

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

TEMA:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDO
A AMBIENTES SEVEROS: ALTAS, BAJAS TEMPERATURAS Y
AMBIENTES SALINOS.

AUTORA:

JESSICA BEATRIZ MESTANZA ORELLANA

TUTOR:

ING. MG. DIEGO SEBASTIÁN CHÉRREZ GAVILANES

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes certifico que la presente tesis de grado **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDO A AMBIENTES SEVEROS: ALTAS, BAJAS TEMPERATURAS Y AMBIENTES SALINOS.”** realizado por la señorita Jessica Beatriz Mestanza Orellana Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédito.

Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Jessica Beatriz Mestanza Orellana, CI. 0605773506 Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema:

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDO A AMBIENTES SEVEROS: ALTAS, BAJAS TEMPERATURAS Y AMBIENTES SALINOS.” es de mi completa autoría.

Jessica Beatriz Mestanza Orellana

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 22 de Agosto de 2016

Jessica Beatriz Mestanza Orellana

AUTORA

APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de Investigación, sobre el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDO A AMBIENTES SEVEROS: ALTAS, BAJAS TEMPERATURAS Y AMBIENTES SALINOS.”**, de la egresada Jessica Beatriz Mestanza Orellana de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, 22 de Agosto de 2016

Para constancia firman

Ing. M. Sc. Jorge W. Cevallos C.

Ing. M. Sc Santiago W. Medina R.

DEDICATORIA

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi mami, mi mejor ejemplo de lucha y perseverancia.

A mis hermanas y hermanos, por su apoyo incondicional, por esas palabras de aliento para continuar, por aconsejarme y siempre querer lo mejor para mí.

A mis sobrinas y sobrinos, por ser la razón de mis alegrías, por despertar en mí el amor verdadero.

Y a todas aquellas personas especiales, que me han impulsado a ser mejor cada día.

Jessica Mestanza.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y sabiduría para vencer los obstáculos y alcanzar esta meta.

A mi Mami y a mi Papi, que con su amor y sacrificio, me han hecho la mujer que soy, por motivarme a ser mejor e inculcarme buenos valores.

A mis hermanos, gracias de corazón porque con su ejemplo me han enseñado a ser humilde y luchar para alcanzar mis sueños, en especial a ti Vivi, por ser como mi segunda madre, por ayudarme para seguir estudiando, gracias ña por ser una persona extraordinaria.

A ti Joffre, por permitirme ser parte de tu vida, por caminar juntos en esta etapa, por esas palabras de apoyo y por ese abrazo cálido en los momentos de dificultad muchas gracias.

A mi amiga Karito, gracias por ser una verdadera amiga, por tus consejos, por ser mi pañuelo de lágrimas en aquellos días nublados, te quiero mucho amiga siempre estarás en mi corazón.

A mi tutor Ing. Diego Chérrez, por guiarme en el desarrollo de la tesis por compartirme sus conocimientos, y por enseñarme que siempre se puede mejorar.

Al Ing. Santiago Medina y al Ing. Jorge Cevallos por su colaboración en la culminación de este trabajo, por la paciencia y conocimiento.

A las personas que han llegado a mi vida, que de alguna u otra manera estuvieron pendientes de mí y me regalaron muchas alegrías.

Jessica Mestanza.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XIII

B. TEXTO

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
2.1.1. FIBRAS.....	8
2.1.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS	8
2.1.1.2. PROPIEDADES DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	9
2.1.2. TIPOS DE FIBRAS	10

2.1.2.1. FIBRAS NATURALES	10
2.1.3. FIBRA SINTÉTICA	13
2.1.3.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAS FIBRAS SINTÉTICAS:.....	14
2.1.4. FIBRA DE POLIPROPILENO	15
2.1.4.1. CARACTERISTICAS DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO	15
2.1.4.2. PROPIEDADES DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO	15
2.1.4.3. TIPOS DE FIBRA DE POLIPROPILENO.	18
2.1.4.4. SELECCIÓN DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO	19
2.1.5. ENSAYO DE MATERIALES	20
2.1.6. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	20
2.1.7. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	21
2.1.8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	23
2.1.8.1. LIMITACIONES EN LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN	23
2.1.8.2. REQUERIMIENTOS PARA PROBETAS DE COMPRESIÓN.	24
2.1.8.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	24
2.1.8.4. FRACTURAS EN LOS CILINDROS DE CONCRETO	25
2.2. HIPÓTESIS	26
2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	26
2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	26
2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE	26

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.1.1. TIPO EXPLORATORIO.	27
3.1.2. TIPO DESCRIPTIVO.....	27
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.2.1. POBLACIÓN.....	28
3.2.2. MUESTRA.....	28
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	29
3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	29
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE	30

3.4.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	31
3.5.	PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	32
3.5.1.	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	32
3.5.2.	PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	32

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS	33
4.1.1.	ENSAYOS EMPLEADOS PARA LA DOSIFICACIÓN	33
4.1.2	DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA	36
4.1.3	DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PARA CILINDROS (DHC).....	39
4.1.4	PORCENTAJE DE FIBRA DE POLIPROPILENO PARA CILINDROS	40
4.1.5	CURADO DE LOS ESPECIMENES DE CEMENTO HIDRAULICO DEACUERDO A LA NORMA NTE INEN 1576.....	41
4.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	54
4.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	67

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES	68
5.2.	RECOMENDACIONES	70

C. MATERIALES DE REFERENCIA

6.	BIBLIOGRAFÍA.....	72
7.	ANEXOS.....	76
7.1.	IMÁGENES DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Propiedades físicas de las fibras vegetales.	11
TABLA N° 2: Propiedades de las fibras sintéticas	14
TABLA N° 3: Propiedades de los tipos de fibras de polipropileno.	18
TABLA N° 4: Propiedades de la Fibra Multifilamento Polipropileno.	19
TABLA N° 5: Fibras de polipropileno.....	29
TABLA N° 6: Resistencia a compresión.	30
TABLA N° 7: Preguntas Directrices.....	31
TABLA N° 8: Valor de constante (k) según el asentamiento requerido para dosificación método de la Densidad Óptima.	37
TABLA N° 9: Relación Agua / Cemento para dosificación método de la Densidad Óptima.....	37
TABLA N° 10: Dosificación al Peso mediante el método de la Densidad Óptima.	39
TABLA N° 11: Granulometría Agregado Fino (Cantera Villacrés)	42
TABLA N° 12: Granulometría Agregado Grueso (Cantera Villacrés).	44
TABLA N° 13: Densidad Aparente Compactada del Agregado Fino y Grueso.	45
TABLA N° 14: Densidad Aparente Suelta del Agregado Fino y Grueso.....	45
TABLA N° 15: Densidad Aparente Compactada de la Mezcla.	46
TABLA N° 16: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso. .	47
TABLA N° 17: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.	48
TABLA N° 18: Densidad Real del Cemento.	49
TABLA N° 19: Dosificación para 0,20 % de Fibra de Polipropileno.....	50
TABLA N° 20: Dosificación Método Densidad Óptima.	51
TABLA N° 21: Propiedades del Hormigón Fresco en Cilindros de Hormigón $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$	52
TABLA N° 22: Resistencia a la Compresión del concreto $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Condiciones Normales.	54
TABLA N° 23: Resistencia a la Compresión del Concreto $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Bajas Temperaturas.	55
TABLA N° 24: Resistencia a la Compresión del Concreto $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Altas Temperaturas.....	56
TABLA N° 25: Resistencia a la Compresión del Concreto $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Agua de mar.....	57
TABLA N° 26: Tipos de fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno-Condiciones Normales.	58
TABLA N° 27: Tipos de Fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno- Bajas Temperaturas.....	59
TABLA N° 28: Tipos de fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno- Altas Temperaturas.	60
TABLA N° 29: Tipos de fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno- Agua de Mar.....	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: Curva Típica Esfuerzo-Deformación para Hormigón Reforzado con Fibras.....	9
GRÁFICO N° 2: Flujo de la presión de vapor a través de las fibras de PP derretidos en el caso de incendio.....	16
GRÁFICO N° 3: Consistencia de Mezclas, Método del cono de Abrams.....	16
GRÁFICO N° 4: Curva carga – Deflexión con fibras de polipropileno.....	17
GRÁFICO N° 5: Aspecto de la fibra de polipropileno multifilamento.....	18
GRÁFICO N° 6: Aspecto de fibra de polipropileno fibrilado.....	19
GRÁFICO N° 7: Diagramas de esfuerzo - deformación de materiales dúctiles y frágiles ensayados a compresión hasta la rotura.....	22
GRÁFICO N° 8: Moldes de acero, para la elaboración de probetas de ensayo.....	23
GRÁFICO N° 9: Esquema de los modelos típicos de fractura.....	25
GRÁFICO N° 10: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión -Curado Bajas Temperaturas.....	62
GRÁFICO N° 11: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Curado Condiciones Altas temperaturas	63
GRÁFICO N° 12: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión - Curado Agua de mar.....	64
GRÁFICO N° 13: Condiciones de curado vs. Esfuerzo a la Compresión a los 28.	65
GRÁFICO N° 14: Edad vs. Densidad.....	66

RESUMEN EJECUTIVO

En la presente investigación se muestran los resultados de densidades y esfuerzos obtenidos de los ensayos a compresión de los especímenes de concreto con una resistencia de diseño $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$, y reforzados con fibra de polipropileno en un 0.2% del volumen de concreto de acuerdo a las recomendaciones dadas por la norma ACI 544.1R-96.

Se procedió a realizar los ensayos respectivos de los componentes del concreto: agregado fino, grueso y cemento, ensayos de granulometría, densidad aparente suelta y compactada de los agregados y de la mezcla, densidad real del agregado fino, grueso y cemento, capacidad de absorción de los agregados, con las especificaciones de la norma INEN, donde se obtuvo porcentaje óptimo de agregado fino y grueso.

Los especímenes en estado fresco alcanzaron un asentamiento de 6 centímetros cuya consistencia es blanda. Se determinó la resistencia a compresión de los especímenes curados en los distintos ambientes severos fueron: El concreto curado en baja temperatura 3°C , tiene un aumento en su densidad de 1,64% y una disminución de 15 % en su resistencia a la compresión. Los especímenes curados en alta temperatura 45°C , aumenta su densidad en un 2,13% y tiene un incremento de 15%, en su resistencia a compresión. La presencia de cloruro de sodio provocó que en los cilindros curados con agua de mar la densidad aumente en un 2,36% y que su resistencia a la compresión disminuya en un 27%.

Todas las muestras presentaron diferentes fracturas que son descritas en la norma NTE INEN 1573.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos.

1.2. ANTECEDENTES

La necesidad de reforzar el concreto con fibras nace en el siglo XVIII; se empleaba paja cortada en trozos muy pequeños u otras materias vegetales al macizo arcilloso en el antiguo Egipto para elaborar ladrillos y adobes, cuya característica era incrementar la resistencia y manejabilidad, después de la cocción en el sol. Se realizaba reforzamientos del concreto con pelaje de ganado equino en las construcciones más antiguas con el fin de evitar la fisuración de contrapisos, elaborados con yeso y esteras de caña. [1]

En la década de los 50, se realizaron los primeros estudios sobre el empleo de la fibra de acero y vidrio para reforzar el concreto, en los años 60 aparecen los primeros estudios sobre hormigones fibroreforzados con fibras sintéticas. [1]

Los materiales compuestos diseñado con polímeros armados con fibras (FRP) están siendo utilizados en la construcción de puentes por sus ventajosas propiedades como bajo peso, reducidos costes de mantenimiento y su excelente comportamiento frente a la corrosión. En 1982, se construyó el primer puente de carretera en el mundo, en China (Miyun Bridge), que tiene una luz de 20,7 m. El puente consta de 6 vigas laminadas a mano de fibra de vidrio/poliéster [2]. El concreto reforzado con fibras se ha empleado en varias construcciones civiles, revestimientos de túneles, pavimentos industriales y tuberías de hormigón. La principal ventaja de las fibras es minimizar procesos de

expansión de fisuras en este tipo de sistemas de baja deformabilidad, cuyas fibras adicionan una gran tenacidad, y otros beneficios en resistencia residual, principalmente bajo tensiones de tracción. [3]

El refuerzo con fibras puede proporcionar la ductilidad y reducción de la fragilidad necesaria para evitar el desprendimiento explosivo (también llamado spalling). Entre otras ventajas se pueden enumerar la mayor resistencia a la abrasión, impacto y fatiga, las posibilidades de reducción o eliminación de los refuerzos convencionales con la consiguiente mejora en la aplicación y colocación del hormigón, reducción de espesores, mejoras en la durabilidad, en la resistencia al fuego, entre otras. [3]

Según la tesis “DISEÑO DE HORMIGONES CON FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE 21 Y 28 MPA CON AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO” del autor V. Barros de la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, establece la siguiente conclusión:

- La adición de fibra de polipropileno no afecta mayormente la trabajabilidad pero afecta a la consistencia disminuyendo el asentamiento en al menos 30 mm. Este se produce debido a que las fibras poseen mayor cohesión entre las partículas del hormigón mejorando la resistencia a la segregación.
- El A.C.I en su Reporte en Hormigón Reforzado por Fibras (544.1R-96), recomiendan una adición mínima de 0,1% del volumen de hormigón. Se partió de este valor para encontrar una dosificación óptima que aporte mayor resistencia y a la vez una buena trabajabilidad al hormigón. Se determinó que en dosificaciones mayores a 1,2 kg/m³ de hormigón (0,13%) no producen resistencias más altas, por tanto al adicionar cantidades mayores de fibra no establece un aumento en la resistencia del hormigón, por el contrario podrá presentar una disminución notoria en la trabajabilidad.

