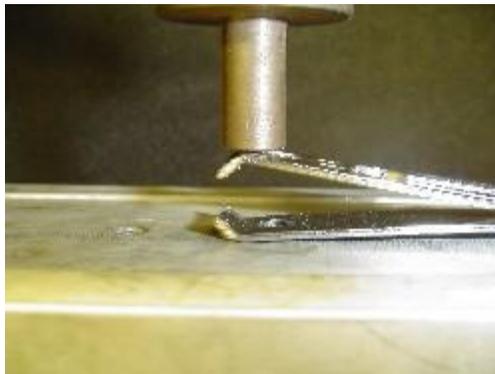
Figura 15. **Gráfica de la dureza de la queratina**



Fuente: elaboración propia.

Recientemente se ha iniciado la exploración de la resistencia de la queratina de las plumas utilizando pinzas y tijeras instrumentadas. La resistencia a la fractura de la β -queratina ha probado ser bastante alta, alrededor de 10 kJ/m².

Figura 16. **Prueba de resistencia a la fractura**



Fuente: <http://www.cecyt15.ipn.mx/polilibros/instrumenta>

Las plumas poseen propiedades muy interesantes, es importante prestar atención en lo difícil que resulta encontrar un material que reúna las propiedades que estas poseen.

Estas son repelentes (no adherencia) e impermeables (no penetración) al agua gracias a su microestructura. Para las aves ambas propiedades son muy importantes ya que: reducen los costos de vuelo, al disminuir la carga extra producto de la absorción de agua por el plumaje; reducen los costos por pérdida de calor en las aves acuáticas pues, a diferencia del aire, el agua tiene una gran conductividad térmica; y reducen los costos asociados a la muda, debido a que la humedad fomenta indirectamente la degradación de la calidad de las plumas.

Además, la repelencia al agua confiere auto limpieza: al caer una gota de agua ésta tenderá a rodar, llevándose con ella las partículas de polvo o suciedad adheridas al plumaje (efecto de la flor de loto).

5.1.4. Tipos de plumas

Dentro del plumaje de un ave, existen diferentes clases de plumas:

- Tectrices: recubren todo el cuerpo y constituyen la superficie de protección del ave frente a los agentes externos, como la lluvia, el sol o la abrasión.
- Plumón: son más pequeñas que las anteriores, tienen las barbas libres y su función es evitar las pérdidas de calor.
- Remeras o rémiges: son las plumas del ala. Las que insertan más hacia el extremo del ala se llaman primarias; a continuación se insertan las secundarias, mientras que las más cercanas a la base son las terciarias. Todas las plumas remeras están cubiertas en su base por unas plumas más cortas, dispuestas en series y denominadas coberteras.
- Timoneras o rectrices: forman la cola, que se insertan en las últimas vértebras caudales. En su base están cubiertas por las coberteras supra caudales e infra caudales.
- Filoplumas: parecen pelos. función táctil, sensorial. Distribuidas en las plumas de contorno. Cuando se forma un penacho sobre la cabeza se lo denomina copete.

5.2. Usos de las plumas en la industria

Uno de los descubrimientos más revolucionarios en el campo de la industria textil fue el empleo de las plumas de gallina. Hasta fines del año 1945, millones de kilogramos de ellas eran arrojados a la basura, o se las empleaba como fertilizante de las tierras pobres; en la actualidad se utilizan para fabricar un tejido suave, más resistente que los de lana.

Las plumas tratadas pueden ser suministradas a las manufactureras de chaquetas, bolsas de dormir, colchas, almohadas, colchones, gracias a sus características de retención de calor y peso ligero. También se utilizan para la elaboración de cuadros con diversos contenidos.

Mediante procesos adecuados, las plumas también han sido utilizadas desde hace mucho tiempo, gracias a su alto contenido de proteína como un suplemento proteico en forma de harina, de agradable sabor y altamente digestible para los rumiantes.

Por otra parte se sabe que investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, estudian las estructuras de las plumas y sintetizan la queratina para elaborar diferentes productos plásticos.

5.3. Estadísticas de generación de este desecho

Lamentablemente en nuestro país no se cuenta con una base de datos que muestre las estadísticas de generación de este desecho, lo que sí se sabe es que no todo el subproducto es desechado una parte aunque muy pequeña es utilizada en la industria textil como aislante.

6. MATERIA PRIMA, OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN

6.1. Cemento

El cemento a utilizar es un Cemento Portland Puzolánico, formulado para uso general en la construcción, con características que cumplen con los requisitos descritos en la normas ASTM C-1157 Type GU-28 (especificación normalizada de desempeño para cemento hidráulico) y COGUANOR NGO 41001 Tipo IP, con una masa de 42,5 kg por saco.

Es utilizado en construcción para la elaboración tanto de elementos estructurales como por ejemplo, cimientos, marcos estructurales, muros, losas, morteros, suelo cemento, etc., así como para elementos arquitectónicos tales como, baldosas, elementos decorativos, entre otros. Su resistencia mínima es de 4 000 libras por pulgada cuadrada (28 N/mm²) a 28 días en morteros normalizados de cemento. Este producto es comercializado en nuestro país por Cementos Progreso.

6.2. Agregado fino

El agregado fino usado es de origen basáltico, obtenido de la trituración de roca que posteriormente puede ser sometida a un tratamiento de lavado para eliminar la mayoría de partículas finas y así ofrecer un adecuado comportamiento.

El agregado utilizado es comercializado por la empresa AGREGUA. Debido a que el estudio de las características y de los requerimientos que establecen las normas internacionales aplicables a arena, escapa a los alcances de este trabajo, se tomaran como ciertas las afirmaciones de la empresa distribuidora de este material, la cual anuncia que dicho producto las cumple a cabalidad.

6.3. Agregado grueso

El piedrín utilizado también es de AGREGUA, de origen basáltico y producto de la trituración de roca de cantera. De acuerdo con la información proporcionada cumple con los requisitos de calidad en cuanto a granulometría, abrasión, porcentaje de partículas planas y alargadas. El tamaño de agregado utilizado fue de ½ pulgada, debido a que este es comúnmente encontrado en las ferreterías y distribuidoras de este material. Este tamaño de partículas es también permisible debido a las dimensiones de las probetas.

6.4. Agua

El agua utilizada fue agua tomada directamente del grifo, que cumple con los requerimientos físico-químicos y bacteriológicos que la clasifican como apta para el consumo humano, tomada en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería. De acuerdo con la información proporcionada, ésta agua no contiene concentraciones inadecuadas de los químicos dañinos al concreto, cumpliendo así las características físico-químicas necesarias para su uso.

6.5. Plumas

Debido a que no fue posible obtener material procesado industrialmente, la obtención consistió en procesar las plumas derivadas del proceso artesanal de matanza de pollos, es decir; que fue obtenido en casas de personas que se dedican a la venta de pequeñas cantidades de carne. El proceso se realizó de forma muy sencilla, recolectando las plumas, luego lavándolas para eliminar la suciedad y la sangre, ya que estos animales no son lavados antes de la matanza.

Las plumas presentan mucha suciedad, debido a que durante el proceso de matanza es imposible evitar que algunas de las plumas sean salpicadas con sangre. Se seleccionaron las plumas más pequeñas, se intentó que tuvieran un tamaño máximo de 6 cm de largo, la última etapa de este proceso consistió en secarlas al sol. Además se calculó el peso unitario aproximado del material cuyo valor es menor de 100 kg/m^3 .

Figura 17. **Obtención de plumas para la realización de mezclas**



Fuente: granja avícola.

7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

7.1. Diseño de las mezclas

Las mezclas fueron diseñadas para alcanzar un asentamiento de 10 cm, de modo que mediante el asentamiento fuera posible elegir su uso. La mezcla patrón, es decir, la mezcla de concreto tradicional, fue diseñada para alcanzar una resistencia a la compresión f'_c de 280 kg/cm² (4 000 psi), por lo tanto la relación agua/cemento usada fue de 0,47, debido a que los agregados se encontraban perfectamente secos, no fue necesario realizar pruebas de porcentaje de humedad contenida. De acuerdo a las consideraciones anteriores se obtuvo una proporción volumétrica aproximada de 1:1,6:2:0,47.

Siguiendo los parámetros del estudio se utilizó la misma base de 1:1,6:2 para las mezclas con adición de plumas, sin embargo para alcanzar el asentamiento deseado fue necesaria la adición de más agua, por lo que las relaciones agua/cemento se modificaron, para la primera proporción de plumas que es de 0,5 % la relación fue de 0,73 y para la segunda proporción de plumas que es de 0,0125% la relación fue de 0,60, esto a su vez modificó los valores de resistencia que alcanzó el concreto.

7.2. Elaboración de las probetas

7.2.1. Probetas para ensayo de compresión

Las características de las probetas a utilizar para los ensayos a compresión se encuentran descritas en la norma ASTM C-39, la norma describe el procedimiento de elaboración de la mezcla, los materiales para los moldes, así como las dimensiones adecuadas de los mismos. Tomando en cuenta las dimensiones de las probetas, los ensayos requerirán 2 probetas para cada edad del concreto, por lo que para cada mezcla se elaboraron 6 cilindros para ser ensayados a edades de siete (7), y veintiocho (28) días, por lo que se elaboraron un total de 12 cilindros.

7.2.2. Probetas para ensayo de tensión indirecta

Las características que poseen las probetas utilizadas para este ensayo se encuentran descritas en la norma ASTM C-496, la norma describe el procedimiento tanto de elaboración de la mezcla así como las dimensiones adecuadas de los moldes. Tomando en cuenta las dimensiones de las probetas, los ensayos requerirán 2 probetas para cada edad del concreto, por lo que para cada mezcla se elaboraron 6 cilindros para ser ensayados a edades de siete (7), y veintiocho (28) días, por lo que se elaboraron un total de 12 cilindros.

7.2.3. Probetas para ensayo de flexión

Las características de las probetas a utilizar para los ensayos a flexión se encuentran descritas en la norma ASTM C-293, la norma describe el procedimiento de elaboración de la mezcla, los materiales para los moldes, así como las dimensiones adecuadas de los mismos. Tomando en cuenta las dimensiones de las probetas, los ensayos requerirán 2 probetas para cada edad del concreto, por lo que para cada mezcla se elaboraron 6 vigas para ser ensayadas a edades de siete (7), y veintiocho (28) días, por lo que se elaboraron un total de 12 vigas rectangulares.

7.2.4. Proporcionamiento y pesado de los materiales

Se elaboraron los tres tipos de mezclas de concreto, una con adición de plumas con una concentración de 0,5% de este material, otra con adición de plumas con una concentración de 0,0125% de este material y la otra sin material fibroso, es decir concreto tradicional, que servirá como parámetro de comparación y control sobre la calidad y características a estudiar del concreto. Para las mezclas que contenían las dos proporciones de plumas (0,5% y 0,0125%) se utilizó la misma base de concreto.