Según la tesis “COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU INFLUENCIA EN SUS PROPIEDADES

MECÁNICAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” de la autora M. Millán de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica , establece la siguiente conclusión:

- Una vez realizadas las dosificaciones con distintos porcentajes de fibra de polipropileno se concluye que el 0,23% es el porcentaje óptimo tanto para compresión como para tracción, mientras que para flexión el porcentaje óptimo fue de 0,25%, sin embargo considerando que la flexión es una combinación de la resistencia a la compresión y tracción, se recomienda utilizar el 0,23% de fibra de polipropileno.
- A medida que se incrementa la concentración de fibra en el hormigón después del porcentaje óptimo de fibra de polipropileno determinado, se pudo apreciar que la resistencia a compresión y tracción disminuye debido a que aumenta el contenido de aire en la mezcla, el cual crea menor adherencia entre la matriz cementante y la fibra.
- Con el objetivo de comparar el comportamiento mecánico del hormigón simple con el hormigón reforzado con fibras se llevó a cabo la rotura a compresión de varias muestras cilíndricas evidenciándose que la rotura de las probetas con fibras tienen la capacidad de mantenerse unidas pese al agrietamiento producido con relación a las probetas de hormigón simple, debido a que la fibra de polipropileno actúa como una red que une a la mezcla manteniéndolo como un solo elemento por un mayor tiempo, haciendo así más difícil su destrucción lo cual se convierte en un factor de seguridad en el caso de un desastre natural.

Según el artículo “INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADOS PLÁSTICO Y ENDURECIDO” de los autores C. Mendoza, C. Aire, P. Dávila. Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo. México (2011), vol. 2, pp. 35-47 concluye que:

- La resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson y la deformación unitaria a la falla por compresión aumenta en 1.15% por la adición de fibras hasta para consumos de 5 kg/m³.
- La resistencia del concreto al impacto se incrementa en un 2% con la adición de fibras de polipropileno, para consumos de fibra de 5 kg/m³ de concreto.

Según el reporte “STATE-OF-THE-ART REPORT ON FIBER REINFORCED CONCRETE ” ACI Committee 544, (2002), pp. 39-56 menciona que:

- Los materiales compuestos que contienen fibras de polipropileno en porcentajes en volumen que van desde 0.1 a 10.0 por ciento, las propiedades de los materiales se ven afectados por el volumen de fibra, geometría de la fibra, el método de producción y composición de la matriz.
- El concreto con adición de fibra falla en un modo más dúctil, los cilindros de concreto suelen romperse debido a su incapacidad para absorber la energía, los cilindros de concreto con fibra soportan mayor carga y grandes deformaciones sin romperse en pedazos.
- Se informó que, por una mezcla de concreto específica tanto para concreto simple y concreto con fibras, las altas cantidades de la fibra (2,0 por ciento en volumen) produjo concreto con capacidad de trabajo más pobre, más asentamiento y la separación de los componentes fue mayor por el aire atrapado en la mezcla (13,9 por ciento), y la unidad de peso fue inferior, esto dio lugar a una disminución de la fuerza de compresión. Esta observación indica la importancia de ajustarse a las proporciones globales cuando se utiliza cantidades altas de fibras. Las proporciones de mezclas óptimas deben obtenerse por ensayos cuando se utilizan volúmenes de fibra más altas. Se demostró que no hubo una reducción en la fuerza de compresión cuando se adicionan fibra de 0,1 a 1,0 por ciento de volumen de hormigón.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo forma parte de una investigación experimental, destinada a analizar el comportamiento del concreto reforzado con fibras de polipropileno expuesto a altas y bajas temperaturas, así como también, expuesto a ambientes salinos.

Las fibras están elaboradas de acero, plástico, vidrio y otros materiales. Varios artículos han demostrado que la adición de fibras en 0.1-0.2 % por volumen, mejoran las características del concreto reforzado con dichas fibras, son más firmes, tienen mayor resistencia al agrietamiento y al impacto. El uso de fibras ha aumentado la versatilidad del concreto al disminuir su fragilidad. Una varilla proporciona refuerzo solo en la dirección de la varilla, mientras que las fibras distribuidas aleatoriamente proporcionan resistencia adicional en todas las direcciones. [4]

Por otra parte, el uso del hormigón reforzado con fibras está avanzando, debido a varios factores, al constante incremento del precio del acero estructural y de sus derivados para el refuerzo del concreto, a las nuevas tendencias constructivas, a los requerimientos actuales de la industria de la construcción y a la gran variedad de fibras, que ha entrado en competencia con las fibras de acero más tradicionales. [5]

Las investigaciones realizadas en otros países, sobre hormigón reforzado con fibras, alentaron a que nuestro país, para ver la posibilidad de encontrar un material de construcción con mejores propiedades y costos menores a los existentes. Así es que diversas instituciones Ecuatorianas, tanto públicas como privadas, han realizado estudios con la finalidad de satisfacer las necesidades, de cumplir con los parámetros de construcción en obra. Un ejemplo relevante de esto son las investigaciones realizadas por el entonces Instituto Ecuatoriano de Electrificación, INECEL, sobre hormigón con la incorporación de fibras de acero, como una posible alternativa de utilización en el desagüe de fondo de la presa, así como también en el recubrimiento de los túneles de acceso a la casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Agoyán, en la provincia de Tungurahua, por el año de 1985. [6]

Las fibras de polipropileno consiguen controlar las fisuraciones superficiales del hormigón por retracción, otra aplicación es de aumentar la resistencia al fuego de los hormigones de alta resistencia, las fibras plásticas al quemarse, reducen su tamaño, por lo que dejan espacios para la expansión evaporación de agua contenida en el hormigón, evitando su deterioro superficial. [7]

Un ambiente severo contempla ambientes húmedos con hielo de agua dulce y agentes de deshielo; ambientes marinos; ambientes urbanos con alta condensación de gases agresivos; y, estructuras en contacto con suelos también agresivos. [8]

Los ciclos de congelamiento y deshielo son considerados uno de los factores físicos más destructivos del concreto, especialmente cuando el material mantiene un estado de saturación casi completa. [8] Cuando la temperatura ambiental disminuye por debajo de 0°C, el agua que se encuentra en los poros del concreto se congela, provocando un aumento de volumen del 9 por ciento, como consecuencia origina esfuerzos de tensión provocando grietas y el desprendimiento del concreto y en casos más graves puede producir una desintegración del concreto. [9] La durabilidad e impermeabilidad están relacionados con la relación agua- cemento, para que el concreto sea resistente al congelamiento, debe tener una máxima relación agua – cemento, por peso para concretos de peso normales 0.45 y una resistencia mínima a compresión de 31MPa. El contenido de aire demasiado pequeño no protegerá al concreto del congelamiento, por ello es necesario saber el contenido de aire recomendado para que el concreto sea resistente a la congelación, para un agregado de tamaño ¾ pulg. el contenido de aire es de 6.0% expuesto a ambiente severos. [10]

La durabilidad del hormigón en ambiente marino es muy importante, debido a que los mares y océanos ocupan el 80% del planeta tierra, las actividades humanas se han ubicado en zonas costeras. La agresividad del ambiente marino se debe a las sales que lleva disuelta el agua de mar: cloruro sódico, cloruro magnésico, sulfato magnésico, sulfato cálcico, cloruro potásico, sulfato potásico y bicarbonato cálcico. Esta agresividad se divide en dos tipos: la relativa a la degradación del hormigón por la acción de las sales agresivas y otra por los procesos de corrosión debido a la humedad ambiental y el aporte de cloruros. [11] Cada una de estas acciones provoca un aumento

de la permeabilidad del hormigón, lo que contribuye a que progrese el ataque, la corrosión de las armaduras suele ser la principal causa de deterioro del hormigón en estructuras de hormigón armado expuestas al agua de mar. [12]

Así se ve la necesidad de conocer el comportamiento del concreto con fibras de polipropileno expuesto a ambientes severos, y así optimizar económica y técnicamente el uso de recursos y conseguir satisfacer las especificaciones que en obra se requieran, así como también , cumplir con las solicitaciones para las cuales fueron diseñadas, por ello, es necesario realizar un estudio detallado para evitar un posible desplome de la obra por posibles fisuras, así como también, la aparición de diferentes patologías en el concreto , y afirmar que las obras sean seguras, sin exponer las vidas humanas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos durante la etapa de curado: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar algunas de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno, después de ser expuesto a ambientes severos.
- Observar los mecanismos de fallas en el concreto reforzado con fibras de polipropileno, ensayado a compresión después de 7, 14,28 días de curado.
- Comparar el comportamiento concreto reforzado con fibras de polipropileno expuesto a ambientes salinos, altas temperaturas, ambiente congelado, ante las condiciones normales.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. FIBRAS

La norma ASTM C 1116 define las fibras como: "Filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco." [13]

El ACI 544 menciona como fibras para el hormigón los filamentos discontinuos de acero, fibras sintéticas, de vidrio y naturales. [13]

La fibra es un pequeño fragmento de material de refuerzo, pueden ser circular o plana.

La fibra es a menudo definida por un parámetro llamado "relación de aspecto". [14]

2.1.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS

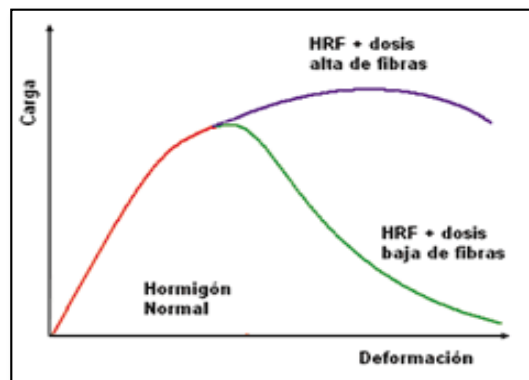
Para el uso efectivo de fibras en el concreto endurecido se deben tener contempladas las siguientes características:

- El módulo de elasticidad de la fibra debe ser superior a la matriz, es decir, es un aglutinante de hormigón o mortero, que ayuda a soportar la carga mediante el aumento de la resistencia a la tracción del material.
- El contenido de fibras por volumen debe ser proporcionado (0.1- 0.2%), La cantidad de fibras añadidas a una mezcla de hormigón se mide como un porcentaje del volumen total del material compuesto (hormigón y fibras), las

fibras que son demasiado largas tienden a "agruparse" en la mezcla y crean problemas de trabajabilidad.

- La longitud de las fibras debe ser adecuada, las fibras de $\frac{3}{4}$ " de largo fueron más efectivas que $\frac{1}{2}$ " para volúmenes de 0.3 por ciento o menos. [15]
- Las fibras deben tener una alta relación de aspecto, varía de 30 a 150; es decir, deben ser largas con relación a su diámetro. Relación de aspecto (L / D) se calcula dividiendo la longitud de fibra (l) por su diámetro (d). [14]

GRAFICO # 1: Curva Típica Esfuerzo-Deformación para Hormigón Reforzado con Fibras.



Fuente.- Introducción sobre hormigón Autocompactante (HAC) y Hormigón Reforzado con Fibras (HRF), pp 5.

2.1.1.2. PROPIEDADES DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

A continuación se citan algunas de las propiedades del Concreto Reforzado con Fibras FRC:

- **Fuerza de compresión.-** La presencia de fibras puede alterar la forma de falla de los cilindros, la adición de fibras al concreto mejora los resultados de los ensayos a compresión (de 0 a 15%).
- **Módulo de elasticidad.-** Se incrementa con un aumento en el contenido de fibras. Se encontró que por cada aumento de 1% en el contenido de fibra en volumen haya un aumento del 3% en el módulo de elasticidad.

- **Flexión:** La resistencia a la flexión se incrementó en 2,5 veces utilizando un 4 % de fibra.
- **Resistencia a la tracción.-**La presencia de 3% de fibra por volumen de concreto aumento la resistencia a la tracción de mortero, aproximadamente 2,5 veces en comparación al concreto sin fibra.
- **Resistencia al impacto.-** La resistencia al impacto para el concreto con fibra es generalmente de 5 a 10 veces mayor que la de concreto sin fibra. [16]

2.1.2. TIPOS DE FIBRAS

Se pueden clasificar de acuerdo a su materia prima en; Fibras Naturales: de origen animal, vegetal o mineral. Fibras Sintéticas: carbono, nylon, acrílico, Poliéster, polietileno, polipropileno.

2.1.2.1. FIBRAS NATURALES

Se llama fibra natural a los fragmentos, hebras o pelo, cuyo origen está en la naturaleza, y que pueden hilarse para dar lugar a hilos o cuerdas.

2.1.2.1.1. Fibras animales

Las fibras animales son aquellas fibras que provienen de los folículos pilosos o de glándulas de animales, que luego de ser extraídas son procesadas para construir un producto de aplicación textil. Las pieles de los animales protegieron a los primeros seres humanos de las inclemencias climáticas.

Las fibras animales poseen algunas ventajas: aislantes térmicos, buen aislamiento acústico, son fibras ecológicas. Sus desventajas: baja resistencia a la fricción, sensibles a altas temperaturas, pueden ser atacadas por insectos y larvas. [17]

Las fibras animales más utilizadas en el Ecuador son:

- Lana de alpaca: Es ligera, más fuerte que la lana de oveja y provee excelente aislamiento.
- Lana de angora: Los pelos son ligeros, absorben bien el agua y secan fácilmente.
- Lana de oveja: tienen mayor grosor que otros textiles, proveen mejor aislamiento térmico, es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción) y son, elásticas y durables.
- Seda: Tiene buena absorción, baja conductividad térmica (capacidad de conducción de calor) y tiñe fácilmente. [18]

2.1.2.1.2. Fibras Vegetales

Las fibras vegetales están constituidas por ligamentos fibrosos, ricas en celulosa, se componen de microfibrillas dispuestas en fracciones de diferentes espesores y ángulos de orientación. [19]

Las fibras vegetales son estructuras alargadas de sección redonda, entre las fibras de origen vegetal están las que se extraen de los tallos, como el lino y el cáñamo; fibras de follajes, como el sisal; y fibras de cáscaras, como la estopa de coco. [19]

Las fibras vegetales presentan ventajas productivas: disponibilidad, bajos costos de adquisición y facilidad de procesamiento, físicas: baja densidad, características de aislamiento y resistencia estructural. [20]

TABLA N° 1: Propiedades físicas de las fibras vegetales.