Las proporciones se realizaron en base al peso del cemento, de acuerdo con el volumen necesario para la elaboración de todos los testigos necesarios para la realización de los ensayos, para cada tipo de mezcla. El cálculo de la cantidad de plumas para adicionar a las mezclas se realizó como un porcentaje del volumen de la base de concreto de cada tipo de mezcla.

Como ya se describió con anterioridad, se escogió una concentración de plumas de 0,5% y 0,125% del total del volumen de la base de concreto simple, debido a que estas concentraciones de plumas parecen ser suficiente para poder observar los efectos que causa esta adición. Basándose en las proporciones definidas, se pesó el cemento, los agregados, el agua y las plumas, en una balanza electrónica con capacidad para kilogramos y aproximación a 0,1 kg.

Figura 18. **Pesado de los materiales para la mezcla, en la balanza electrónica**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.2.5. Mezclado de los materiales

El mezclado de los materiales se realizó utilizando una mezcladora, también llamada concretera, el procedimiento realizado se describe a continuación:

Habiendo pesado y calculado los volúmenes de materiales a emplear, se procedió a realizar la mezcla, introduciendo primeramente el cemento, la arena y el piedrín dentro de la mezcladora durante 3 minutos aproximadamente, con el objeto de conseguir una mezcla homogénea.

Luego en el caso de las mezclas con adición plumas, se procedió a agregar dicho material y de la misma forma esperar el tiempo necesario para que la mezcla se homogenizara.

Después de que la mezcla estaba lista se procedió a realizar la prueba de asentamiento, esto posteriormente al llenado de los moldes correspondientes a cada ensayo.

Figura 19. **Mezclado de los materiales en la mezcladora**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.2.6. Moldeado de probetas

Los moldes utilizados para conformar los cilindros de ensayo utilizados en las pruebas de compresión y tensión indirecta, fueron de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura. Los moldes estaban hechos de metal, cortados longitudinalmente para poder abrirlos al momento de desencofrar, con tornillos y mariposas para cerrarlos y abrirlos fácilmente.

En la parte inferior los moldes cuentan con una placa metálica plana la cual sirve como base, en ella existen también tornillos los cuales coinciden con protuberancias en el molde cilíndrico, de modo que se pueda fijar la base a él. Antes de verter el concreto, los moldes fueron aceitados con el objeto de que no existiera adherencia entre ellos y el concreto, logrando así un desencofrado más fácil.

Los moldes empleados para el ensayo de flexión consisten en vigas de sección cuadrada de 6 pulgadas y largo de 21 pulgadas, los moldes son metálicos, cada pared lateral está unida al fondo con bisagras en la parte inferior, cada pared lateral está separada y unidas con mariposas, esto con la finalidad de poder abrir por completo el molde quedando únicamente unidas al fondo y poder sacar el elemento a ensayar sin que sufra ningún daño.

Al igual que en el caso anterior los moldes fueron aceitados, esto con el objeto de lograr un fácil desencofrado.

La mezcla fue vertida en los moldes en tres capas de altura idealmente igual, cada capa fue apisonada con un apisonador metálico de 5/8 de pulgada de diámetro y con extremos esféricos. El apisonamiento consiste para los cilindros en dar 25 golpes a cada capa, distribuyendo los golpes de forma uniforme sobre la sección transversal, de modo que los golpes penetraran cada capa hasta la inferior, y para las vigas en dar 55 golpes en cada capa, distribuyendo los golpes de forma uniforme y en espiral de modo que los golpes penetran cada capa hasta la inferior.

Luego de apisonar la última capa, cada molde se golpeó 20 veces a los costados, utilizando un martillo de hule y distribuyendo los golpes uniformemente, esto con el objetivo de que la mezcla se asentara completamente, la última capa se enrasó utilizando una pieza metálica plana.

Figura 20. **Llenado de las probetas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.2.8. Curado

Como se describió anteriormente el proceso de curado tiene una gran importancia, ya que con este se previenen situaciones potencialmente dañinas para el concreto. En general se puede decir que el curado tiene por objeto evitar un secado prematuro, especialmente bajo la acción del viento y de los rayos del sol.

Para garantizar que se obtengan las propiedades que se esperan del concreto, especialmente en la zona cercana a la superficie, es necesario curar el concreto fresco durante un período adecuado. En general el curado puede evitar que ocurra una interrupción en la reacción química que ocurre entre el agua y el cemento, debido a falta de agua. También se puede evitar una contracción temprana, por cambios de temperatura, produciendo fisuras en el elemento.

Por todos los riesgos que implica el no curar las probetas, luego de ser desencofradas, las probetas fueron sumergidas en un tanque con agua. Se dejaron inmersas hasta las edades a las cuales fueron ensayadas, 7 y 28 días, para garantizar que se mantuvieran las condiciones de curado adecuadas.

Figura 23. **Curado de las probetas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.3. Procedimientos de ensayos

7.3.1. Ensayo de asentamiento (*Slump*)

Este ensayo se realizó basado en la norma ASTM C-143, el ensayo se llevó a cabo después del mezclado de los materiales y antes del moldeo de las probetas.

Aunque la realización de este ensayo parece muy simple y poco significativa, no se debe desestimar pues es de gran importancia. El procedimiento de ensayo se puede resumir de la siguiente manera:

- Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, húmeda y no absorbente. Deberá ser sostenido firmemente en su lugar durante el llenado por un operador, parándose sobre los dos apoyos para los pies. Llenar el molde inmediatamente con el concreto, en tres capas, cada una aproximadamente de un tercio del volumen del molde.

- Apisonar cada capa con 25 golpes, distribuyéndolos uniformemente sobre la sección transversal de la capa. Para la capa inferior será necesario inclinar levemente el apisonador y dar la mitad de los golpes cerca del perímetro. El apisonamiento de la segunda y tercera capa, debe abarcar su propia profundidad, de modo que los golpes penetren únicamente dicha capa.
- Cuando se llene y apisone la capa superior, amontonar el concreto sobre el molde antes de iniciar el apisonamiento. Si el apisonamiento causa que el nivel del concreto baje del borde superior del molde, agregar concreto adicional de modo que se mantenga un exceso de concreto sobre la parte superior del molde durante todo el proceso.
- Luego de apisonar la capa superior rasar el exceso del concreto, rodando el apisonador sobre el borde superior del molde. Continuar sosteniendo el molde firmemente, y remover el concreto que se encuentre en la zona circundante a la base del molde para evitar interferencias con el movimiento para realizar la prueba de asentamiento.
- Remover el molde inmediatamente del concreto, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde una distancia de 12 pulgadas en 5 ± 2 segundos, en un movimiento firme hacia arriba sin movimiento lateral o torsional. Todo el proceso, desde el llenado hasta la remoción del molde, deberá realizarse sin interrupción y en un lapso de tiempo de $2\frac{1}{2}$ minutos.

- Inmediatamente después, medir el asentamiento, mediante la determinación de la diferencia de altura entre la altura del molde y la altura del centro original de la superficie superior del concreto. En caso de que el concreto caiga hacia un lado o parezca haber perdido volumen de un solo lado, no tomar en cuenta el ensayo y hacer otro ensayo con otra porción de la mezcla.

Figura 24. **Ensayo de asentamiento, medición del asentamiento**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.3.2. Ensayo de compresión

Como se indicó anteriormente el ensayo se apegó a la norma ASTM C-39, además las probetas fueron refrentadas sin adherencia, según la norma ASTM C-1 231, práctica estándar para uso de cabezales no adheridos en la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecido.

Habiendo establecido ya, las normas y los procedimientos a los cuales se apegarían los ensayos, se procedió a realizarlos, esto se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para realizar los ensayos de se utilizó la máquina para ensayar testigos de concreto marca RIEHLE la cual tiene una capacidad de carga de hasta 600 000 Lb.

Figura 25. **Máquina marca RIEHLE**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

Previo a realizar los ensayos, las muestras fueron pesadas utilizando una balanza de 1 gramo de aproximación. Además se tomaron mediciones de sus dimensiones utilizando un vernier o pie de rey con 0,1 mm de aproximación.

Figura 26. **Medición de las probetas utilizando el vernier**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

La nomenclatura utilizada para registrar los resultados de manera más ordenada, fue la siguiente:

- C-MP – Mezcla patrón
- C-0,5% – Mezcla con contenido de plumas en proporción de 0,5%
- C-0,0125% – Mezcla con contenido de plumas en proporción de 0,0125%

Además se identificaron 2 probetas de cada tipo de mezcla para cada edad a ensayar, es decir con los números 7 y 28, de acuerdo con la edad de ensayo, las que a su vez se identificaron con los números 1 y 2 para distinguirlas entre sí.

El procedimiento establecido en la norma para la realización de este ensayo es el siguiente:

- El cilindro debe ser elaborado de acuerdo a la norma ASTM C-31 (práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto).
- La máquina a utilizar debe ser capaz de aplicar una fuerza continua de 20 a 50 psi/s, sin provocar choques.
- Hacer las mediciones de las dimensiones del cilindro de acuerdo a la norma.
- Pesar e identificar los especímenes
- Proceder a nivelar los especímenes utilizando azufre sublimado, esto se hace para asegurarse que la carga se distribuya de forma uniforme sobre toda la superficie del espécimen.
- Luego se coloca el espécimen sobre el centro de la base inferior de la máquina, para ser ensayado.
- Se realiza el ensayo, cargando el espécimen hasta la carga de ruptura
- Anotar la carga máxima que soporta el espécimen
- Por último se realizan los cálculos y se elabora el reporte como se describe en la norma.

Figura 27. Nivelación de las probetas con el azufre



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

Figura 28. Realización del ensayo de compresión



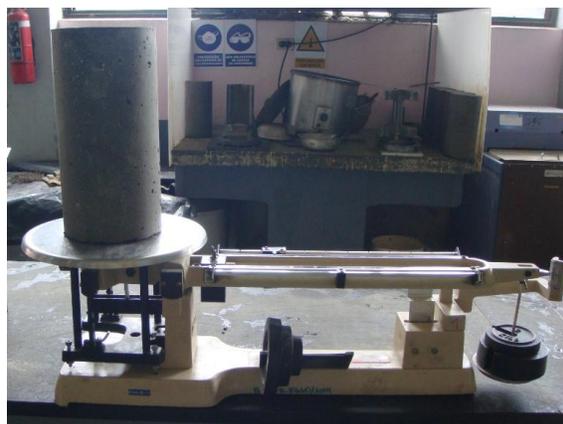
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.3.3. Ensayo de tensión indirecta

La resistencia a tensión fue calculada por medio de la prueba de tensión indirecta o tensión por hendido, el procedimiento para la realización de este ensayo esta normado en la ASTM C-496/C 496M-04 (método de ensayo para resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto). Las pruebas fueron realizadas a especímenes cilíndricos de 6 pulgadas (15,24 cm) de diámetro y 12 pulgadas (30,48 cm) de altura. Este ensayo consiste en cargar a compresión el cilindro a través de dos ejes longitudinales opuestos diametralmente.