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Módulo de elasticidad(GPa)	Resistencia a la tracción(MPa)	Alargamiento a rotura (%)
Algodón		4.98-10.92	264-654	3.0-7.0
Lino		24.00	300-900	2.7-3.2
Cáñamo	1.48		285	1.3
Sisal	1.45	10.40	44-552	2.0-2.5
Plátano	1.35	20.00	550	5.0-6.0
Piña	1.53	4.20	413	3.0-4.0
Yute		43.80	342-672	1.7-1.8

Fuente.- Quinto Congreso Internacional de Fibras Naturales, “Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos”, pp 4.

2.1.2.1.3. Fibras minerales:

Son aquellas que no se fracturan longitudinalmente en fibras de menor diámetro, pero pueden fragmentarse en forma transversal en segmentos más cortos. Son de estructura cristalina donde los átomos, moléculas o iones que componen el sólido se disponen según un orden regular.

Poseen estas características: Son muy ligeras, incombustibles, y no son inflamables. [21]

Las fibras minerales más representativas son:

Fibras de acero.- Se definen por sus dimensiones su diámetro varía desde entre 0.25 y 0.80 mm y entre 10 y 75 mm de longitud, la longitud de la fibra se recomienda que sea como mínimo dos veces el árido de mayor tamaño, aunque es habitual el empleo de longitudes de hasta tres veces el tamaño máximo del árido. [1]

Posee algunas características:

- **Relación de esbeltez:** Las fibras de acero encoladas con una relación l/d de 65 son fáciles de mezclar, al mismo tiempo que proporcionan un hormigón con fibra de acero notablemente mejorado. [22]
- **Resistencia a compresión del acero:** La adición de fibras de acero solo produce un leve incremento de hasta el 10 % en comparación con un concreto convencional. [23]
- **Resistencia a tracción del acero:** La resistencia a tracción de las fibras depende de la calidad del acero. Para un contenido bajo o medio de carbono, la resistencia a tracción oscila entre 400 y 1500 MPa. Incrementando el contenido de carbono se pueden alcanzar resistencias de 2000 MPa, siendo este tipo de fibras adecuadas para hormigones de alta resistencia.
- **Módulo de elasticidad:** Se indica que la incorporación de volúmenes bajos de fibras de acero (0,3%, 0,5% y 0,7%) genera un leve incremento del módulo de elasticidad de la mezcla adicionada de referencia, este aumento fue 12% para la mezcla en donde se incorporó una dosis de fibras de 0,7% (en volumen), la

cual presentó un valor de módulo de elasticidad secante de 24,17 GPa en comparación al concreto adicionado de referencia que alcanzó un valor de módulo de 21,47 GPa. [24]

Fibras de vidrio.- Son incombustibles, no absorbentes y químicamente estables. Resisten el ataque de insectos, roedores y hongos. [25]

- Sus dimensiones su diámetro varía desde 0,014mm y entre 12 mm de longitud. [26]

Las propiedades que aportan al concreto las fibras de vidrio son:

- Las fibras de vidrio disminuyen el agrietamiento del hormigón por contracciones plásticas, esto ocurre cuando el concreto está en un estado plásticos el agua se evapora y provoca la contracción en la superficie del concreto, sometiéndola a grandes esfuerzos internos en una etapa en la que aún no ha alcanzado la suficiente resistencia a la tensión para soportarlos, y por lo tanto esta superficie se agrieta.
- Tienen un módulo elástico aproximadamente 10 veces superior al polipropileno.
- Las resistencias a la flexión muestran un incremento del 15% superior a la probeta de sin fibras. Las mejoras de la resistencia se deben a la disminución en un 25% de la exudación, la exudación (es una forma de segregación de sus componentes en la que el agua tiende a subir hacia la superficie del concreto al no poder arrastrarla los áridos al irse compactando). [26]

2.1.3. FIBRA SINTÉTICA

Las fibras sintéticas son filamentos continuos de polímeros termoplásticos de alto peso molecular obtenidos por procesos de síntesis química a partir de productos producidos en la industria petroquímica.

2.1.3.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAS FIBRAS SINTÉTICAS:

1. Inicialmente se realiza un proceso químico denominado polimerización, que es la formación de macromoléculas de los componentes de la fibra en estado líquido espeso.
2. Se continúa con el proceso de hilado, pasando el líquido espeso a través de una hilera o tobera que es un dispositivo con cientos de orificios que determina el diámetro del filamento. El líquido es retenido a través de los orificios de hilera y sale un filamento de líquido en forma de cadena.
3. Posteriormente un proceso de torsión dobla a la fibra de filamento en un hilo. El filamento cae verticalmente desde la hilera y se ve atrapado en una boquilla de vacío grande. La fuerza de vacío mantiene la tensión en la línea, ya que se enrolla alrededor de una bobina.
4. Y finalmente obtenemos el hilo doblado y se empaqueta. [27]

Según la autora M. Millán podemos incluir en el grupo de las fibras sintéticas: Nylon, Acrílico, Aramida, Poliéster, Polietileno y Polipropileno. [13]

TABLA N° 2: Propiedades de las fibras sintéticas.

Tipo de fibra	Diámetro Equivalente In.*10 ⁻³	Gravedad específica	Resistencia a la tracción Ksi	Módulo Elástico Ksi	Alargamiento Último %	Temperatura Combustión °F	Fundición, oxidación, o temperatura de descomposición °F	Capacidad de absorción por ASTM D570 % por peso
Acrílico	0.5-4.1	1.16-1.18	39-145	2000-2800	7.5-50.0	-	430-455	1.0-2.5
Aramida I	0.47	1.44	425	9000	4.4	Alto	900	4.3
Aramida II	0.40	1.44	340	17000	2.5	Alto	900	1.2
Nylon	0.90	1.14	140	750	20	-	392-430	2.8-5.0
Polyester	0.78	1.34-1.39	33-160	2500	12-150	1100	495	0.4
Polietileno	1.0-40.0	0.92-0.96	11-85	725	3-80	-	273	Nulo
Polipropileno		0.90-0.91	20-100	500-700	15	1100	330	Nulo

Fuente.- ACI, "Report on Fiber Reinforced Concrete", pp. 544.1R-40, literal 4.2. "Concreto reforzado con fibra sintética".

2.1.4. FIBRA DE POLIPROPILENO

Pertenece al grupo de las poliolefinas, se obtiene mediante la polimerización de hidrocarburos insaturados como el propileno o propeno. Es un polímero termoplástico que a temperaturas relativamente altas 360 C, se vuelve deformable o flexible, es parcialmente cristalino. [28]

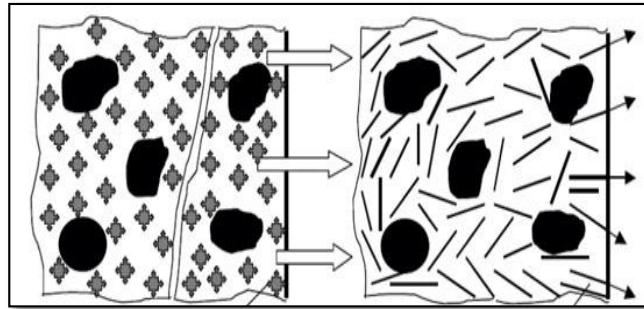
2.1.4.1. CARACTERISTICAS DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO

- Las fibras de polipropileno no son magnéticas, libre de óxido, álcalis resistentes, seguro y fácil de usar.
- Las fibras de polipropileno también son compatibles con cualquier concreto y aditivo químico y se pueden manejar con facilidad.
- Las fibras de polipropileno son químicamente inertes y, por tanto, cualquier químico que no destruya al concreto no tiene ningún efecto sobre la fibra, cuando más agresivo es el producto químico como: ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, que entran en contacto con el material compuesto, el concreto se deteriorara antes que las fibras.
- La superficie hidrófoba de fibras no absorben agua, no ser mojada por la pasta de cemento, ayuda a prevenir la formación de “bolas” que es la agrupación de las fibras. [29]

2.1.4.2. PROPIEDADES DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO

- **Punto de fusión.-** Oscila entre 160 a 166 ° C. contribuye a reducir el fenómeno de ”spalling” debido a que en el momento que se alcanzan los 160 °C las fibras de polipropileno se derriten reduciendo el volumen que ocupan. Al alcanzarse los 360°C el polipropileno se evapora creando una serie de conductos en el interior de la matriz que llegan hasta la superficie Grafico # 2. [30]

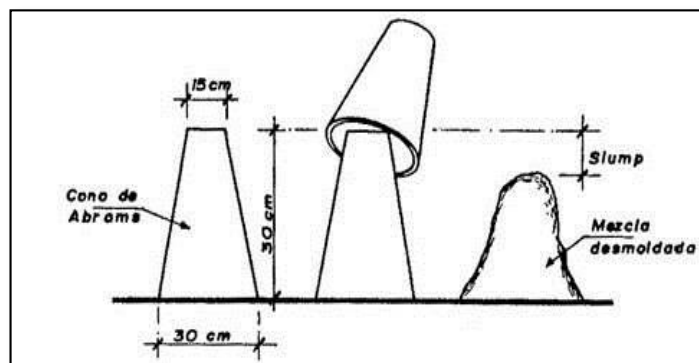
GRAFICO # 2: Flujo de la presión de vapor a través de las fibras de PP derretidos en el caso de incendio.



Fuente.- NBMCW, *Construction Information*, “Polypropylene Fiber Reinforced Concrete”.

- **Trabajabilidad.-** Con la adición de fibras, los huecos de aire atrapados aumentan y por lo tanto el contenido de aire incrementado reduce la trabajabilidad causando dificultad en la compactación de la mezcla. [29]

GRAFICO #3: Consistencia de Mezclas, Método del cono de Abrams.



Fuente.- http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams.

Resistencia a la Compresión.- Al adicionar las fibras de polipropileno al concreto en una proporción que va desde 0,1 a 2,0 por ciento en volumen, [28] aumenta su resistencia a la compresión del 4% al 17%. [29]

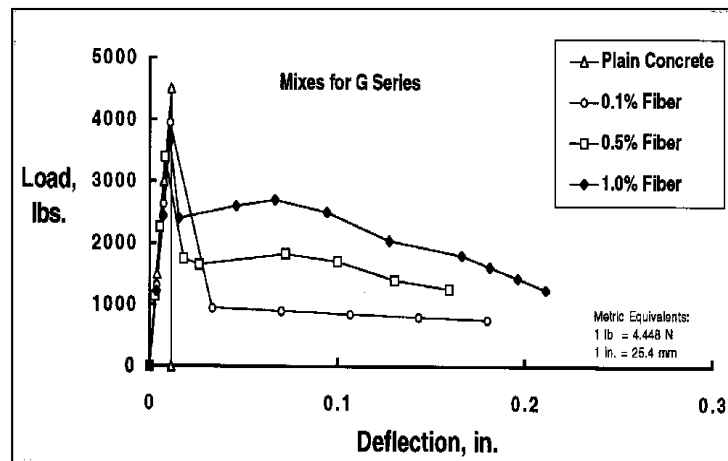
La adición de fibras de polipropileno tiene un efecto positivo sobre el modo y el mecanismo de falla en los cilindros de concreto en una prueba de compresión. El concreto con fibra falla en un modo más dúctil, al aplicar una carga soporta grandes

deformaciones. Mientras que los cilindros de concreto sin fibra fallan debido a una incapacidad para absorber la energía liberada por la máquina de ensayos. [28]

- **Resistencia a la flexión (módulo de rotura):**

En la fibra de polipropileno fibrilada con contenido de 0,1% en volumen de concreto, hubo un aumento en la resistencia a la flexión en 0,7 a 2,6%, y con la proporción de 0,2 a 0,3 % en volumen de concreto hubo una ligera disminución. El módulo de rotura con una proporción 0,1 a 0,3% en volumen en el concreto se determinó que a los 7 y 28 días fue ligeramente mayor utilizando polipropileno fibrilado. [28]

GRAFICO #4: Curva carga – Deflexión con fibras de polipropileno.



Fuente.- ACI, "Report on Fiber Reinforced Concrete", p. 544. IR-47, literal 4.3.7 "Polypropylene FRC".

- **Contracción plástica:** Se produce cuando el agua superficial se evapora antes de que el agua de exudación llega a la superficie. Las fibras de polipropileno reducen el área de la forma. La adición de 0,1% en volumen de fibras es eficaz para reducir el grado de agrietamiento por un factor de 5-10%. [31]

2.1.4.3. TIPOS DE FIBRA DE POLIPROPILENO.

TABLA N° 3: Propiedades de los tipos de fibras de polipropileno.

Tipo de fibra	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resistencia a la tracción(MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Superficie específica (m ² / kg)	Densidad (kg/cm ³)
Multifilamento	12-20	0,05-0,20	330-414	3,70-5,50	225	0,91
Fibrilada	19-40	0,2-0,3	500-750	5,00-10,00	58	0,95

Fuente.- NBMCW, Construction Information, "Polypropylene Fiber Reinforced Concrete".