Previo a realizar los ensayos, las muestras fueron pesadas utilizando una balanza de 1 gramo de aproximación. Además se tomaron mediciones de sus dimensiones utilizando un vernier o pie de rey con 0,1 mm de aproximación.

Figura 29. **Pesado de las probetas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

La nomenclatura utilizada para registrar los resultados de manera más ordenada, fue la siguiente:

T-MP – Mezcla patrón

T-0,5% – Mezcla con contenido de plumas en proporción de 0,5%

T-0,0125% – Mezcla con contenido de plumas en proporción de 0,0125%

Además se identificaron 2 probetas de cada tipo de mezcla para cada edad a ensayar, es decir con los números 7 y 28, de acuerdo con la edad de ensayo, las que a su vez se identificaron con los números 1 y 2 para distinguirlas entre sí.

El procedimiento para la realización de esta prueba es el siguiente:

- Se debe tener un cilindro de concreto, elaborado de acuerdo a la norma ASTM C-31/C31M-06 (práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto).
- Se debe contar con una máquina capaz de aplicar una fuerza continua y sin choques, de 100 a 200 psi/min.
- Pesar los cilindros en la balanza
- Tomar las medidas de los cilindros, como lo describe la norma y se deben de tener bien identificados.
- Armar el sistema para la aplicación de la carga en la máquina
- Realizar el ensayo, controlando la velocidad de carga de la máquina
- Anotar la carga máxima que soportó el espécimen

- Realizar los cálculos y el reporte, como se describe en la norma

Figura 30. **Realización del ensayo de tensión indirecta**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.3.4. Ensayo de flexión

Este ensayo fue realizado de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C-293 (Método de ensayo para resistencia a la flexión del concreto usando viga simple con carga en el punto medio), la cual tiene por objetivo determinar la resistencia a flexión de una viga simple con apoyos en los extremos y carga aplicada en el punto central. Los ensayos fueron realizados en vigas con dimensiones de 6 pulgadas (15,24 cm) de ancho, 6 pulgadas (15,24 cm) de espesor y 21 pulgadas (53,34 cm) de longitud. Se buscó que los apoyos quedaran aproximadamente a 5 centímetros de los bordes. La carga fue aplicada a $(L / 2)$.

El equipo utilizado para realizar las pruebas fue la máquina universal marca BALDWIN con una capacidad máxima de 60 000 kg, esta cuenta con diferentes escalas de carga dependiendo de los ensayos que se quieran realizar.

Figura 31. **Máquina universal marca BALDWIN**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

La nomenclatura utilizada para registrar los resultados de manera más ordenada, fue la siguiente:

- F-MP – Mezcla patrón
- F-0,5% – Mezcla con contenido de plumas en proporción de 0,5%
- F-0,0125% – Mezcla con contenido de plumas en proporción de 0,0125%

Además se identificaron 2 probetas de cada tipo de mezcla para cada edad a ensayar, es decir con los números 7 y 28, de acuerdo con la edad de ensayo, las que a su vez se identificaron con los números 1 y 2 para distinguirlas entre sí.

Figura 32. **Probetas para el ensayo a flexión**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

El procedimiento para realizar este ensayo se describe a continuación:

- Se debe tener un espécimen de prueba a flexión, elaborado conforme a la norma ASTM C-31/C31M-06 (práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto).
- La máquina debe ser capaz de aplicar una carga continua en la fibra extrema de 125 a 175 psi/min, hasta que ocurra la ruptura.
- Identificar el espécimen
- Tomar las dimensiones de la viga de acuerdo al procedimiento establecido en la norma.
- Medir la distancia entre apoyos
- Marcar la viga a la mitad de su longitud ($L / 2$)

- Armar el sistema para la aplicación de la carga en la máquina
- Anotar la carga máxima que resiste el espécimen
- Por último, se deben realizar los cálculos y el reporte que se describe en esta norma.

Figura 33. Realización del ensayo de flexión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

7.4. Datos obtenidos

7.4.1. Datos del diseño de mezclas

Del diseño de las mezclas se obtuvieron las proporciones presentadas en la tabla IV, también se incluyen las resistencias para las cuales fueron proyectadas:

Tabla IV. **Proporción volumétrica de diseño de las mezclas y resistencias esperadas**

Mezcla	Proporción volumétrica	Resistencia a la compresión esperada	Resistencia a la tensión indirecta esperada	Resistencia a la flexión esperada
Mezcla patrón	1:1,6:2:0,47	280 kg/cm ² 4 000 psi	28 kg/cm ² 400 psi	56 kg/cm ² 800 psi
Mezcla con adición de plumas 0,5%	1:1,6:2:0,73	140 kg/cm ² 2 000 psi	14 kg/cm ² 200 psi	28 kg/cm ² 400 psi
Mezcla con adición de plumas 0,0125%	1:1,6:2:0,60	176 kg/cm ² 2 500 psi	17,6 kg/cm ² 250 psi	35,2 kg/cm ² 500 psi

Fuente: elaboración propia.

7.4.2. Cantidades de materiales utilizados

La tabla V, muestra la dosificación obtenida en volumen y en peso de los materiales que se utilizaron para la mezcla patrón de concreto. La cantidad de concreto necesaria para la conformación de la mezcla patrón que consiste en; 8 cilindros de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura y 4 vigas de sección cuadrada de 6 pulgadas y 21 pulgadas de largo, corresponde a 0,094 m³.

Tabla V. **Cantidad de materiales para la base de cada mezcla, dosificación volumétrica y por peso**

Material	Dosificación por volumen (m³)	Dosificación por peso (kg)
Cemento	0,0187	45,96
Agregado fino	0,0294	72,26
Agregado grueso	0,0371	91,22
Agua	0,0088	21,60

Fuente: elaboración propia.

Además de los materiales anteriores, para las mezclas con adición de plumas se agregó la cantidad del material correspondiente a cada mezcla, equivalente al 0,5% del volumen del concreto para una y 0,0125% del volumen de concreto para la otra. La siguiente tabla muestra la cantidad de plumas adicionada a las bases de concreto para cada mezcla, expresada en volumen, así como su equivalente en peso.

Tabla VI. **Contenido de plumas en las mezclas**

Material	Volumen (m³)	Peso (kg)
Plumas 0,5%	0,00047	1,16
Plumas 0,0125%	0,000012	0,29

Fuente: elaboración propia.

Del análisis de las consideraciones de trabajabilidad y humedad en agregados, las cantidades de agua utilizadas en las mezclas con adición de plumas, fueron:

Tabla VII. **Contenido de agua en las mezclas**

Material	Agua (kg/m³)
Mezcla con adición de plumas 0,5%	235,9
Mezcla con adición de plumas 0,0125%	225,9

Fuente: elaboración propia.

7.4.3. Datos obtenidos de los ensayos

Los datos presentados a continuación se obtuvieron de los ensayos realizados mediante los procedimientos ya definidos, de acuerdo con las normas citadas.

7.4.3.1. Ensayo de asentamiento

Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Resultados del ensayo de asentamiento**

Mezcla	Valor del asentamiento (cm)
Mezcla patrón	10
Mezcla con adición de plumas 0,5 %	12
Mezcla con adición de plumas 0,0125 %	12,5

Fuente: elaboración propia.

7.4.3.2. Ensayo de resistencia a compresión

A continuación se presentan los datos obtenidos del ensayo de compresión para las probetas de las diferentes mezclas, tomados de acuerdo con los procedimientos definidos, según la edad a la que se practicó el ensayo.

Tabla IX. **Datos obtenidos del ensayo a compresión en las probetas de 7 días de edad**

Probeta	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Carga máxima (lb)
----------------	------------------	----------------------	--------------------------

Mezcla patrón a 7 días			
C-MP-1-7	13,078	15,173	77 923,00
C-MP-2-7	12,920	15,143	75 966,00
Promedio	13,000	15,158	76 944,50

Mezcla con adición de plumas 0,5% a 7 días			
C-0,5%-1-7	11,590	15,107	26 682,00
C-0,5%-2-7	11,536	15,177	27 667,00
Promedio	11,560	15,142	27 174,50

Mezcla con adición de plumas 0,0125% a 7 días			
C-0,0125% 1-7	12,523	15,113	57 369,00
C-0,0125% 2-7	12,427	15,123	55 895,00
Promedio	12,290	15,182	56 632,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos obtenidos del ensayo a compresión en las probetas de 28 días de edad**

Probeta	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Carga máxima (lb)
----------------	------------------	----------------------	--------------------------

Mezcla patrón a 28 días			
C-MP-1-28	12,970	15,167	109 112,00
C-MP-2-28	12,955	15,050	93 546,00
Promedio	12,962	15,108	101 329,00

Mezcla con adición de plumas 0,5% a 28 días			
C-0,5%-1-28	11,300	15,167	36 737,00
C-0,5%-2-28	11,550	15,100	38 210,00
Promedio	11,425	15,133	37 473,50

Mezcla con adición de plumas 0,0125% a 28 días			
C-0,0125% 1-28	12,475	15,193	75 477,00
C-0,0125% 2-28	12,585	15,170	75 966,00
Promedio	12,530	15,181	75 721,50

Fuente: elaboración propia.

7.4.3.3. Ensayo de resistencia a tensión indirecta

A continuación se presentan los datos obtenidos del ensayo de tensión indirecta para las probetas de las diferentes mezclas, tomados de acuerdo con los procedimientos definidos, según la edad a la que se practicó el ensayo.

Tabla XI. **Datos obtenidos del ensayo a tensión indirecta en las probetas de 7 días de edad**

Probeta	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)
----------------	----------------------	----------------------	--------------------------

Mezcla patrón a 7 días			
T-MP-1-7	15,22	30,40	14 062,00
T-MP-2-7	15,20	30,35	13 608,00
Promedio	15,21	30,375	13 835,00

Mezcla con adición de plumas 0,5% a 7 días			
T-0,5%-1-7	15,22	30,05	4 536,00
T-0,5%-2-7	15,20	30,20	5 216,00
Promedio	15,21	30,125	4 876,00

Mezcla con adición de plumas 0,0125% a 7 días			
T-0,0125% 1-7	15,32	30,50	10 433,00
T-0,0125% 2-7	15,24	30,50	9 979,00
Promedio	15,28	30,50	10 206,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Datos obtenidos del ensayo a tensión indirecta en las probetas de 28 días de edad**

Probeta	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga máxima (kg)
----------------	----------------------	----------------------	--------------------------

Mezcla patrón a 28 días			
T-MP-1-28	15,20	30,30	19 958,00
T-MP-2-28	15,12	30,35	18 144,00
Promedio	15,16	30,325	19 051,00

Mezcla con adición de plumas 0,5% a 28 días			
T-0,5%-1-28	15,08	30,10	9 072,00
T-0,5%-2-28	15,13	30,20	6 804,00
Promedio	15,105	30,15	7 938,00

Mezcla con adición de plumas 0,0125% a 28 días			
T-0,0125% 1-28	15,21	30,50	14 969,00
T-0,0125% 2-28	15,04	30,30	15 876,00
Promedio	15,125	30,40	15 422,50

Fuente: elaboración propia.

7.4.3.4. Ensayo de resistencia a flexión

A continuación se presentan los datos obtenidos del ensayo de flexión para las probetas de las diferentes mezclas, tomados de acuerdo con los procedimientos definidos, según la edad a la que se practicó el ensayo.

Tabla XIII. **Datos obtenidos del ensayo a flexión en las probetas de 7 días de edad**

Probeta	Alto (cm)	Ancho (cm)	Dist. entre apoyos(cm)	Carga máxima (kg)
---------	-----------	------------	------------------------	-------------------

Mezcla patrón a 7 días				
F-MP-1-7	16,10	15,25	44,00	2 100,00
F-MP-2-7	15,50	15,35	44,30	1 820,00
Promedio	15,80	15,30	44,15	1 960,00

Mezcla con adición de plumas 0,5% a 7 días				
F-0,5%-1-7	15,30	15,25	53,75	1 200,00
F-0,5%-2-7	15,85	15,40	44,25	1 240,00
Promedio	15,575	15,325	49,00	1 220,00

Mezcla con adición de plumas 0,0125% a 7 días				
F-0,0125% 1-7	15,1	15,9	43,5	1 760,00
F-0,0125% 2-7	15,3	15,65	43,5	1 680,00
Promedio	15,2	15,775	43,5	1 720,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Datos obtenidos del ensayo a flexión en las probetas de 28 días de edad**

Probeta	Alto (cm)	Ancho (cm)	Dist. entre apoyos(cm)	Carga máxima (kg)
----------------	------------------	-------------------	-------------------------------	--------------------------

Mezcla patrón a 28 días				
F-MP-1-28	15,70	15,35	43,20	3 000,00
F-MP-2-28	15,35	15,30	42,90	2 980,00
Promedio	15,525	15,325	43,05	2 990,00

Mezcla con adición de plumas 0,5% a 28 días				
F-0,5%-1-28	15,40	15,30	44,10	1 460,00
F-0,5%-2-28	15,30	15,40	43,10	1 480,00
Promedio	15,35	15,35	43,60	1 470,00

Mezcla con adición de plumas 0,0125% a 28 días				
F-0,0125% 1-28	15,50	15,25	44,50	2 420,00
F-0,0125% 2-28	15,90	15,30	42,50	2 480,00
Promedio	15,70	15,275	43,50	2 450,00

Fuente: elaboración propia.

8. CÁLCULOS, RESULTADOS Y GRÁFICAS

8.1. Cálculos realizados

8.1.1. Cálculo de la resistencia a la compresión

Según la norma se calcula la resistencia a la compresión mediante la división de la máxima carga soportada por la probeta dentro del área promedio de la sección transversal de dicha probeta. Se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$f'c = \frac{C_{\text{máx}}}{At_{\text{prom}}}$$

Dónde:

$C_{\text{máx}}$ = Carga máxima obtenida de la lectura de la máquina de ensayo

At_{prom} = Área transversal promedio, calculada mediante:

$$At_{\text{prom}} = \frac{\pi*(D)^2}{4}$$

D = Diámetro promedio de la probeta

Para contar con datos más confiables se calculó además el promedio de los resultados obtenidos para cada par de probetas de cada tipo, ensayadas a la misma edad.

$$f'c_{\text{prom}} = \frac{f'c_1 + f'c_2}{2}$$

8.1.2. Cálculo de la resistencia a la tensión indirecta

La resistencia a tensión Indirecta o tensión por hendido es calculada por medio de la fórmula:

$$T = \frac{2 P}{\pi L d}$$

Dónde:

T = Esfuerzo de tensión por hendido, en kg/cm²

P = Carga máxima aplicada, en kg

L = Longitud del espécimen, en cm

d = Diámetro del espécimen, en cm

La norma establece que los resultados de la resistencia a tensión indirecta no pueden diferir en +/- 14% del promedio.

Para contar con datos más confiables se calculó además el promedio de los resultados obtenidos para cada par de probetas de cada tipo, ensayadas a la misma edad.

$$T_{\text{prom}} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

8.1.3. Cálculo de la resistencia a la flexión

La resistencia a flexión o módulo de ruptura se calcula por medio de la siguiente formula:

$$F = \frac{3 P L}{2 b d^2}$$

Dónde:

F = Resistencia a flexión, en kg/cm²

P = Carga máxima aplicada, en kg

L = Distancia entre apoyos, en cm

b = Ancho de la probeta, en cm

d = Espesor de la probeta, en cm

La norma establece que los resultados de la resistencia a flexión no pueden diferir en +/- 12% del promedio.

Para contar con datos más confiables se calculó además el promedio de los resultados obtenidos para cada par de probetas de cada tipo, ensayadas a la misma edad.

$$F_{\text{prom}} = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

8.1.4. Cálculo del peso específico grueso de las mezclas de concreto

El cálculo de este indica de qué manera afecta la adición de plumas, a una característica física fundamental como lo es el peso. El peso específico se define como la cantidad de peso contenida en una unidad de volumen. Por lo tanto se calculó mediante la expresión:

$$\gamma = \frac{P}{\text{Vol}}$$

Dónde:

γ = Peso específico

P = Peso de la probeta

Vol = Volumen de la probeta

8.1.5. Cálculo de relaciones entre datos teóricos y datos reales

Además de los cálculos anteriores también se calcularon ciertas relaciones con el objeto de comprender de mejor manera el comportamiento de los materiales estudiados. En primer lugar se calculó el porcentaje de resistencia a compresión, tensión indirecta y a flexión, alcanzado por la muestra patrón a 28 días de edad, mediante la razón de la resistencia real por la resistencia teórica de la mezcla patrón.

$$\%Alc = \frac{R_{real}}{R_{teórica}}$$

Dónde:

R = Resistencia para cada ensayo (compresión, tensión indirecta y flexión)

La relación anterior se estableció como un factor de tolerancia, a utilizar para re-calcular la resistencia teórica de las mezclas con adición de plumas de la siguiente manera:

- Para la mezcla con plumas, 0,5 % de concentración:

$$R_{0,5\%,Teo} = \%AlcMP * R_{0,5\%,Dis}$$

Dónde:

$R_{0,5\%,Teo}$ = Nuevo valor de resistencia teórica

$R_{0,5\%,Dis}$ = Resistencia de diseño

- Para la mezcla con plumas, 0,0125% de concentración:

$$R_{0,0125\%,Teo} = \%AlcMP * R_{0,0125\%,Dis}$$

Dónde:

$R_{0,0125\%,Teo}$ = Nuevo valor de resistencia teórica

$R_{0,0125\%,Dis}$ = Resistencia de diseño

A partir de los valores anteriores se procedió a calcular el porcentaje de resistencia real alcanzada a los 28 días, por las mezclas con adición de plumas. Esto se realizó mediante las expresiones:

- Para la mezcla con 0,5% de plumas:

$$\%Alc0,5\% = \frac{R_{0,5\%,real}}{R_{0,5\%,Teo}}$$

- Para la mezcla con 0,0125% de plumas:

$$\%Alc0,0125\% = \frac{R_{0,0125\%,real}}{R_{0,0125\%,Teo}}$$

Además también se calculó la relación entre los pesos específicos de las mezclas con adición de plumas y el de la mezcla patrón. Se utilizaron las expresiones:

- Para la mezcla con 0,5% de plumas:

$$\text{Rel}Y_{0,5\%} = \frac{Y_{0,5\%}}{Y_{\text{MP}}}$$

- Para la mezcla con 0,0125% de plumas:

$$\text{Rel}Y_{0,0125\%} = \frac{Y_{0,0125\%}}{Y_{\text{MP}}}$$

Dónde:

Y_{MP} = Peso específico de la mezcla patrón

$Y_{0,5\%}$ = Peso específico de la mezcla con 0,5% de plumas

$Y_{0,0125\%}$ = Peso específico de la mezcla con 0,0125% de plumas

8.2. Resumen de resultados

8.2.1. Ensayo de compresión

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, realizados utilizando los datos del ensayo de compresión para las probetas de las diferentes mezclas, según la edad a la que se practicó el ensayo.

Tabla XV. **Resultados del ensayo a compresión en probetas de 7 días de edad**

Probeta	Peso específico (kg/m ³)	Resistencia	
		kg/cm ²	psi

Mezcla patrón a 7 días			
C-MP-1-7	2 372,98	195,47	2 780,23
C-MP-2-7	2 353,61	191,32	2 721,16
Promedio	2 363,30	193,395	2 750,695

Mezcla con 0,5% de plumas a 7 días			
C-0,5%-1-7	2 121,40	67,52	960,41
C-0,5%-2-7	2 092,08	69,37	986,70
Promedio	2 106,74	68,445	973,555

Mezcla con 0,0125% de plumas a 7 días			
C-0,0125% 1-7	2 290,35	145,06	2 063,17
C-0,0125% 2-7	2 269,79	141,14	2 007,50
Promedio	2 280,07	143,10	2 035,335

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultados del ensayo a compresión en probetas de 28 días de edad**

Probeta	Peso específico (kg/m ³)	Resistencia	
		kg/cm ²	psi

Mezcla patrón a 28 días			
C-MP-1-7	2 355,24	273,95	3 896,46
C-MP-2-7	2 389,24	238,52	3 392,58
Promedio	2 372,24	256,235	3 644,52

Mezcla con 0,5% de plumas a 28 días			
C-0,5%-1-7	2 051,99	92,24	1 311,90
C-0,5%-2-7	2 016,04	96,78	1 376,58
Promedio	2 034,02	94,51	1 344,24

Mezcla con 0,0125% de plumas a 28 días			
C-0,0125% 1-7	2 290,35	188,84	2 685,88
C-0,0125% 2-7	2 284,43	190,65	2 711,60
Promedio	2 287,39	189,745	2 698,74

Fuente: elaboración propia.

8.2.2. Ensayo de tensión indirecta

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, realizados utilizando los datos del ensayo de compresión para las probetas de las diferentes mezclas, según la edad a la que se practicó el ensayo.