- **Multifilamento:**

Fibra de polipropileno multifilamento es un polímero de hidrocarburo sintético, cuyas fibras se forman de la unión de monofilamentos obtenidos a través de procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel de sección circular.

Conocidas también como micro-fibras, ya que su diámetro es 0,050 mm, está conformada por un conjunto de filamentos de polipropileno son masas de fibras entrelazadas y sin ningún tipo de disposición ordenada. [13]

GRÁFICO #5: Aspecto de la fibra de polipropileno multifilamento.



Fuente: <http://www.hormigonespecial.com>

- **Fibrilada:**

Fibras de polipropileno fibriladas son el producto de un proceso de extrusión en el que la matriz es rectangular, dando como resultado fibras en forma cintas de diámetro

uniforme de 0.2 a 0.3mm, las que posteriormente son cortadas según la longitud requerida. [13]

GRÁFICO #6: Aspecto de fibra de polipropileno fibrilado.



Fuente: <http://www.hormigonespecial.com>

2.1.4.4. SELECCIÓN DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO

La fibra de polipropileno que vamos a utilizar en la investigación, es una fibra multifilamentos diseñada para ser mezclada como refuerzo de concretos y morteros con la finalidad de generar un compuesto homogéneo y controlar la fisuración por contracción. [32]

TABLA N° 4: Propiedades de la Fibra Multifilamento Polipropileno.

	PROPIEDADES FÍSICAS	
	Diámetro (mm)	0,018
	Largo(mm)	12
	Alargamiento%	80
	Peso específico (gr/cm ³)	0.91
	PROPIEDADES MECÁNICAS	
	Temperatura de fusión (°C)	160
	Resistencia a tracción (Mpa)	300
	Módulo de elasticidad (Mpa)	3000

Fuente.- Maccaferri America Latina "Fibro Mac 12".

2.1.5. ENSAYO DE MATERIALES

Se denomina ensayo de materiales a toda prueba cuyo fin es determinar las propiedades mecánicas de un material. [33]

El ensayo de los materiales tiene dos objetivos: el estudio y el control de los materiales. El estudio de los materiales es la fase científica del ensayo de los materiales, ella investiga las propiedades de los materiales. El ensayo de control se trata de comprobar si un material dado responde a ciertas especificaciones que describen las características básicas, que el mismo se debe ajustar. [34]

Los ensayos de materiales pueden ser de dos tipos, ensayos destructivos y ensayos no destructivos. El ensayo no destructivo permite realizar la inspección sin perjudicar el posterior empleo del producto, por lo que permiten inspeccionar la totalidad del material. Los ensayos destructivos la parte del material que es sometida a ensayo se destruye y se desecha, los ensayos típicos son: ensayo de tracción, compresión y torsión. (*Ensayos mecánicos*); ensayos de propiedades térmicas; ensayos de propiedades eléctricas; ensayos de resistencia a la corrosión, la radiación y el deterioro biológico. [35]

2.1.6. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Se denomina propiedades de los materiales a la constitución de los materiales estructura atómica que da origen a la conformación cristalina de los metales y aleaciones o las cadenas características de los materiales orgánicos que dan comienzo a los materiales fibrosos y metaloides.

Determinar las propiedades del material no solo implica hallar las propiedades físicas que lo caracterizan. Es importante desde el punto de vista técnico, determinar sus características mecánicas y tecnológicas; tal es el caso de la resistencia a la tracción y la capacidad de alargamiento de un acero, la aptitud de una aleación para sufrir deformaciones durante el proceso de estampado, o bien la capacidad que tiene una viga de hormigón armado para deformarse por flexión sin que aparezcan fisuras inadmisibles en la zona traccionada.

Desde el punto de vista de la clasificación de los materiales es muy amplio y pueden agruparse de la siguiente forma:

- Físicas: forma, dimensiones, densidad, masa específica, peso específico, porosidad, contenido de humedad etc.
- Químicas: composición, toxicidad, resistencia a la corrosión, a la oxidación.
- Mecánicas: elasticidad, plasticidad, dureza (resistencia a ser rayado), resistencia mecánica o resistencia a la rotura frente a esfuerzos mecánicos (tracción, compresión, corte, flexión, impacto), tenacidad (resiliencia o resistencia al choque), resistencia a la fatiga (variación de la tenacidad con el tiempo o la repetición de ciclos de trabajo). [34]

2.1.7. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Las propiedades mecánicas de los materiales es la capacidad de cada material en estado sólido a resistir acciones de cargas o fuerzas. [36]

Las propiedades mecánicas pueden definirse específicamente como aquellas que tienen que ver con el comportamiento elástico o inelástico de un material bajo fuerzas aplicadas. Las propiedades mecánicas se expresan en términos de cantidades que son funciones del esfuerzo o de la deformación o ambas simultáneamente.

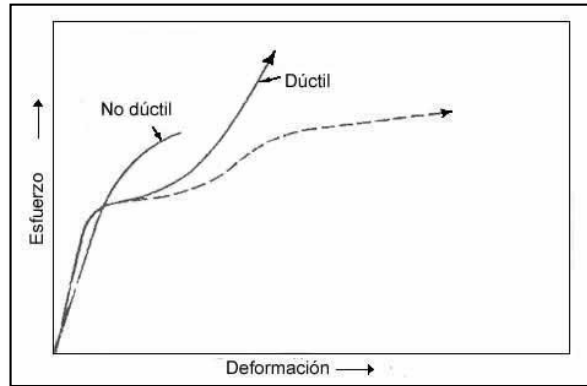
Las propiedades mecánicas de algunos materiales resultan afectadas por las condiciones de humedad; la resistencia de materiales como el concreto, el ladrillo, la piedra y la madera resulta marcadamente influida por la humedad del material. [37]

Las propiedades mecánicas fundamentalmente son la resistencia, la rigidez, la elasticidad, la plasticidad y la capacidad energética.

- **La resistencia a la tensión:** es el máximo esfuerzo de tensión que un material es capaz de desarrollar.

- **Resistencia a la compresión:** Es el máximo esfuerzo de compresión que un material es capaz de desarrollar.

GRÁFICO #7: Diagramas de esfuerzo - deformación de materiales dúctiles y frágiles ensayados a compresión hasta la rotura.



Fuente. <http://propiedadesmaterialesdeconstruccion.blogspot.com/2013/04/propiedades-mecanicas-de-los-materiales.html>

- **Rigidez:** Tiene que ver con la deformación relativa de un material bajo carga. Se le mide por la velocidad del esfuerzo con respecto a la deformación. Mientras mayor sea el esfuerzo requerido para producir una deformación dada, más rígido se considera que es el material.
- **Elasticidad:** La elasticidad se refiere a la capacidad de un material de deformarse no permanentemente al retirar el esfuerzo.
- **Plasticidad:** La plasticidad es aquella propiedad que permite al material sobrellevar deformación permanente sin que sobrevenga la ruptura. Las evidencias de la acción plástica en los materiales estructurales se llaman deformación, flujo plástico y creep.
- **Capacidad energética:** capacidad de un material para absorber o almacenar energía. La cantidad de energía absorbida al esforzar un material hasta el límite elástico, o la cantidad de energía que puede recobrase cuando el esfuerzo es liberado del límite elástico, es llamada la resiliencia elástica. La energía

almacenada por unidad de volumen en el límite elástico es el módulo de resiliencia.

El módulo de resiliencia es una medida de lo que puede llamarse la resistencia a la energía elástica del material y es de importancia en la selección de materiales para servicio, cuando las partes están sometidas a cargas de energía, pero cuando los esfuerzos deben mantenerse dentro del límite elástico. [38]

2.1.8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

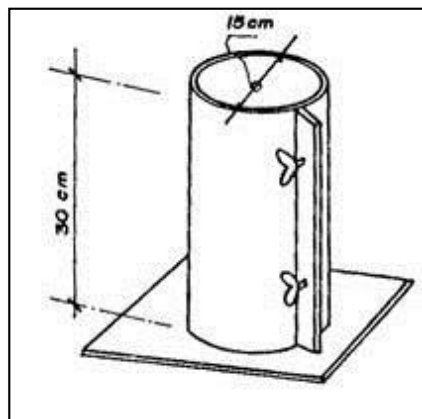
Consiste en aplicar a la probeta, en la dirección de su eje longitudinal, una carga axial de compresión que tiende a provocar un acortamiento de la misma y cuyo valor se irá incrementando hasta la rotura o suspensión del ensayo.

En el caso de materiales frágiles, el límite de resistencia a compresión es superior al de la resistencia a tracción. [39]

2.1.8.1. LIMITACIONES EN LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN

La resistencia a compresión es una de las propiedades más difíciles de determinar. Una carga ligeramente excéntrica provocara una rotura prematura a pandeo antes que la rotura intrínseca la compresión. [40]

GRÁFICO #8: Moldes de acero, para la elaboración de probetas de ensayo.



Fuente.- <http://civilgeeks.com/2011/12/04/introduccion-a-la-tecnologia-del-concreto/>

Para los ensayos a compresión se escogen probetas cubicas o cilíndricas de poca altura $h \leq 2d$, puesto que en el caso de probetas más altas puede ocurrir flexión. El empleo de probetas muy bajas no es deseable, puesto que, las fuerzas que originan la fricción, que se desarrollan en los extremos de la probeta, obstaculizan su libre ensanche y como consecuencia la probeta adquiere la forma de un barril. [41]

2.1.8.2. REQUERIMIENTOS PARA PROBETAS DE COMPRESIÓN.

Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas. Sin embargo, la sección cuadrada o rectangular se usa frecuentemente y para piezas manufacturadas, tales como el azulejo, ordinariamente no resulta posible cortar probetas que se ajusten a ninguna forma en particular.

El tamaño real de las probetas depende del tipo de material, del tipo de mediciones a realizar, y del aparato de ensayos disponible. Para materiales homogéneos para los cuales se requiera solamente la resistencia última, pueden usarse probetas pequeñas. El tamaño de las probetas de materiales heterogéneos debe ajustarse al tamaño de las partículas componentes o agregados.

Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad los cilindros deben ser de 150 mm x 300 mm , se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma NTE INEN 1 576:2011 y la norma ASTM C31 “Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayos de concreto en campo”. [42]

2.1.8.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.

La **resistencia a la compresión simple** es la característica mecánica principal del concreto, se calcula la resistencia compresión de un especímenes dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm². [43]

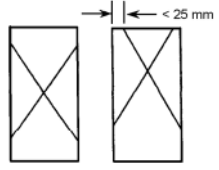
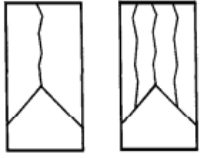

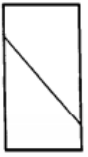
Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, $f'c$, del proyecto.

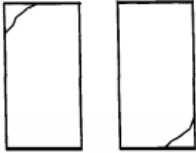

Para estimar la resistencia a compresión de concreto in situ, la Norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado de campo. Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo a ASTM C39, Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas cilíndricas de Concreto. [39]

2.1.8.4. FRACTURAS EN LOS CILINDROS DE CONCRETO

La fractura es la separación de un sólido bajo tensión en dos o más piezas.

GRÁFICO #9: Esquema de los modelos típicos de fractura.

 <p>Tipo 1</p>	<p>Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales de menos de 25mm</p>
 <p>Tipo 2</p>	<p>Conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, cono no bien definido en el otro extremo</p>
 <p>Tipo 3</p>	<p>Fisuras verticales en columnas a través de ambos extremos, conos mal formados.</p>
 <p>Tipo 4</p>	<p>Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes;</p>

 <p>Tipo 5</p>	<p>Fractura a los lados, en el extremo superior o en el fondo</p>
 <p>Tipo 6</p>	<p>Fractura en los dos extremos del cilindro.</p>

Fuente.- Norma NTE INEN 1573

2.2. HIPÓTESIS

Las fibras de polipropileno en el concreto expuesto a ambientes severos influirán en su resistencia a compresión.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Fibras de polipropileno

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

La Resistencia a compresión

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según los fundamentos de metodología de la investigación [44], se analizará los tipos de investigación que se detallan a continuación:

3.1.1. TIPO EXPLORATORIO.

Examina un tema o problema de investigación poco estudiado, sirve para familiarizarnos con fenómenos desconocidos.

Esta investigación será exploratoria, porque hay escasa información de los concretos reforzados con fibras de polipropileno por ello esta investigación permitirá examinar la resistencia a compresión del concreto con esta característica y curado en ambientes agresivos.

3.1.2. TIPO DESCRIPTIVO.

Busca especificar las propiedades, características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier fenómeno que es sometido a un análisis. Se centra en recolectar datos que muestren un evento, un fenómeno.

Esta investigación será descriptiva, porque recolectará información de ensayos de compresión y las propiedades mecánicas más representativas del concreto con fibra y sin fibra, curado en condiciones normales, en frío, en caliente y ambiente salino.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN.

En la presente investigación la población son probetas cilíndricas de concreto, para un mejor estudio nos enfocaremos en los concretos reforzados con fibras. Se elaborarán los especímenes de acuerdo a la norma NTE INEN 1576 “Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo”.

3.2.2. MUESTRA.

Se elaboraran los especímenes de acuerdo a la norma NTE INEN 1855-1 o NTE INEN 1855-2 donde menciona que “Para cada ensayo de resistencia deben elaborarse por lo menos dos especímenes de ensayo”, en esta investigación se realizaran tres especímenes para tener mayor seguridad en los resultados, el ensayo a compresión será el resultado del promedio de las resistencias de los especímenes ensayados a la edad especificada.