Tabla XVII. **Resultados del ensayo a tensión indirecta en probetas de 7 días de edad**

Probeta	Peso específico (kg/m ³)	Resistencia	
		kg/cm ²	psi

Mezcla patrón a 7 días			
T-MP-1-7	2 364,55	19,35	275,24
T-MP-2-7	2 345,99	18,78	267,10
Promedio	2 355,27	19,065	271,17

Mezcla con 0,5% de plumas a 7 días			
T-0,5%-1-7	2 119,92	6,31	89,80
T-0,5%-2-7	2 105,09	7,23	102,87
Promedio	2 112,51	6,77	96,335

Mezcla con 0,0125% de plumas a 7 días			
T-0,0125% 1-7	2 227,41	14,21	202,17
T-0,0125% 2-7	2 233,61	13,66	194,35
Promedio	2 230,51	13,935	198,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultados del ensayo a tensión indirecta en probetas de 28 días de edad**

Probeta	Peso específico (kg/m ³)	Resistencia	
		kg/cm ²	psi

Mezcla patrón a 28 días			
T-MP-1-7	2 378,60	27,59	392,47
T-MP-2-7	2 377,31	25,18	358,09
Promedio	2 377,96	26,385	375,28

Mezcla con 0,5% de plumas a 28 días			
T-0,5%-1-7	2 101,94	12,72	180,97
T-0,5%-2-7	2 127,20	9,48	134,80
Promedio	2 114,57	11,10	157,885

Mezcla con 0,0125% de plumas a 28 días			
T-0,0125% 1-7	2 251,09	20,55	292,23
T-0,0125% 2-7	2 324,09	22,18	315,45
Promedio	2 287,59	21,365	303,84

Fuente: elaboración propia.

8.2.3. Ensayo de flexión

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, realizados utilizando los datos del ensayo de compresión para las probetas de las diferentes mezclas, según la edad a la que se practicó el ensayo.

Tabla XIX. **Resultados del ensayo a flexión en probetas de 7 días de edad**

Probeta	Peso específico (kg/m ³)	Resistencia	
		kg/cm ²	psi

Mezcla patrón a 7 días			
F-MP-1-7	2 372,98	35,06	498,70
F-MP-2-7	2 353,61	32,79	466,44
Promedio	2 363,30	33,925	482,57

Mezcla con 0,5% de plumas a 7 días			
F-0,5%-1-7	2 119,92	27,10	385,47
F-0,5%-2-7	2 105,09	21,27	302,58
Promedio	2 112,51	24,185	344,025

Mezcla con 0,0125% de plumas a 7 días			
F-0,0125% 1-7	2 290,35	31,68	450,55
F-0,0125% 2-7	2 269,79	29,92	425,59
Promedio	2 280,07	30,80	438,07

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados del ensayo a flexión en probetas de 28 días de edad**

Probeta	Peso específico (kg/m ³)	Resistencia	
		kg/cm ²	psi

Mezcla patrón a 28 días			
F-MP-1-7	2 355,24	51,38	730,78
F-MP-2-7	2 389,24	53,19	756,58
Promedio	2 372,24	52,285	743,68

Mezcla con 0,5% de plumas a 28 días			
F-0,5%-1-7	2 051,99	26,62	378,57
F-0,5%-2-7	2 016,04	26,54	377,51
Promedio	2 034,02	26,58	378,04

Mezcla con 0,0125% de plumas a 28 días			
F-0,0125% 1-7	2 290,35	44,09	627,09
F-0,0125% 2-7	2 284,43	40,87	581,36
Promedio	2 287,39	42,48	604,225

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las relaciones calculadas se presentan a continuación:

- Relación entre la resistencia real y la resistencia teórica de la mezcla patrón.

$$\%AlcMP - C = 91\%$$

$$\%AlcMP - T = 94\%$$

$$\%AlcMP - F = 93\%$$

- Re-cálculo de la resistencia teórica de las mezclas con adición de plumas, utilizando el 91%, 94% y 93% de la resistencia de diseño respectivamente, como rango de tolerancia:

- Mezcla con adición de plumas 0,5%:

$$f'_{c_{0,5\%,Teo}} = 127,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{0,5\%,Teo} = 13,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{0,5\%,Teo} = 26,04 \text{ kg/cm}^2$$

- Mezcla con adición de plumas 0,0125%:

$$f'_{c_{0,0125\%,Teo}} = 160,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{0,0125\%,Teo} = 16,54 \text{ kg/cm}^2$$

- Porcentaje de resistencia real alcanzada a los 28 días, por las mezclas con adición de plumas:

- Para la mezcla con 0,5% de plumas:

$$\%Alc0,5\% - C = 74\%$$

$$\%Alc0,5\% - T = 84\%$$

$$\%Alc0,5\% - F = 102\%$$

- Para la mezcla con 0,0125% de plumas:

$$\%Alc_{0,0125\%} - C = 118,5\%$$

$$\%Alc_{0,0125\%} - T = 129\%$$

$$\%Alc_{0,0125\%} - F = 130\%$$

- La relación entre los pesos específicos de las mezclas con adición de plumas y el de la mezcla patrón, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XXI. **Relaciones de pesos específicos entre las mezclas**

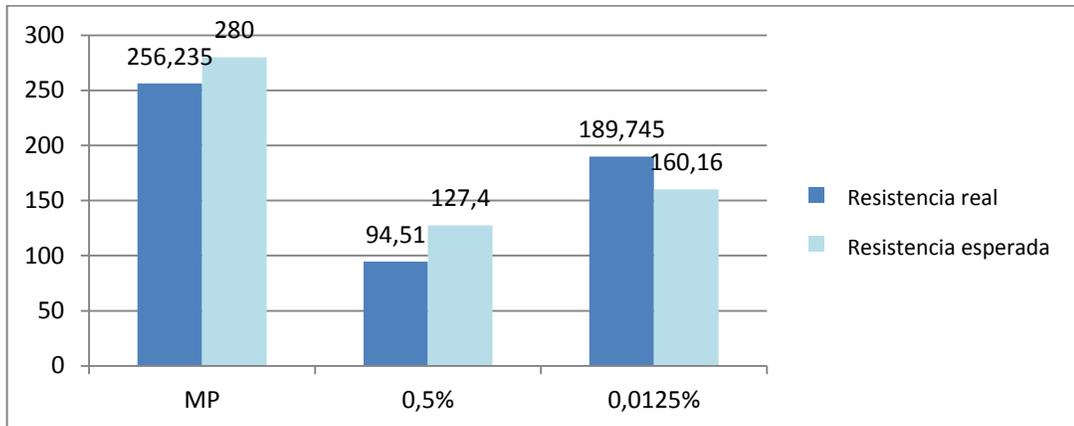
Mezcla	γ_{Real} (kg/m³)	Relación
Mezcla patrón	2 367,38	100%
Mezcla con adición de plumas 0,5%	2 085,73	88%
Mezcla con adición de plumas 0,0125%	2 275,50	96%

Fuente: elaboración propia.

8.3. Gráficas

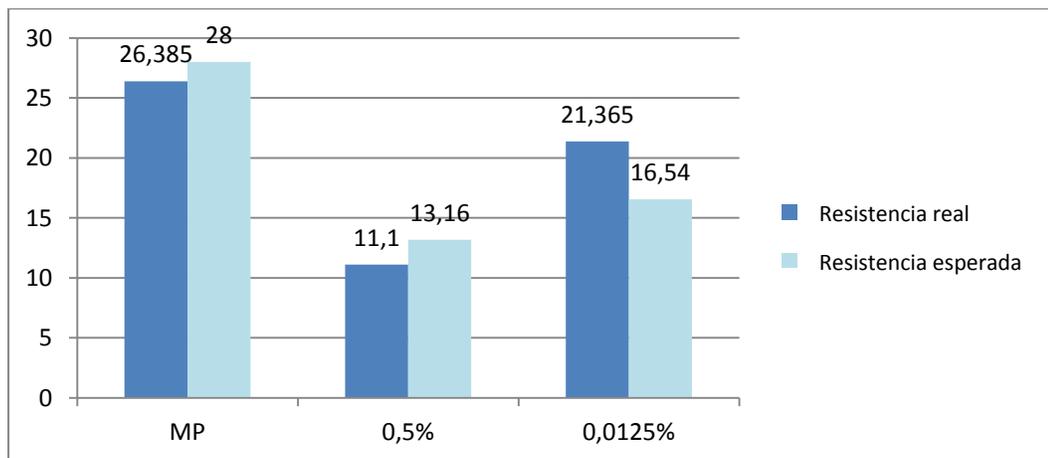
Las siguientes gráficas ilustran la relación entre la resistencia teórica y la resistencia real alcanzada por las mezclas. Las resistencias teóricas para las mezclas con adición de plumas corresponden a las re-calculadas en función de la relación agua-cemento y la tolerancia establecida por la resistencia de la mezcla patrón.

Figura 34. **Gráfica de la resistencia a compresión a los 28 días en los distintos tipos de mezcla, en comparación con la resistencia esperada**



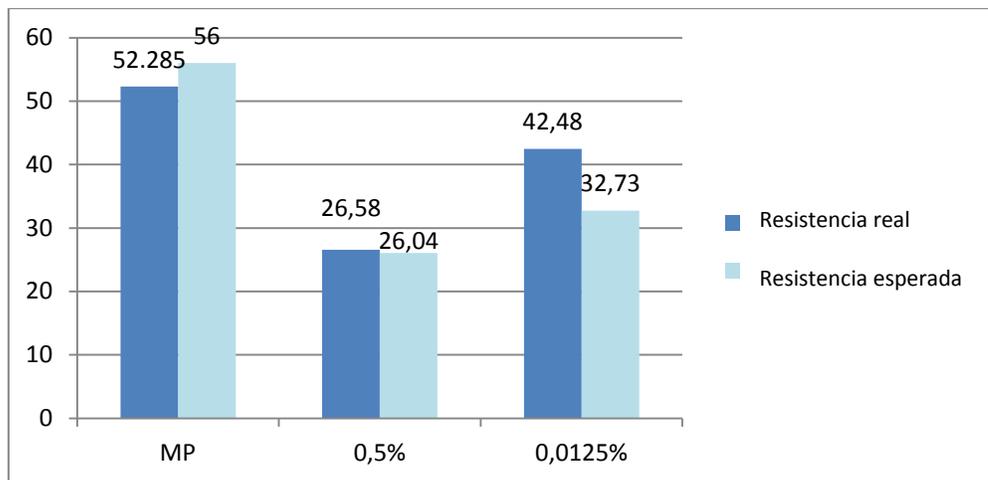
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Gráfica de la resistencia a tensión indirecta a los 28 días en los distintos tipos de mezcla, en comparación con la resistencia esperada**



Fuente: elaboración propia.

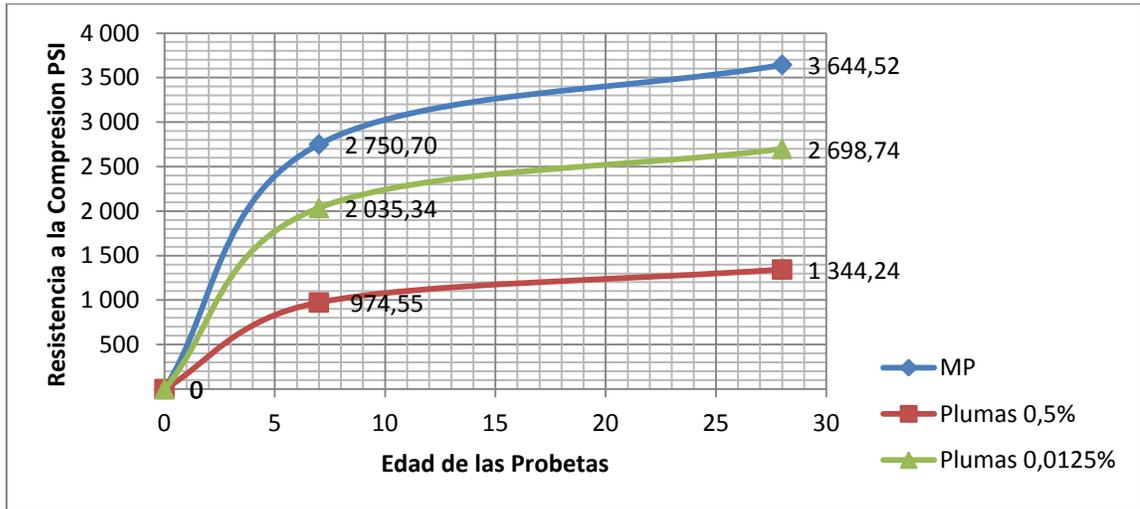
Figura 36. **Gráfica de la resistencia a flexión a los 28 días en los distintos tipos de mezcla. en comparación con la resistencia esperada**



Fuente: elaboración propia.

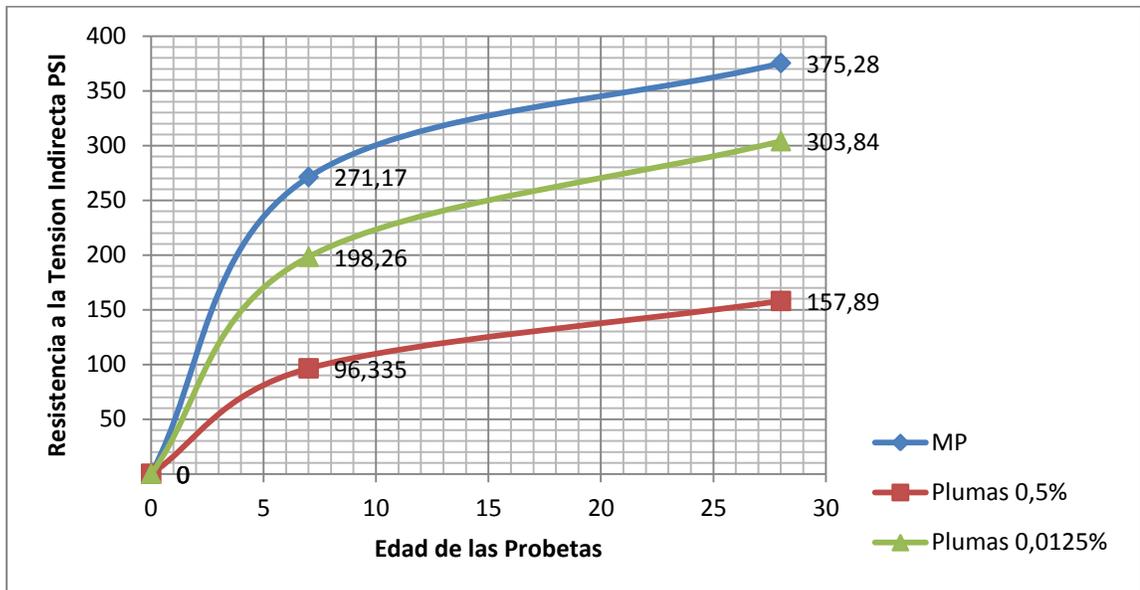
El siguiente conjunto de gráficas describen el comportamiento de las mezclas a través del tiempo. En las mismas se incluyen las tres mezclas con el objeto de que sea más visible la diferencia en el comportamiento de cada una.

Figura 37. **Gráfica del comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezclas, ensayadas a compresión**



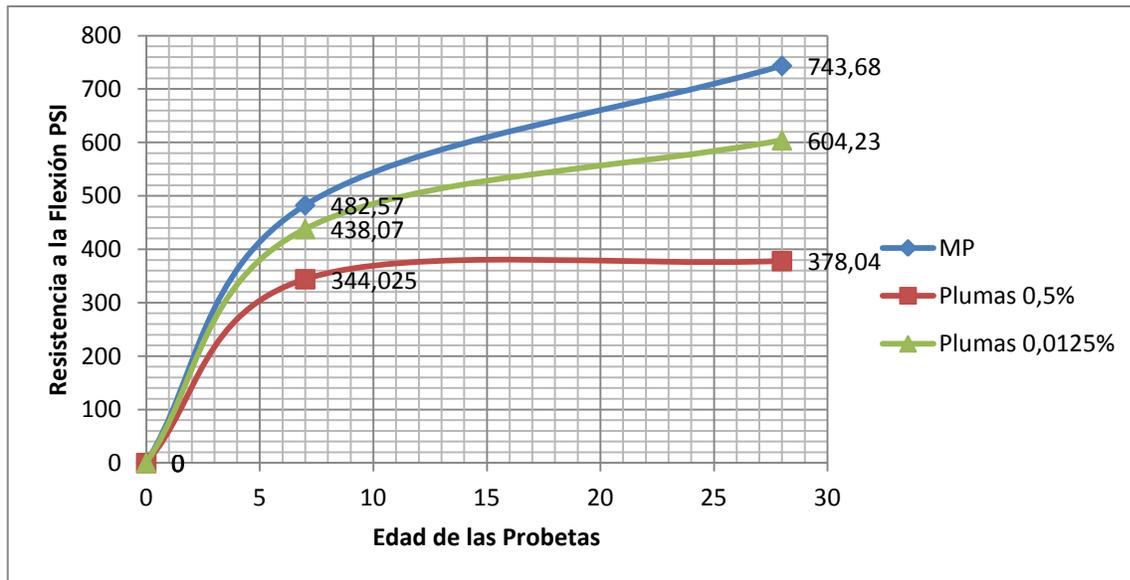
Fuente: elaboración propia

Figura 38. **Gráfica del comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezclas, ensayadas a tensión indirecta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Gráfica del comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezclas, ensavadas a flexión



Fuente: elaboración propia.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se encuentra el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

9.1. Ensayo de asentamiento según la norma ASTM C-143

Los resultados de este ensayo corresponden a una mezcla con consistencia fluida, la misma para su compactación, únicamente requiere ser picada con barra. Se eligió este asentamiento puesto que permite el uso de la mezcla en la mayoría de situaciones constructivas, siempre y cuando no presenten dificultades especiales para la colocación del concreto. Para poder alcanzar este asentamiento fue necesaria más agua para el mezclado, en las mezclas con adición de plumas.

9.2. Comparación e interpretación de los resultados de los ensayos

9.2.1. Ensayo de resistencia a compresión según la norma ASTM C-39

De acuerdo con los resultados obtenidos, en los ensayos a compresión, se pudo observar que la adición de plumas, redujo sustancialmente la trabajabilidad de la mezcla.

Se observó también que se redujo la resistencia a la compresión para la mezcla con mayor porcentaje de plumas, sin embargo la mezcla que contenía menor cantidad de plumas reportó un aumento sustancial de la resistencia a la compresión, estas dos en comparación con la resistencia esperada.

Debido a que la mezcla patrón alcanzó sólo un 91% de la resistencia esperada se puede establecer dicho porcentaje como un margen de tolerancia para las otras dos mezclas, lo que determinó una resistencia esperada para el concreto con adición de 0,5% de plumas a $127,40 \text{ kg/cm}^2$, para el concreto, con adición de 0,0125% de plumas a $160,16 \text{ kg/cm}^2$.

Habiendo establecido los resultados de estas mezclas, se procedió a comparar los resultados obtenidos de los ensayos a las probetas con adición de plumas con los datos teóricos de resistencia, de lo que se concluyó que la mezcla con adición de 0,5% de plumas, alcanzó un 74% de la resistencia esperada, mientras que la mezcla con adición de 0,0125% de plumas un 118,5%, lo que indica una reducción del 26% para la primera mezcla y un aumento del 18,5% para la segunda mezcla.

En cuanto a la evolución de la resistencia a través del tiempo, todas las mezclas, es decir, mezcla patrón, adición de 0,5% de plumas, adición de 0,0125% de plumas, alcanzaron la mayoría de su resistencia a la edad de 7 días.

9.2.2. Ensayo de resistencia a tensión indirecta según la norma ASTM C-496

De los resultados obtenidos, en los ensayos a tensión indirecta, se pudo observar que la adición de plumas, redujo sustancialmente la trabajabilidad de la mezcla, también redujo la resistencia a la tensión indirecta, para la mezcla con mayor porcentaje de plumas, no así para la mezcla que contenía menor cantidad de plumas la cual reportó un aumento sustancial de la resistencia a la tensión indirecta, estas dos en comparación con la resistencia esperada.

Debido a que la mezcla patrón alcanzó sólo un 94% de la resistencia esperada, se pudo establecer dicho porcentaje como un margen de tolerancia para las otras dos mezclas, lo que estableció una resistencia esperada para el concreto con adición de 0,5% de plumas a $13,16 \text{ kg/cm}^2$, para el concreto, con adición de 0,0125% de plumas a $16,54 \text{ kg/cm}^2$.

Habiendo establecido esto, se procedió a comparar los resultados obtenidos de los ensayos a las probetas con adición de plumas con los datos teóricos de resistencia, de lo que se concluyó que la mezcla con adición de 0,5% de plumas, alcanzó un 84% de la resistencia esperada, mientras que la mezcla con adición de 0,0125% de plumas un 129%, lo que indica una reducción del 16% para la primera mezcla y un aumento del 29% para la segunda mezcla.

En cuanto a la evolución de la resistencia a través del tiempo, todas las mezclas, es decir, mezcla patrón, adición de 0,5% de plumas, adición de 0,0125% de plumas, alcanzaron la mayoría de su resistencia a la edad de 7 días.