La muestra consta de 36 especímenes, nueve especímenes curados en cada ambiente agresivo: ambiente salino, ambiente frio, ambiente con alta temperatura y ambiente en condiciones normales, los mismos que serán ensayados a los 7, 14, 27 días de curado de manera proporcional.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

TABLA N° 5: Fibras de polipropileno.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumento
Pertenece al <u>grupo de las poliolefinas</u> , se obtiene mediante la polimerización de hidrocarburos insaturados como el propileno o propeno. Es el polímero termoplástico que a <u>temperaturas relativamente altas</u> , se vuelve deformable o flexible.	Tipos de fibra	Fibra fibrilada: -12mm -20mm -40mm	¿Cuál es la longitud recomendada de la fibra fibrilada?	-Investigación bibliográfica. -Observación de laboratorio. -Fichas de registro.
		Fibra multifilamento: -0,05mm -0,20mm -0,30mm	¿Cuál es el diámetro adecuado para esta investigación?	-Investigación bibliográfica. -Normas INEN, ASTM. -Fichas de registro.
	Propiedades de la fibra	Consistencia: Seca 0-2 cm Plástica 3-5cm Blanda 6-9 cm Fluida 10-15cm Líquida >16cm	¿Cuál es la consistencia del concreto cuando se incluya las fibras de polipropileno?	-Observación de laboratorio. -Fichas de registro.

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

TABLA N° 6: Resistencia a compresión.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumento
<p>Consiste en aplicar una carga axial al espécimen, en la dirección de su eje longitudinal, que provoca un acortamiento de la misma y cuyo valor se irá incrementando hasta la rotura, nos permite <u>determinar la resistencia</u> de los materiales como las deformaciones del espécimen.</p>	Resistencia a compresión del concreto	<p>Tipos de fractura.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tipo 1 -Tipo 2 -Tipo 3 -Tipo 4 -Tipo 5 -Tipo 6 	<p>¿Cuáles son los tipos de fracturas que se presenta en el concreto sometido a compresión?</p>	<p>-Observación de laboratorio.</p> <p>-Normas INEN 1573</p> <p>-Fichas de registro.</p>
		<p>Esfuerzo esperado</p> <ul style="list-style-type: none"> -7 65-75% f'c -14 80-90% f'c -28 95-105% f'c 	<p>¿Cuál es el esfuerzo máximo puede soportar los cilindros de concreto adicionando fibras?</p>	<p>-Normas INEN 1573.</p> <p>-Ensayos de laboratorio.</p> <p>-Fichas de registro.</p>
	Limitaciones en los ensayos a compresión	<p>Dimensiones de las probetas:</p> <ul style="list-style-type: none"> -150*300mm -100*200mm 	<p>¿Cuáles son las dimensiones de las probetas que se utilizara en esta investigación?</p>	<p>Normas INEN 1576</p> <p>Investigación de laboratorio</p>

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

TABLA N° 7: Preguntas Directrices

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - El comportamiento del concreto con fibras expuesto a ambientes severos. - Determinar la resistencia a compresión. - Analizar las propiedades como: trabajabilidad y consistencia del concreto con fibra. - Tipos de fracturas.
2. ¿Sobre qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Los elementos constitutivos del concreto agregado grueso, agregado fino, agua, fibras de polipropileno.
3. ¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> - Influencia de las fibras de polipropileno multifilamento, en los tipos de falla de los cilindros de concreto. - La resistencia a compresión del concreto con fibra de polipropileno. - Densidad de las probetas después de ser curadas en ambientes severos.
4. ¿Quién evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Egresada: Jessica Mestanza - Tutor: ing. Mg. Diego Chérrez
5. ¿A quiénes evalúan?	<ul style="list-style-type: none"> - A las 36 probetas normalizadas elaboradas con fibra de polipropileno, que has sido curadas en diferentes ambientes severos y que han adquirido su resistencia final.
6. ¿Dónde evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratorio de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
7. ¿Cómo y con qué?	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación bibliográfica - Normas INEN, ASTM - Ensayos de laboratorio - Herramienta menor. - Máquina de compresión. - Moldes metálicos para cilindros. - Cámaras de curado.

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

3.5. PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

- Revisión crítica de la información recogida; es decir escoger la información conveniente para la investigación y rechazar la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Tabulación de los valores obtenidos según variables de la hipótesis: manejo de información.
- Representar los resultados mediante gráficos estadísticos.

3.5.2. PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Analizar e interpretar los resultados relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.
- Verificación de la Hipótesis dependiendo de los resultados obtenidos en la investigación.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la elaboración de los especímenes, se debe especificar la dosificación adecuada para obtener las cantidades óptimas de los materiales, para la dosificación detallaremos la información requerida de los ensayos y que cumplan con las especificaciones normadas por el código, los ensayos utilizados se detallaran a continuación:

4.1.1. ENSAYOS EMPLEADOS PARA LA DOSIFICACIÓN

Granulometría

La granulometría se emplea para determinar el tamaño de los agregados que lo componen, mediante el tamizado de una muestra, por los tamices de la Serie de Tyler, o los especificados INEN 696.

Para el agregado grueso se utilizara los tamices 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y #4. Adicionalmente se determina el Tamaño nominal máximo, es el tamaño del tamiz comercial anterior al primer tamiz en el que hubo el 15% o más retenido.

De acuerdo a la Norma ASTM E - 11, para el agregado fino se usarán los tamices #4, #8, #16, #30, #50 y #100. Posteriormente se determina el módulo de finura, del agregado fino como la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8", 3/4", de acuerdo a la Norma ASTM C - 125.

Se recomienda que el módulo de finura debe estar entre 2,3 y 3,1; para su uso en concretos, si el módulo de finura disminuye el agregado es más fino y por tanto la superficie específica aumenta. [45]

Densidad de los agregados.

La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano de agregado.

$$\delta = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. 1 [45]}$$

Donde:

δ = Densidad de la muestra.

m= masa unitaria de la muestra.

v= volumen del recipiente.

A continuación detallaremos las densidades que emplearemos en el presente estudio:

- Densidad aparente de los agregados.

Se trabajará con la norma NTE INEN 0858, es aparente debido a que quedan vacíos entre las partículas de agregado, esta densidad puede ser suelta o compactada.

La densidad suelta: se obtiene sin compactar las partículas, donde obtendremos más vacíos, para ellos se llena el recipiente con el agregado únicamente con una pala, y luego enrasamos a nivel del borde del recipiente.

Densidad compactada: se obtiene compactando las partículas, donde obtendremos menos vacíos, se compacta la muestra en tres capas cada una con 25 golpes y se registra el peso del recipiente vacío y lleno. [45]

Densidad Real de los Agregados

- Densidad Real del Agregado Grueso

Se realiza en base a la norma NTE INEN 0857. La densidad real de los agregados, es relación entre la densidad (SSS) de los agregados y la densidad del agua. Se emplea el método de la canastilla para la determinar la densidad real del agregado grueso que consiste en sumergir una muestra de agregado previamente seca, en agua por 24 h \pm 4

h, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas hasta que los agregados estén en estado SSS (saturado superficialmente seco) y se determina su masa. Luego, se determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua.

Un buen agregado grueso tiene una densidad real mayor a 2.6 g/cm^3

La capacidad de absorción se utiliza para determinar los cambios en la masa de un árido debido al agua absorbida por los poros de las partículas constitutivas.

El porcentaje de humedad libre se determina restando el valor de la absorción, del valor total de humedad que contiene el agregado

- **Densidad Real del Agregado Fino**

De acuerdo a la norma NTE INEN 0856. La densidad real es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en las mezclas que contienen agregados. Para la determinación de la densidad real se emplea el método del picnómetro que consiste en: Llenar parcialmente el picnómetro con agua. Introducir en el picnómetro la muestra de agregado fino en estado SSS (Saturado Superficialmente Seco), llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitar, rodar e invertir el picnómetro (o utilizar una combinación de estas tres acciones) para eliminar las burbujas visibles de aire.

El agregado fino debe tener densidades reales entre $2,4$ y $2,9 \text{ g/cm}^3$

La capacidad de absorción se utiliza para determinar los cambios en la masa de un árido debido al agua absorbida por los poros de las partículas constitutivas.

El porcentaje de humedad libre se determina restando el valor de la absorción, del valor total de humedad que contiene el agregado

Cuando más alta es la capacidad de absorción del agregado, este es de menor calidad.

Densidad Real del Cemento

La determinación de la densidad del cemento hidráulico consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido desalojado en el picnómetro.

De acuerdo a la norma NTE INEN 0156, para cemento Portland se requiere una muestra de 64g aproximadamente.

Para la determinación de la densidad real se emplea el método del picnómetro que consiste en: Llenar parcialmente el picnómetro con gasolina. Introducir en el picnómetro la muestra, llenar con gasolina adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitar, rodar e invertir el picnómetro (o utilizar una combinación de estas tres acciones) para eliminar las burbujas visibles de aire.

4.1.2 DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA

Este Método tiene por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir un concreto que posean determinadas características de consistencia, compactación, resistencia y durabilidad.

El procedimiento empleado formulas requeridos para el cálculo de la dosificación:

Densidad Real del Agregado (DRAg): es el resultado de la densidad real de los agregados por su respectivo porcentaje óptimo.

$$DRAg = DRA * POA + DRR * POR \quad \text{Ec. 2 [45]}$$

$$DRAg = 2,59 * 0,36 + 2,57 * 0,64$$

$$DRAg = 2,58 \text{ kg/dm}^3$$

Porcentaje Óptimo de Vacíos: Se calcula de la resta de la Densidad Real del Agregado y Densidad Óptima de la Mezcla de Agregados, dividida para la Densidad Real del Agregado.

$$POV = \frac{DRAg-DOAg}{DRAg} * 100\% \quad \text{Ec. 3 [45]}$$

$$POV = \frac{2,577-1,83}{2,577} * 100\%$$

$$POV = 28,99 \%$$

Cantidad de Pasta (CP)

$$CP = POV + 2\% + 8\% (POV) \quad \text{Ec. 4 [45]}$$

$$CP = 28,99 + 2\% + 8\% (28,99)$$

$$CP = 33,12 \text{ dm}^3$$

Donde (k) es una constante en función del asentamiento requerido del Hormigón de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA N° 8: Valor de constante (k) según el asentamiento requerido para dosificación método de la Densidad Óptima.

Asentamiento (cm)	k
0-3	POV+2%+3%(POV)
3-6	POV+2%+6%(POV)
6-9	POV+2%+8%(POV)
9-12	POV+2%+11%(POV)
12-15	POV+2%+13%(POV)

Fuente: Folleto Ensayo de Materiales II, Ingeniería Civil - UTA

Relación Agua / Cemento: Está dada en función de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad (f'c).

TABLA N° 9: Relación Agua / Cemento para dosificación método de la Densidad Óptima.

Resistencia a la compresión a los 28 días en Mpa (f'c)	Relación agua/ cemento (w/c)
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Fuente: Folleto Ensayo de Materiales II, Ingeniería Civil - UTA

Cantidad de Cemento (C): Se establece de acuerdo a la división de la cantidad de pasta para a la relación agua/ cemento más uno sobre la densidad real del cemento.

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}} \quad \text{Ec. 5 [45]}$$

$$C = \frac{333,12}{0,56 + \frac{1}{3,00}}$$

$$C = 372,90 \text{ Kg}$$

Cantidad de Agua (W): Está relacionado con la cantidad del cemento multiplicado por la relación agua cemento.

$$W = \frac{W}{C} * C \quad \text{Ec. 6 [45]}$$

$$W = 0,56 * 372,90$$

$$W = 208,82 \text{ lts}$$

Cantidad de Arena (A): Se calcula de acuerdo al volumen del hormigón menos la cantidad de pasta y el contenido de aire, multiplicado por la densidad real de la arena y su porcentaje óptimo.

$$A = (V.H^\circ - CP - \% \text{ AIRE}) * DRA * POA \quad \text{Ec. 7 [45]}$$

$$A = (1000 - 333,12 - 0,00) * 2,59 * 0,36$$

$$A = 621,80 \text{ Kg}$$

Cantidad de Ripio (R): Se calcula de acuerdo al volumen del hormigón menos la cantidad de pasta y el contenido de aire, multiplicado por la densidad real del ripio y su porcentaje óptimo.

$$R = (V.H^\circ - CP - \% \text{ AIRE}) * DRR - POR \quad \text{Ec. 8 [45]}$$

$$R = (1000 - 333,12 - 0,00) * 2,57 - 0,64$$

$$R = 1096,88 \text{ Kg}$$

Finalizado el proceso descrito anteriormente se obtienen las cantidades de material necesarias para la dosificación de un metro cúbico de hormigón, considerando que los agregados deben estar en condición de saturado superficialmente seco (sss). Se puede resumir en el siguiente cuadro:

TABLA N° 10: Dosificación al Peso mediante el método de la Densidad Óptima.

MATERIAL	W	C	A	R
Cantidad por cada m ³ de hormigón	208,82 lts	372,90 kg	621,80 kg	1096,88 kg
Densidad del hormigón	2300,40 kg/ m ³			

Fuente.- Jessica Beatriz Mestanza Orellana.

4.1.3 DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PARA CILINDROS (DCC)

Se calcula la cantidad de concreto que se empleara para la elaboración de los especímenes.

Dosificación de hormigón para cilindros: se obtiene multiplicando la dosificación al peso por el volumen del cilindro.

$$DCC = \text{Dosificación al Peso} * VC \quad \text{Ec. 9 [13]}$$

$$DCC = 2300,4 * 0,0053$$

$$\mathbf{DCC = 12,20 Kg}$$

$$VC = \left(\frac{\pi * D^2}{4} * H \right) * \# \text{ Cilindros} \quad \text{Ec. 10 [13]}$$

$$VC = \left(\frac{\pi * (0,15)^2}{4} * 0,30 \right) * 11$$

$$\mathbf{VC = 0,0053 m^3}$$

Donde:

Cilindros = Número de cilindros

D= Diámetro del Cilindro

H = Altura del Cilindro (H)

VC =Volumen de Cilindros

4.1.4 PORCENTAJE DE FIBRA DE POLIPROPILENO PARA CILINDROS

Se establecerá el porcentaje de fibra según la norma ACI-544.2R42 , la concentración de fibra de polipropileno debe adicionarse en función del volumen de concreto.

Para el cálculo del porcentaje de fibra se emplearan las siguientes formulas:

Volumen del Cilindro (VC)

$$VC = \left(\frac{\pi * D^2}{4} * H \right) \quad \text{Ec. 11 [13]}$$
$$VC = 0,0053 \text{ m}^3$$

Masa del Cilindro de Concreto (MC): Se obtiene mediante la multiplicación del volumen del cilindro para la densidad del hormigón

$$MC = VC * DH \quad \text{Ec. 12 [13]}$$
$$MC = 0,0053 * 2300,4$$
$$MC = 12,20\text{Kg}$$

Masa de Concreto necesario para muestras cilíndricas (MCC): Para obtener el valor de hormigón necesario para los especímenes se multiplica la masa de cada cilindro por el número de cilindros.

$$MCC = MC * \# \text{ Cilindros} \quad \text{Ec. 13 [13]}$$
$$MCC = 12,195 * 9$$
$$MCC = 109,76 \text{ Kg}$$

Volumen de Concreto necesario para muestras cilíndricas (VCC): Dividimos la masa de concreto de los cilindros para la densidad del concreto.

$$VCC = \frac{MCC}{DH} \quad \text{Ec. 14 [13]}$$
$$VCC = \frac{109,76}{2300,4}$$
$$VCC = 0,0477 \text{ m}^3$$

Volumen de la Fibra de Polipropileno en el Concreto (VFp)

$$VFp = \% \text{ fibra} * VCC \quad \text{Ec. 15 [13]}$$

$$VFp = 0,002 * 0,0477$$

$$VFp = 0,0000954 \text{ m}^3$$

Cantidad de Fibra de Polipropileno para muestras cilíndricas (CFpC):

Multiplicamos el volumen de la fibra de polipropileno por su densidad.

$$CFpC = VFp * DFp \quad \text{Ec. 16 [13]}$$

$$CFpC = 0,0000954 \text{ m}^3 * 0,91 \text{ gr/cm}^3 * 1000000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$$

$$CFpC = 86,81\text{gr}$$

4.1.5 CURADO DE LOS ESPECIMENES DE CEMENTO HIDRAULICO DEACUERDO A LA NORMA NTE INEN 1576

El curado es proporcionar un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el hormigón recién colocado, de modo que este desarrolle las propiedades esperadas.

De acuerdo a la norma NTE INEN 1576, el curado inicial consiste en almacenar el espécimen por un periodo de hasta 48 horas a una temperatura entre 16 °C y 27 °C, en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de los especímenes.

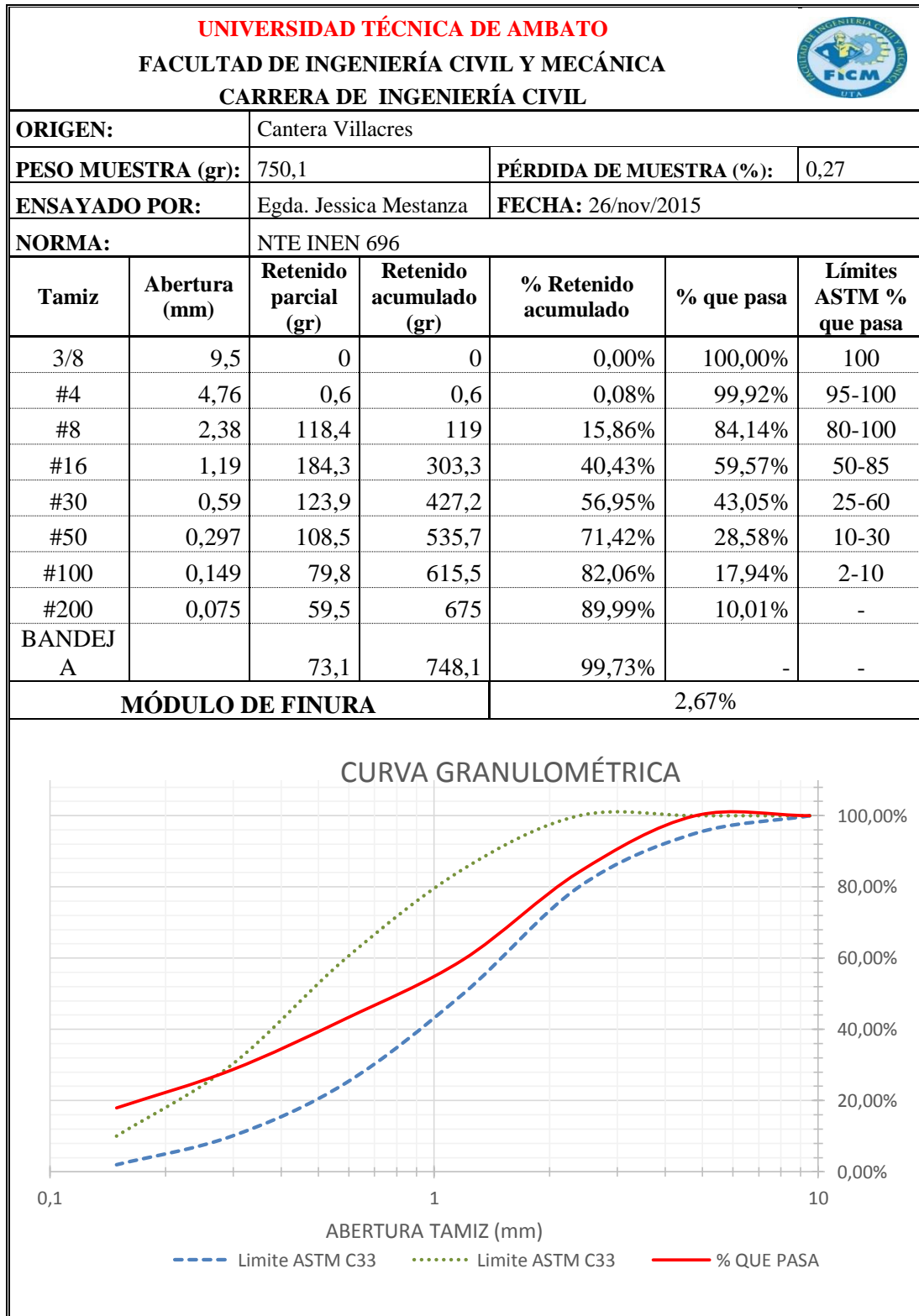
El curado final, se debe efectuar en una temperatura 23 °C ± 2 °C, en agua libre utilizando cámaras de curado.

Según la NEC-SE-HM, en el capítulo: 9.6.1. Las superficies expuestas de hormigón que contienen cemento hidráulico deben mantenerse húmedas por el tiempo especificado en cada proyecto. Si no se dispone de esta especificación deben mantenerse húmedas por al menos de 5 a 7 días. Mientras mayor es la cantidad de humedad retenida dentro del hormigón mayor es la eficiencia del curado. Para las estructuras de hormigón armado se permite la utilización de los siguientes métodos de curado: Curado con agua: El método seleccionado debe proporcionar sobre el hormigón una cubierta completa y continua con agua que esté libre de sustancias perjudiciales. Los métodos que pueden utilizarse son: inmersión, aspersion, rociado de

niebla, cubrir la superficie con láminas de materiales impermeables o con agentes químicos inhibidores de la evaporación. [46]

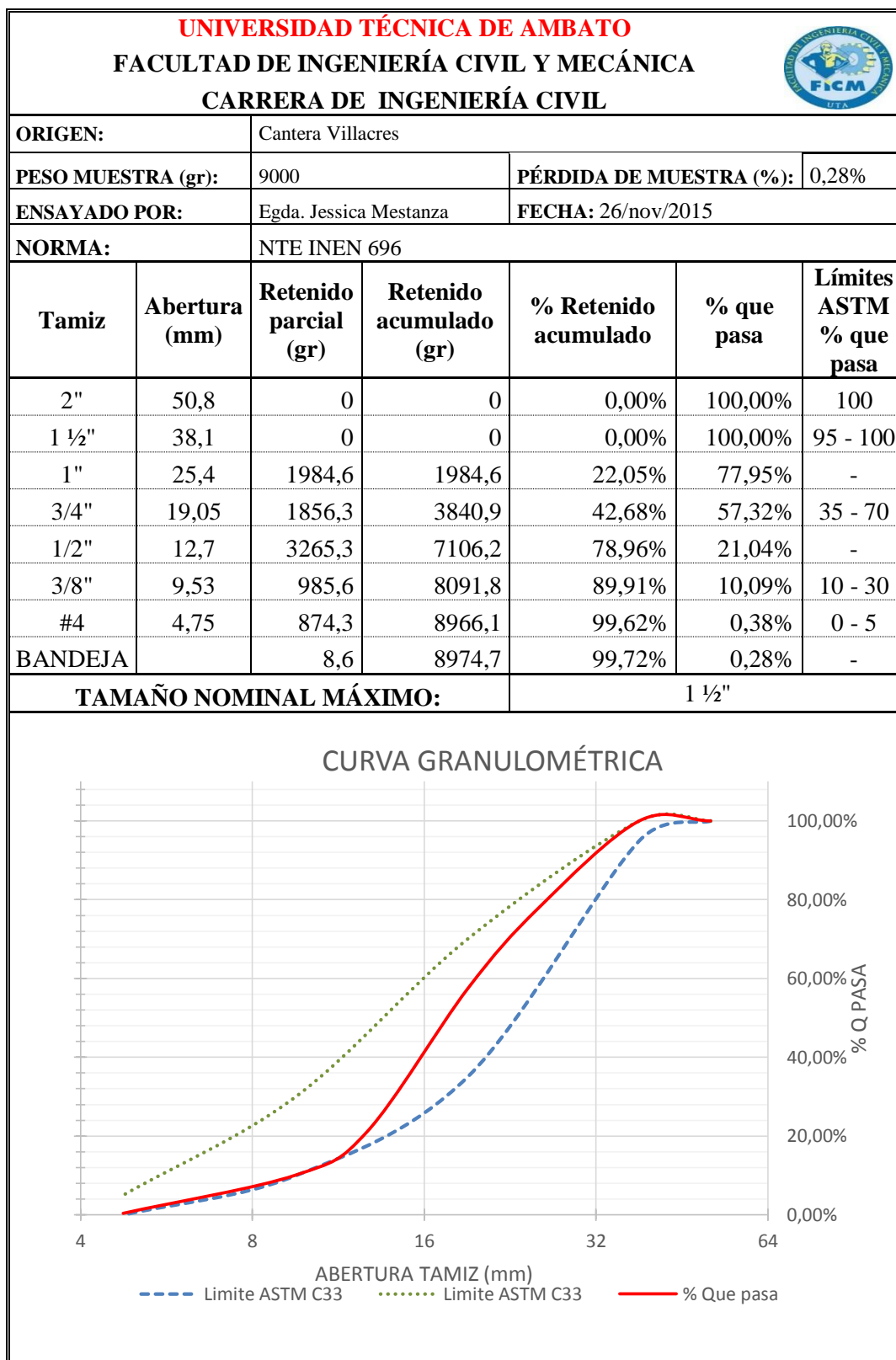
CAMARA DE CURADO		CARACTERISTICA
Ambiente normal		De acuerdo a la norma NTE INEN 1576 los especímenes deben ser curados a una temperatura de superior a los 10°C, e inferior a los 23 °C ± 2 °C.
Ambiente Temperaturas	Bajas	Los especímenes serán curados en un cuarto frio con una temperatura de 3°C.
Ambiente Temperaturas	Altas	Se curaran a los especímenes a una temperatura de 45°C.
Ambiente salino		Los especímenes serán curados en agua de mar cuya salinidad es del 3,5 %.

TABLA N° 11: Granulometría Agregado Fino (Cantera Villacrés)



Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 12: Granulometría Agregado Grueso (Cantera Villacrés).



Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana.