9.2.3. Ensayo de resistencia a flexión según la norma ASTM C-293

De los resultados obtenidos, en los ensayos a flexión, se pudo observar que la adición de plumas, redujo sustancialmente la trabajabilidad de la mezcla, aquí especialmente no redujo la resistencia a flexión, para la mezcla con mayor porcentaje de plumas, la mezcla que contenía menor cantidad de plumas, reportó un aumento sustancial de la resistencia a la flexión, estas en comparación con la resistencia esperada.

Debido a que la mezcla patrón alcanzó sólo un 93% de la resistencia esperada, se pudo establecer dicho porcentaje como un margen de tolerancia para las otras dos mezclas, lo que estableció una resistencia esperada para el concreto con adición de 0,5% de plumas a $26,04 \text{ kg/cm}^2$, para el concreto, con adición de 0,0125% de plumas a $32,73 \text{ kg/cm}^2$.

Habiendo establecido los resultados de estas mezclas, se procedió a comparar los resultados obtenidos de los ensayos a las probetas con adición de plumas con los datos teóricos de resistencia, de lo que se concluyó que la mezcla con adición de 0,5% de plumas, alcanzó un 102% de la resistencia esperada, mientras que la mezcla con adición de 0,0125% de plumas un 130%, lo que indica un aumento del 2% y del 30% respectivamente para cada mezcla.

En cuanto a la evolución de la resistencia a través del tiempo, todas las mezclas, es decir, mezcla patrón, adición de 0,5% de plumas, adición de 0,0125% de plumas, alcanzaron la mayoría de su resistencia a la edad de 7 días.

9.3. Fallas en los especímenes ensayados

9.3.1. Fallas a compresión

En los ensayos realizados a las probetas de mezcla patrón así como a las probetas con las diferentes proporciones de plumas, se pudo observar que ocurrieron 2 tipos diferentes de fallas, algunas de ellas fueron de la forma de reloj de arena, donde apareció un cono bien formado en un extremo y algunas grietas verticales corriendo a lo largo de la probeta, otras presentaron una fractura diagonal sin grietas en los extremos.

Esta falla diagonal, pudo presentarse por una mala nivelación de los especímenes, sin embargo aunque esta falla no se desea, cabe resaltar que resulta un tanto común en este tipo de ensayos.

Figura 40. Falla en probeta, ensayo de compresión



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

9.3.2. Falla a tensión indirecta

En la prueba de tensión indirecta, se pudo observar que ocurrió una fractura vertical a lo largo de los puntos de carga. Tanto en las probetas de mezcla patrón como las probetas adicionadas con plumas, estas no se desintegraron, sino que al ocurrir la falla, las probetas se partieron exactamente a la mitad.

Figura 41. **Falla en probeta, ensayo de tensión indirecta**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, Guatemala.

9.3.3. Falla a flexión

En los especímenes ensayados a flexión, la falla ocurrió siempre en el rango del tercio medio de la viga, en los especímenes fibroreforzados, fue de la misma manera, sin reportarse diferencia alguna, entre la mezcla patrón y las mezclas adicionadas con plumas.

9.4. Efectos de las plumas sobre el concreto

En cuanto a las propiedades mecánicas, el efecto más notable fue el aumento en la resistencia a la flexión, esto puede deberse a que el material adicionado cumplió su función de reforzar y aumentar la tracción de los componentes, dentro de la matriz. No fue posible observar en los restos almacenados durante 56 días indicios de descomposición de las plumas, cabe mencionar que al momento de ensayar los especímenes poseían un leve olor, característico de la descomposición de materia orgánica, sin embargo no presentaban ningún efecto visible.

En el caso de efectos físicos, si fue posible observar sustanciales cambios. Al principio del experimento se infería una posible reducción del peso específico del material, de hecho se observó que dicha reducción fue, del 4% en la mezcla con adición de 0,0125% de plumas y del 12% en la mezcla con adición de 0,5% de plumas, siendo estos de $92,38 \text{ kg/m}^3$ y de $281,65 \text{ kg/m}^3$ respectivamente.

En relación a las propiedades químicas, no fue posible establecer cambios.

CONCLUSIONES

1. Fue posible observar que la adición del material fibroso, redujo la resistencia a la compresión y a la tensión indirecta en algunos casos y en otros aumentó la resistencia a la compresión, a la flexión y a la tensión indirecta.
2. El manejo de las mezclas disminuye con la adición de las plumas. Este fenómeno se observó a medida que se agregaba una cantidad mayor de plumas, ya que, para estos casos, cuando se utilizó la relación agua/cemento, correspondiente a la mezcla patrón, se obtuvo un valor de asentamiento menor al necesario.
3. La resistencia a la compresión, alcanzada por la mezcla patrón fue menor a la resistencia para la cual fue diseñada, esto se debió seguramente a deficiencias en la calidad de los agregados pétreos utilizados en la misma, como por ejemplo un alto contenido de material fino en el piedrín, etc.
4. Existe una proporción idónea, la cual genera la óptima utilización de las plumas, este estudio reveló que la cantidad de 0,0125% de plumas, otorga resistencias a compresión, flexión y tensión indirecta mayores a las del concreto tradicional.
5. El concreto adicionado con plumas, reportó una buena reducción de peso, lamentablemente el análisis reveló que un mayor porcentaje de plumas, representó mayor reducción de resistencia.

6. La mezcla con adición de 0,0125% de plumas, presenta características bastante interesantes, las cuales podrían ser aprovechadas para concreto estructural, sin embargo se debe establecer los efectos a largo plazo que tienen las plumas dentro del concreto.

RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas con otras concentraciones de plumas, que se localicen entre las ya realizadas, variando también las dimensiones de las mismas, con el propósito de determinar si existe una combinación, que proporcione mejores características mecánicas.
2. Para poder reducir la relación agua/cemento sin afectar la trabajabilidad de la mezcla, considerar la utilización de aditivos fluidificantes, ya que con la utilización de estos se evita alterar la relación agua/cemento de manera radical.
3. Efectuar ensayos utilizando diferentes aditivos, para poder establecer los efectos que tienen estos sobre las plumas.
4. Realizar una caracterización, tanto química como física de las plumas, para poder conocer con exactitud, sus propiedades y así determinar los efectos que tiene la unión de cemento y plumas.
5. Realizar pruebas para establecer, los efectos a largo plazo que tienen las plumas dentro del concreto.
6. Efectuar ensayos con mezclas diseñadas para alcanzar una mayor resistencia, para determinar la máxima resistencia con la cual los materiales conservan su utilidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Standard for Testing and Materials. *Método estándar de ensayo para asentamiento de concreto de cemento hidráulico. C-143.* Pennsylvania: ASTM, 2003.

_____. *Método estándar para ensayos de resistencia a compresión de cilindros de concreto. C-39.* Pennsylvania: ASTM, 2003.

_____. *Método estándar para ensayos de resistencia a flexión de vigas de concreto. C-293.* Pennsylvania: ASTM, 2003.

_____. *Método estándar para ensayos de resistencia a tensión indirecta de cilindros de concreto. C-496.* Pennsylvania: ASTM, 2003.

_____. *Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto. C-31.* Pennsylvania: ASTM, 2003.
2. BRAVO CELIS, José Patricio. Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: influencia del porcentaje de fibra adicionado. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, departamento de Ingeniería de los Materiales, Chile: 2008. 90 p.

3. Environmental Health Perspectives Volumen 117. Número 11. [en línea], disponible en Web: <http://ehsehplp03.niehs.nih.gov/article/fetchArticle.action?articleURI=info%3Adoi%2F10.1289%2Fehp.0901> [Consulta: 9 de julio de 2010].
4. Grava [en línea], disponible en Web: [http://es.wikipedia.org/wiki/Grava_\(hormig%C3%B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Grava_(hormig%C3%B3n)) [consulta: 10 de agosto de 2010].
5. JONES, R. M. *Mechanics of composite materials*. 3a ed. Virginia: McGraw-Hill, 1975. 325 p.
6. KOCK W. Jeffrey. *Physical and mechanical properties of chicken feather materials*. Georgia Institute of Technology. Georgia: 2006. 89 p.
7. MEYER, Ralph. *The artist's handbook of materials and techniques*. 5ª ed. revisada y actualizada. Boston: Viking, 1991. 179 p.
8. PERLES, Pedro. *Hormigón armado*. 5ª ed. Buenos Aires: Nobuko, 2005. 450 p.
9. PETERS, S. T.; HUMPHREY, W. D.; FORAL, R. F. *Filament winding composite, structure fabrication*. New York: VCH Publishers, 1991. 215 p.
10. Propiedades físicas de las plumas, evolución, utilidades. [en línea] disponible en Web: http://www.otrasfronteras.com/enigma_7465_utilidad_de_las_plumas.html [consulta: 12 de septiembre de 2010].

11. QUINTERO GARCÍA, Sandra Lilian; GONZÁLES SALCEDO, Luis Octavio. *Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: ingeniería y desarrollo*. Universidad del Norte. Colombia: 2006. 121 p.
12. Radeva, Visselina. Materiales compuestos reforzados con fibra, [en línea] disponible en Web: <http://cvt.fyt.umss.edu.bo/trabajo/berarticulo> [consulta: 19 de julio de 2010]
13. SMITH, W. F. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 4ª ed. España: McGraw-Hill, 1993. 520 p.
14. Tecnología, nuevos usos en la industria para las plumas. [en línea] disponible en Web: <http://www.teorema.com.mx/cienciaytecnologia/%C2%BFplastico-de-plumas-de-pollo/> [consulta: 12 de septiembre de 2010].

ANEXOS

- Informes de resultados de las pruebas



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 16515

INFORME No. S.C. 116

O.T. No. 27659

INTERESADO: Elvin Wilson Hernández Hernández Carné No. 2002-12153

PROYECTO: Tesis "Análisis comparativo de la Resistencia a la Compresión, Tensión Indirecta y a la Flexión de Concreto Fibroreforzado de Matriz Cementicia y Plumas de Ave: Pollo".