TABLA N° 13: Densidad Aparente Compactada del Agregado Fino y Grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ORIGEN:		Cantera Villacrés		
MASA RECIPIENTE (Kg):		9,8		
ENSAYADO POR:		Egda. Jessica Mestanza	FECHA: 27/nov/2015	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,56		
NORMA:		NTE INEN 858:2010		
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	39,80	30,00	1,46	1,46
	39,70	29,90	1,45	
FINO	45,10	35,30	1,72	1,72
	45,10	35,30	1,72	

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 14: Densidad Aparente Suelta del Agregado Fino y Grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ORIGEN:		Cantera Villacrés		
MASA RECIPIENTE (Kg):		9,8		
ENSAYADO POR:		Egda. Jessica Mestanza	FECHA: 27/nov/2015	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,56		
NORMA:		NTE INEN 858:2010		
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	37,80	28,00	1,36	1,36
	37,70	27,90	1,36	
FINO	41,70	31,90	1,55	1,55
	41,80	32,00	1,56	

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 15: Densidad Aparente Compactada de la Mezcla.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
ORIGEN:		Cantera Villacrés						
MASA RECIPIENTE (Kg):		9,8						
ENSAYADO POR:		Egda. Jessica Mestanza				FECHA: 02/Dic/2015		
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,56						
NORMA:		NTE INEN 858:2010						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm ³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100,00%	0,00%	40,00	0,00	0,00	39,80	30,00	1,46	1,46
					39,70	29,90	1,45	
90,00%	10,00%	40,00	4,44	4,44	41,30	31,50	1,53	1,54
					41,70	31,90	1,55	
80,00%	20,00%	40,00	10,00	5,56	44,80	35,00	1,70	1,70
					44,50	34,70	1,69	
70,00%	30,00%	40,00	17,14	7,14	46,90	37,10	1,80	1,80
					46,70	36,90	1,79	
60,00%	40,00%	40,00	26,67	9,53	47,40	37,60	1,83	1,83
					47,60	37,80	1,84	
50,00%	50,00%	40,00	40,00	13,33	47,30	37,50	1,82	1,83
					47,40	37,60	1,83	
40,00%	60,00%	40,00	60,00	20,00	46,50	36,70	1,79	1,79
					46,50	36,70	1,79	

Gráfico porcentaje óptimo vs. Densidad aparente

Densidad aparente promedio (kg/cm³)

Porcentaje óptimo de la mezcla %

— % MÁXIMO
- - - % OPTIMO

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	40,00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	60,00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	36,00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	64,00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1,830
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1,825

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 16: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ORIGEN:		Cantera Villacrés	
ENSAYADO POR:		Egda. Jessica Mestanza	FECHA: 09/Dic/2015
NORMA:		NTE INEN 857	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1246,50
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1078,00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	6229,50
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	4122,00
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1,00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4983,00
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3044,00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1939,00
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm ³	2,57
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	28,90
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	142,20
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	113,30
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	140,20
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	111,30
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1,80
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1,78

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 17: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ORIGEN:		Cantera Villacrés	
ENSAYADO POR:		Egda. Jessica Mestanza	FECHA: 09/Dic/2015
NORMA:		NTE INEN 856	
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	146,40
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	474,70
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	845,10
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	370,40
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	642,80
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	496,40
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0,993
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	126,00
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	328,30
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	126,91
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2,59
CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	26,30 23,10
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	118,00 129,60
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	91,70 106,50
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	117,30 129,20
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	91,00 106,10
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	0,77 0,38
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	0,57


Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 18: Densidad Real del Cemento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ORIGEN:		CEMENTO PORTLAND TIPO HIDRAULICO		
ENSAYADO POR:		Egda. Jessica Mestanza	FECHA: 15/Dic/2015	
NORMA:		NTE INEN 156		
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	174,20	174,20
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	349,30	349,80
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	670,20	670,40
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	320,90	320,60
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	537,40	537,40
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	363,20	363,20
DG=M6/500cm ³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0,726	0,726
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	42,30	42,60
M _C =M2-M1	Masa del cemento	gr	175,10	175,60
V _G =M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm ³	58,23	58,65
DRC=M _C /V _G	Densidad real del cemento	gr/cm ³	3,01	2,99
	Densidad real promedio	gr/cm ³	3,00	


Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 19: Dosificación para 0,2 % de Fibra de Polipropileno.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ORIGEN:	FIBROMAC 12		
REALIZADO POR:	Egda. Jessica Mestanza	FECHA:	15/Feb/2016
DATOS	REFERENCIA	UNIDADES	VALOR
N° cilindros	Numero de cilindros	u	9
D	Diámetro del cilindro	m	0,15
H	Altura del cilindro	m	0,3
AC	Área del cilindro	m ²	0,018
VC	Volumen del cilindro	m ³	0,0053
DH	Densidad del concreto	kg/m ³	2300,4
MC	Masa de cada cilindro de concreto	kg	12,20
McC	Masa de concreto para cilindros	kg	109,76
VHC	Volumen de concreto necesarios para cilindros	m ³	0,048
DFp	Densidad de la fibra de polipropileno	gr/cm ³	0,91
% Fp	% Fibra de polipropileno en el concreto	%	0,2
VFp	Volumen de fibra de polipropileno	m ³	0,002
MFp	Masa de fibra de polipropileno en concreto	kg cada m ³	1,82
CFpC	Cantidad de fibra de polipropileno para cilindros	gr	86,84


Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 20: Dosificación Método Densidad Óptima.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 						
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS			
f'c	240	Kg/cm ²	W/C	0,56		
Asentamiento	6 - 9	cm	CP (%)	POV + 2% + 8%(POV)		
DRC	3,000	gr/cm ³	CÁLCULOS			
DRA	2,590	gr/cm ³	DRM	2,577	kg/dm ³	
DRR	2,570	gr/cm ³	POV	28,99	%	
DSA	1,550	gr/cm ³	CP	333,12	dm ³	
DSR	1,360	gr/cm ³	C	372,90	Kg	
POA	36	%	W	208,82	lts	
POR	64	%	A	621,80	kg	
DOM	1,830	gr/cm ³	R	1096,88	kg	
DOSIFICACIÓN AL PESO						
MATERIAL		CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO		
W		208,82		0,56		
C		372,90		1,00		
A		621,80		1,67		
R		1096,88		2,94		
TOTAL		2300,40		kg/m³ Densidad del Horm.		
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN						
MATERIA L	CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg POR SACO DE CEMENTO	VOLUMEN APARENTE SUELTO EN dm ³ POR CADA SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W	208,82	0,56	28,00	-	28,00	litros
C	372,90	1,00	50,00	-	1	saco
A	621,80	1,67	83,37	53,79	2,00	cajones
R	1096,88	2,94	147,08	108,14	4,00	cajones
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			308,45	dm³ c/saco		
DIMENSIONES PARIHUELA: B = L = H = 3,00 dm				VOLUMEN PARIHUELA	27,00 dm³	
NOMENCLATURA:						
DRC	Densidad Real del Cemento		CP (%)	Cantidad de Pasta en %		
DRA	Densidad Real de la Arena		DRM	Densidad Real de la Mezcla		
DRR	Densidad Real del Ripio		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos		
DSA	Densidad Suelta de la Arena		CP	Cantidad de Pasta		
DSR	Densidad Suelta del Ripio		C	Cantidad de Cemento		
POA	Porcentaje Óptimo de Arena		W	Cantidad de Agua		
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio		A	Cantidad de Arena		
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla		R	Cantidad de Ripio		
W/C	Relación Agua Cemento					

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana.

TABLA N° 21: Propiedades del Hormigón Fresco en Cilindros de Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 												
REALIZADO POR: Egda. Jesica Mestanza					ALTURA CILINDRO: 0,30 m			NORMA: NTE INEN 1578				
PROBETA N°	% FIBRA DE POLIPROPILENO	FECHA DE ELABORACIÓN	DIÁMETRO (cm)	MASA DEL RECIPIENTE LLENO DE HORMIGÓN (kg)	MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m³)	TRABAJABILIDAD	ASENTAMIENTO (cm)	HOMOGENEIDAD	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³)
1	0,2	16-feb-16	15,1	23,5	11,3	12,20	0,0054	MEDIA	6,0	BUENA	2270,88	2259,77
2			15,2	23,4	11,4	12,00	0,0054				2204,36	
3			15,2	23,6	11,4	12,20	0,0054				2241,10	
4			15,1	23,6	11,4	12,20	0,0054				2270,88	
5			15,1	23,9	11,4	12,50	0,0054				2326,72	
6			15,2	18,9	6,8	12,10	0,0054				2222,73	
7			15,2	23,6	11,3	12,30	0,0054				2259,47	
8			15,1	23,4	11,3	12,10	0,0054				2252,27	
9			15,1	23,8	11,5	12,30	0,0054				2289,50	
10	0,2	17-feb-16	15,1	23,9	11,3	12,60	0,0054	MEDIA	6,0	BUENA	2345,34	2315,23
11			15,2	23,9	11,4	12,50	0,0054				2296,21	
12			15,2	23,9	11,4	12,50	0,0054				2296,21	
13			15,1	23,9	11,4	12,50	0,0054				2326,72	
14			15,1	23,9	11,4	12,50	0,0054				2326,72	
15			15,2	19,2	6,8	12,40	0,0054				2277,84	
16			15,2	23,9	11,3	12,60	0,0054				2314,58	
17			15,1	23,9	11,3	12,60	0,0054				2345,34	
18			15,1	23,9	11,5	12,40	0,0054				2308,11	



Continua

19	0,2	25-feb-16	15,1	23,8	11,3	12,50	0,0054	MEDIA	6,0	BUENA	2326,72	2306,98
20			15,2	23,8	11,4	12,40	0,0054				2277,84	
21			15,2	23,7	11,4	12,30	0,0054				2259,47	
22			15,1	23,8	11,4	12,40	0,0054				2308,11	
23			15,1	23,9	11,4	12,50	0,0054				2326,72	
24			15,2	19,4	6,8	12,60	0,0054				2314,58	
25			15,2	23,9	11,3	12,60	0,0054				2314,58	
26			15,1	23,8	11,3	12,50	0,0054				2326,72	
27			15,1	23,9	11,5	12,40	0,0054				2308,11	
28	0,2	08-mar-16	15,1	23,8	11,3	12,50	0,0054	MEDIA	6,0	BUENA	2326,72	2309,00
29			15,2	23,8	11,4	12,40	0,0054				2277,84	
30			15,2	23,8	11,4	12,40	0,0054				2277,84	
31			15,1	23,8	11,4	12,40	0,0054				2308,11	
32			15,1	23,8	11,4	12,40	0,0054				2308,11	
33			15,2	19,5	6,8	12,70	0,0054				2332,95	
34			15,2	23,9	11,3	12,60	0,0054				2314,58	
35			15,1	23,8	11,3	12,50	0,0054				2326,72	
36			15,1	23,9	11,5	12,40	0,0054				2308,11	

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana


4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

TABLA N° 22: Resistencia a la Compresión del concreto $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Condiciones Normales.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
													
REALIZADO POR:	Egda. Jesica Mestanza					ALTURA CILINDRO:		RESISTENCIA ESPERADA		7 Días	14 Días	28 Días	
NORMA:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579					0,30m				65-75% $f'c$	80-90% $f'c$	90-105% $f'c$	
PROBETA N°	% FIBRA DE POLIPROPILENO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)	CARGA Kg	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO MEDIO (kg/cm ²)
1	0,2	16-Feb-16	23-Feb-16	7	15,1	179,08	0,0054	12,40	2308,11	2278,75	40356,78	225,36	216,16
2					15,2	181,46	0,0054	12,25	2250,29		37553,52	206,95	
3					15,2	181,46	0,0054	12,40	2277,84		31478,08	173,47	
4			1-Mar-16	14	15,1	179,08	0,0054	12,40	2308,11	2285,61	55015,29	307,21	328,32
5					15,1	179,08	0,0054	12,20	2270,88		29989,81	167,47	
6					15,2	181,46	0,0054	12,40	2277,84		63404,69	349,42	
7			15-Mar-16	28	15,2	181,46	0,0054	12,35	2268,66	2253,96	61906,22	341,16	339,95
8					15,2	181,46	0,0054	12,20	2241,10		61467,89	338,74	
9					15,2	181,46	0,0054	12,26	2252,12		57951,07	319,36	

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 23: Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Bajas Temperaturas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																			
																			
REALIZADO POR:	Egda. Jesica Mestanza					ALTURA CILINDRO:		RESISTENCIA ESPERADA		7 Días	14 Días		28 Días						
NORMA:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579					0,30m				65-75% $f'c$	80-90% $f'c$		90-105% $f'c$						
PROBETA N°	% FIBRA DE POLIPROPILENO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)	CARGA Kg	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO MEDIO (kg/cm ²)						
10	0,2	17-feb-16	24-feb-16	7	15,10	179,08	0,0054	12,60	2345,34	2315,65	38705,40	216,14	206,99						
11					15,20	181,46	0,0054	12,52	2299,88		35902,14	197,85							
12					15,20	181,46	0,0054	12,53	2301,72		47421,00	261,33							
13			02-mar-16	14	15,20	181,46	0,0054	12,60	2314,58	2314,58	2314,58	43068,30	237,35	239,18					
14												15,20	181,46		0,0054	12,60	2314,58	45137,61	248,75
15												15,20	181,46		0,0054	12,60	2314,58	41997,96	231,45
16			16-mar-16	28	15,20	181,46	0,0054	12,50	2296,21	2301,11	2301,11	51997,96	286,56	289,39					
17												15,20	181,46		0,0054	12,54	2303,56	53027,52	292,23
18												15,20	181,46		0,0054	12,54	2303,56	49520,90	272,90


Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 24: Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Altas Temperaturas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
REALIZADO POR:		Egda. Jesica Mestanza				ALTURA CILINDRO:		RESISTENCIA ESPERADA			7 Días	14 Días	28 Días
NORMA:		NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579				0,30m					65-75% $f'c$	80-90% $f'c$	90-105% $f'c$
PROBETA N°	% FIBRA DE POLIPROPILENO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)	CARGA Kg	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO MEDIO (kg/cm ²)
19	0,2	25-feb-16	03-mar-16	7	15,10	179,08	0,01	12,40	2308,11	2300,18	55667,69	310,86	320,45
20					15,20	181,46	0,01	12,40	2277,84		59887,87	330,04	
21					15,20	181,46	0,01	12,60	2314,58		62895,01	346,61	
22			10-mar-16	14	15,10	179,08	0,01	12,45	2317,42	2340,37	67961,26	379,51	385,28
23					15,10	179,08	0,01	12,60	2345,34		57451,58	320,82	
24					15,10	179,08	0,01	12,67	2358,37		70030,58	391,06	
25			24-mar-16	28	15,10	179,08	0,01	12,57	2339,75	2312,45	70468,91	393,51	391,06
26					15,10	179,08	0,01	12,38	2304,39		69592,25	388,61	
27					15,10	179,08	0,01	12,32	2293,22		63669,72	355,54	




Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 25: Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ - Curado en Agua de mar