ASUNTO: Revenimiento de Abrams, Dosificación

FECHA: 4 de marzo de 2011

REFERENCIAS	MUESTRAS											
	Mezcla Patron				Mezcla con 0,5% plumas de aves				Mezcla con 0,0125% plumas de aves			
Revenimiento	10 cm				12 cm				12,5 cm			
Dosificación	Cemento kg/m ³	A.F. kg/m ³	A.G. kg/m ³	Agua kg/m ³	Cemento kg/m ³	A.F. kg/m ³	A.G. kg/m ³	Agua kg/m ³	Cemento kg/m ³	A.F. kg/m ³	A.G. kg/m ³	Agua kg/m ³
	459.5	723	912	217.99	459.5	723	912	235.9	459.5	723	912	225.97

OBSERVACIONES:

- I. Dosificación proporcionada por el interesado.
- II. Mezcla elaborada bajo condiciones de laboratorio

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Dilma Yanet Mejicanos Jol
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos





RESISTENCIA EN VIGAS DE CONCRETO

INFORME No. SC- 115

OT. No. 27699

INTERESADO: Elvin Wilson Hernández Hernández Carné 2002-12153

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Tesis "Análisis comparativo de la resistencia a la compresión, tensión indirecta y a la flexión de concreto fibroreforzado de matriz cementicia y plumas de ave: Pollos"

DIRECCION: _____

FECHA: 7 de marzo de 2011.

No. Viga	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DÍAS	ALTO EN cm.	ANCHO EN cm.	Distancia entre apoyos en cm	REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	CARGA en kgs	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	5-06-04	7	16.10	15.25	44.00	Mezcla Patron 1:1,6:2:0,47	2100.00	35.06	498.70
2	5-06-04	7	15.50	15.35	44.30	Mezcla Patron 1:1,6:2:0,47	1820.00	32.79	466.44
3	5-06-04	28	15.70	15.35	43.20	Mezcla Patron 1:1,6:2:0,47	3000.00	51.38	730.78
4	5-06-04	28	15.35	15.30	42.90	Mezcla Patron 1:1,6:2:0,47	2980.00	53.19	756.58
5	5-06-04	7	15.30	15.25	53.75	Mezcla con 0,5% plumas de ave	1200.00	27.10	385.47
6	5-06-04	7	15.85	15.40	44.25	Mezcla con 0,5% plumas de ave	1240.00	21.27	302.58
7	5-06-04	28	15.40	15.30	44.10	Mezcla con 0,5% plumas de ave	1460.00	26.62	378.57
8	5-06-04	28	15.30	15.40	43.10	Mezcla con 0,5% plumas de ave	1480.00	26.54	377.51
9	5-06-04	7	15.10	15.90	43.50	Mezcla con 0,0125% plumas de ave	1760.00	31.68	450.55
10	5-06-04	7	15.30	15.65	43.50	Mezcla con 0,0125% plumas de ave	1680.00	29.92	425.59
11	5-06-04	28	15.50	15.25	44.50	Mezcla con 0,0125% plumas de ave	2420.00	44.09	627.09
12	5-06-04	28	15.90	15.30	42.50	Mezcla con 0,0125% plumas de ave	2480.00	40.87	581.36

OBSERVACIONES :

1. el interesado proporciono los materiales utilizados para las mezclas.

Atentamente,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos





**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-496
INFORME No. S.C. - 78
HOJA 3/3**

O.T. No. 27658

INTERESADO: Elvin Wilson Hernández Hernández, Carné No. 2002-12153
ASUNTO: ENSAYO A TENSION INDIRECTA
PROYECTO: Tesis "Análisis comparativo de la Resistencia a la Compresion, tension Indirecta y a la Flexión de Concreto Fibroreforzado de Matriz Cementicia y Plumitas de Ave: Pollo"
DIRECCION: Ciudad
FECHA: 01 marzo de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICION	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	DIAMETRO en cm	LONGITUD en cm	CARGA en kg	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	89-02	19/01/2011	7	Mezcla 0,0125% pluma de ave	15.32	30.50	10,433	14.21	202.17
2	90-02	19/01/2011	7	Mezcla 0,0125% pluma de ave	15.24	30.50	9,979	13.66	194.35
3	91-02	19/01/2011	28	Mezcla 0,0125% pluma de ave	15.21	30.50	14,969	20.55	292.23
4	92-02	19/01/2011	28	Mezcla 0,0125% pluma de ave	15.04	30.30	15,876	22.18	315.45

OBSERVACIONES : a) Mezcla elaborada bajo condiciones de laboratorio.
b) Proporción de la mezcla: 1:1,57:1,98:0,60

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



EMG



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-496

INFORME No. S.C. - 78

HOJA 2/3

O.T. No. 27658

INTERESADO: Elvin Wilson Hernández Hernández, Carné No. 2002-12153
ASUNTO: ENSAYO A TENSION INDIRECTA
PROYECTO: Tesis "Análisis comparativo de la Resistencia a la Compresion, tension Indirecta y a la Flexión de Concreto Fibroreforzado de Matriz Cementicia y Plumitas de Ave: Pollo"
DIRECCION: Ciudad
FECHA: 01 marzo de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICION	EDAD en dias	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	DIAMETRO en cm	LONGITUD en cm	CARGA en kg	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	85-02	19/01/2011	7	Mezcla 0,5% pluma de ave	15.22	30.05	4,536	6.31	89.80
2	86-02	19/01/2011	7	Mezcla 0,5% pluma de ave	15.20	30.20	5,216	7.23	102.87
3	87-02	19/01/2011	28	Mezcla 0,5% pluma de ave	15.08	30.10	9,072	12.72	180.97
4	88-02	19/01/2011	28	Mezcla 0,5% pluma de ave	15.13	30.20	6,804	9.48	134.80

OBSERVACIONES : a) Mezcla elaborada bajo condiciones de laboratorio.
b) Proporción de la mezcla: 1:1,57:1,98:0,73

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

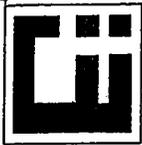
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora OI/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



EMG



**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-496
INFORME No. S.C. - 78
HOJA 1/3**

O.T. No. 27658

INTERESADO: Elvin Wilson Hernández Hernández, Carné No. 2002-12153
ASUNTO: ENSAYO A TENSION INDIRECTA
PROYECTO: Tesis "Análisis comparativo de la Resistencia a la Compresion, tension Indirecta y a la Flexión de Concreto Fibroreforzado de Matriz Cementicia y Plumaz de Ave: Pollo"
DIRECCION: Ciudad
FECHA: 01 marzo de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICION	EDAD en dias	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	DIAMETRO en cm	LONGITUD en cm	CARGA en kg	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	81-02	19/01/2011	7	Mezcla patron	15.22	30.40	14,062	19.35	275.24
2	82-02	19/01/2011	7	Mezcla patron	15.20	30.35	13,608	18.78	267.10
3	83-02	19/01/2011	28	Mezcla patron	15.20	30.30	19,958	27.59	392.47
4	84-02	19/01/2011	28	Mezcla patron	15.12	30.35	18,144	25.18	358.09

OBSERVACIONES : a) Mezcla elaborada bajo condiciones de laboratorio.
b) Proporción de la mezcla: 1:1,57:1,98:0,50

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dina Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



EMG



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 16525

RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 113

O.T. No. 27657

HOJA 3/3

INTERESADO: Elvin Wilson Hernandez Hernandez, Carnet: 2002-12153

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Análisis comparativo de la Resistencia a la Compresion, Tension Indirecta y a la Flexion de Concreto Fibroreforzado de Matriz Cementicia y Plumas de Ave. Pollo"

DIRECCION: Municipio de Asuncion Mita Jutiapa.

FECHA: 1 de Marzo de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	4-3	18/01/2011	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.523	15.113	57,369	145.06	2063.17
2	5-3	18/01/2011	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.427	15.123	55,895	141.14	2007.50
3	6-3	18/01/2011	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.475	15.193	75,477	188.84	2685.88
4	7-3	18/01/2011	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.585	15.170	75,966	190.65	2711.60

OBSERVACIONES :

- El interesado proporciono el material para la mezcla.
- Proporciones suministradas por el interesado: 1 : 1.6 : 2 : 0.47
- El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 12.5 cm.
- Modificación de agua: Cantidad Original 217.99 lts/m³ a 225.97 lts/m³.
- El contenido de plumas es de: 0.0125 %

Atentamente,

[Handwritten signature]



Inga. Telma Malicela Cano Morales
Directora CII/USAC

[Handwritten signature]
Inga. Dilma Janet Mejicanos Jofre
Jefa Sección de Concretos



Vo.Bo.

E.R.



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 113

O.T. No. 27657

HOJA 2/3

INTERESADO: Elvin Wilson Hernandez Hernandez, Carnet: 2002-12153

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Análisis comparativo de la Resistencia a la Compresion, Tension Indirecta y a la Flexion de Concreto Fibroreforzado de Matriz Cementicia y Plumaz de Ave:Pollo"

DIRECCION: Municipio de Asuncion Mita Jutiapa.

FECHA: 1 de Marzo de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	4-3	18/01/2011	7	Control de calidad mezcla de concreto	11.590	15.107	26,682	67.52	960.41
2	5-3	18/01/2011	7	Control de calidad mezcla de concreto	11.536	15.177	27,667	69.37	986.70
3	6-3	18/01/2011	28	Control de calidad mezcla de concreto	11.300	15.167	36,737	92.24	1311.90
4	7-3	18/01/2011	28	Control de calidad mezcla de concreto	11.550	15.100	38,210	96.78	1376.58

OBSERVACIONES :

- a) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- b) Proporciones suministradas por el interesado: 1 : 1.6 : 2 : 0.47
- c) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 12 cm.
- d) Modificación de agua: Cantidad Original 217.99 lts/m³ a 235.9 lts/m³.
- e) El contenido de plumas es de: 0.5 %

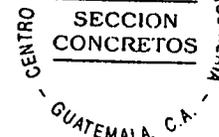
Atentamente,

(Handwritten signature)



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

(Handwritten signature)
Inga. Dilma Yaret Mejicanos Sol
Jefa Sección de Concretos



Vo.Bo.

E.R.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 16528

RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 113

O.T. No. 27657

HOJA 1/3

INTERESADO: Elvin Wilson Hernandez Hernandez, Carnet: 2002-12153

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Análisis comparativo de la Resistencia a la Compresión, Tension Indirecta y a la Flexión de Concreto Fibroreforzado de Matriz Cementicia y Plumas de Ave:Pollo"

DIRECCION: Municipio de Asuncion Mita Jutiapa.

FECHA: 1 de Marzo de 2011

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICION	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	4-3	18/01/2011	7	Control de calidad mezcla de concreto	13.078	15.173	77,923	195.47	2780.23
2	5-3	18/01/2011	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.920	15.143	75,966	191.32	2721.16
3	6-3	18/01/2011	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.970	15.167	109,112	273.95	3896.46
4	7-3	18/01/2011	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.955	15.050	93,546	238.52	3392.58

OBSERVACIONES :

- a) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- b) Proporciones suministradas por el interesado: 1 : 1.6 : 2 : 0.47
- c) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 10 cm.
- e) Modificación de agua: Cantidad Original 216 lts/m³ a 217.99 lts/m³.

Atentamente,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Dilma Xanet Mejicanos Jol
Inga. Dilma Xanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



E.R.