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
													
REALIZADO POR:	Egda. Jesica Mestanza					ALTURA CILINDRO:		RESISTENCIA ESPERADA		7 Días	14 Días		28 Días
NORMA:	NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579					0,30m				65-75% $f'c$	80-90% $f'c$		90-105% $f'c$
PROBETA N°	% FIBRA DE POLIPROPILENO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³)	MASA DE HORMIGÓN (kg)	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)	CARGA Kg	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO MEDIO (kg/cm ²)
28	0,2	08-mar-16	15-feb-16	7	15,10	179,08	0,0054	12,42	2311,83	2305,38	28562,69	159,50	157,14
29					15,10	179,08	0,0054	12,40	2308,11		27981,65	156,25	
30					15,20	181,46	0,0054	12,50	2296,21		28246,69	155,66	
31			22-feb-16	14	15,20	181,46	0,0054	12,40	2277,84	2319,98	36350,66	200,33	196,94
32					15,10	179,08	0,0054	12,66	2356,51		35443,43	197,92	
33					15,20	181,46	0,0054	12,66	2325,60		34943,93	192,57	
34			04-abr-16	28	15,20	181,46	0,0054	12,50	2296,21	2317,45	45871,56	252,79	249,17
35					15,10	179,08	0,0054	12,40	2308,11		44199,80	246,82	
36					15,10	179,08	0,0054	12,50	2326,72		44393,48	247,90	







Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 26: Tipos de fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno-Condiciones Normales.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
REALIZADO POR:		Egda. Jesica Mestanza	ALTURA CILINDRO: 0,30m	Tipo de Fracturas	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
NORMA:		NTE INEN 1573			Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	FOTOGRAFÍA		TIPO DE FRACTURA	DESCRIPCIÓN		
23-Feb-16	7			Tipo 5	Se observa desprendimiento de concreto en la parte superior del cilindro. Falla: Por esfuerzo de compresión producto del agotamiento de la carga del cilindro.		
1-Mar-16	14			Tipo 3	Se visualiza fisuras verticales y diagonales. Falla: Por esfuerzos de compresión y corte.		
15-Mar-16	28			Tipo 3	Se visualiza fisuras verticales y diagonales. Falla: Por esfuerzos de compresión y corte.		




Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 27: Tipos de Fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno- Bajas Temperaturas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
REALIZADO POR:		Egda. Jessica Mestanza	ALTURA CILINDRO: 0,30m	Tipo de Fracturas	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
NORMA:		NTE INEN 1573			Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	FOTOGRAFÍA		TIPO DE FRACTURA	DESCRIPCIÓN		
24-feb-16	7			Tipo 5	Se visualiza fisuras verticales y desprendimiento del concreto. Falla: Por esfuerzos de compresión		
02-Mar-16	14			Tipo 4	Es evidente la fisura diagonal. Falla: por esfuerzos de compresión y corte.		
16-Mar-16	28			Tipo 3	Es evidente la fisura vertical. Falla: Por esfuerzos a compresión.		








Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

TABLA N° 28: Tipos de fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno- Altas Temperaturas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
REALIZADO POR:		Egda. Jessica Mestanza		ALTURA CILINDRO: 0,30m	Tipo de Fracturas	Tipo 1
NORMA:		NTE INEN 1573				Tipo 2
FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	FOTOGRAFÍA		TIPO DE FRACTURA	DESCRIPCIÓN	
03-mar-16	7			Tipo 3	Se observa que el concreto tiene fisuras verticales. Falla: Por esfuerzo de compresión.	
10-mar-16	14			Tipo 5	Es evidente el desprendimiento del concreto en la parte superior del cilindro. Falla: El concreto tuvo una falla explosiva.	
24-mar-16	28			Tipo 4	Es notoria las fisuras verticales. Falla: Por esfuerzo de compresión, se puede observar que los agregados tienen un color café claro, es porque el concreto estuvo expuesto a un proceso de cocción, al exponerse a temperaturas altas.	

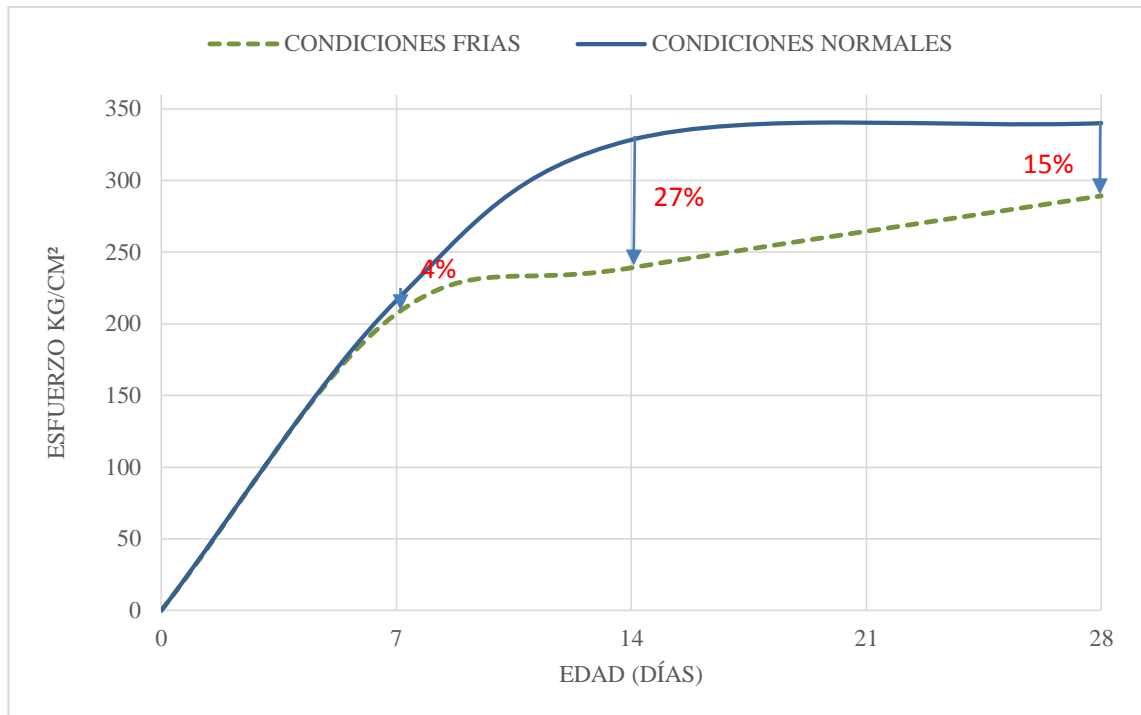
Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana.

TABLA N° 29: Tipos de fracturas en los Cilindros Reforzados con Fibra de Polipropileno- Agua de Mar.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 							
REALIZADO POR:	Egda. Jesica Mestanza	ALTURA CILINDRO:	0,30m	Tipo de Fracturas	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
NORMA:	NTE INEN 1573				Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
FECHA DE ENSAYO	EDAD EN DÍAS	FOTOGRAFÍA		TIPO DE FRACTURA	DESCRIPCIÓN		
15-feb-16	7			Tipo 3	<p>Se evidencia presencia de cloruro de sodio en la parte externa del cilindro, debido a la concentración de sal de agua de mar. Existe la presencia de fisuras en forma de Mapa.</p> <p>Falla: por desprendimiento del concreto en la parte superior del cilindro.</p>		
22-feb-16	14			Tipo 3	<p>Se evidencia presencia de cloruro de sodio en la parte externa del cilindro, debido a la concentración de sal de agua de mar. Existe la presencia de fisuras en forma de Mapa.</p> <p>Falla: por desprendimiento del concreto en la parte superior del cilindro.</p>		
04-abr-16	28			Tipo 3	<p>Se evidencia presencia de cloruro de sodio en la parte externa del cilindro, debido a la concentración de sal de agua de mar. Existe la presencia de fisuras en forma de Mapa.</p> <p>Falla: por desprendimiento del concreto en la parte superior del cilindro.</p>		

Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana.

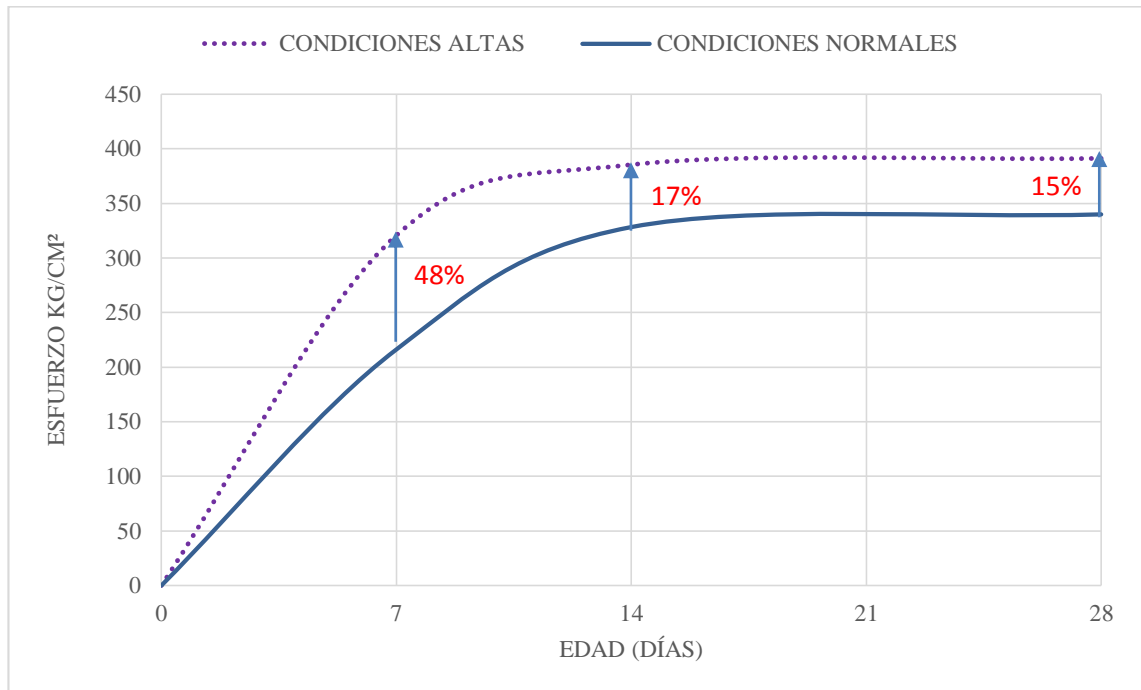
GRÁFICO N° 10: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión -Curado Bajas Temperaturas



Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

Según el **Gráfico N° 10:** Se visualiza que la resistencia del concreto curado en bajas temperaturas, disminuye en un 15% en comparación al concreto expuesto a condiciones normales a los 28 días de edad. A pesar de la disminución de la resistencia está dentro los parámetros de la Resistencia de Diseño $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

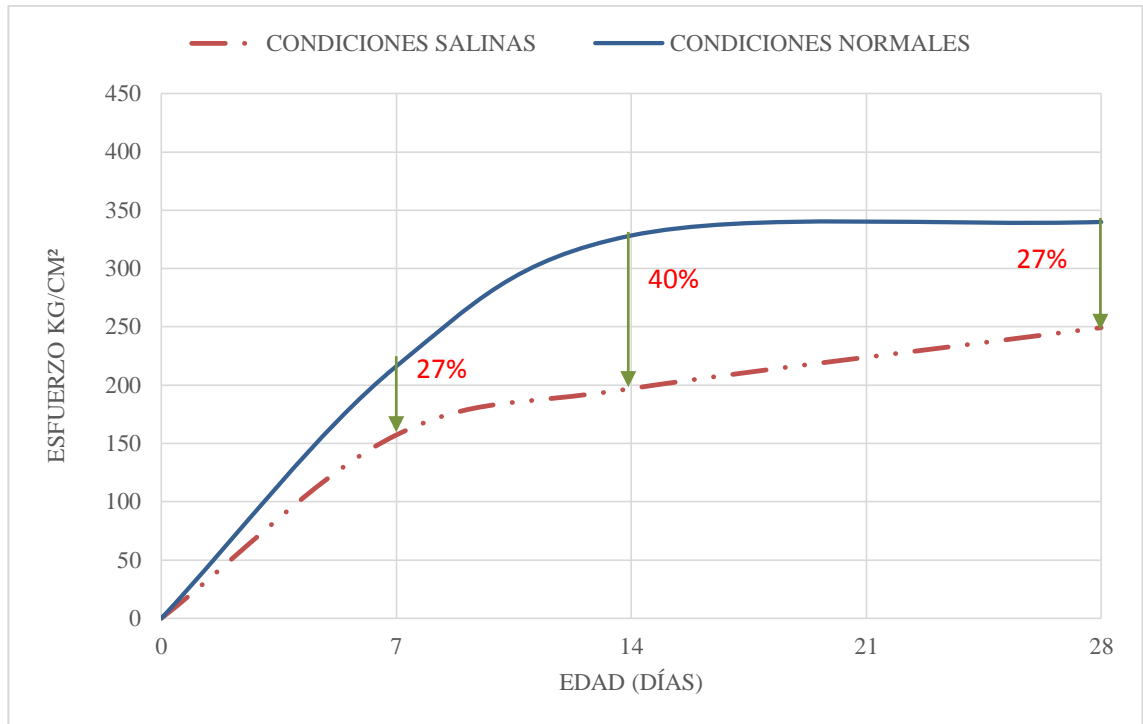
GRÁFICO N° 11: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión / Curado Condiciones Altas Temperaturas.



Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

En el **Gráfico N° 11:** Se observa la resistencia del concreto curado en temperaturas Altas, se incrementa en un 15% en comparación al concreto curado en condiciones normales a los 28 días de edad.

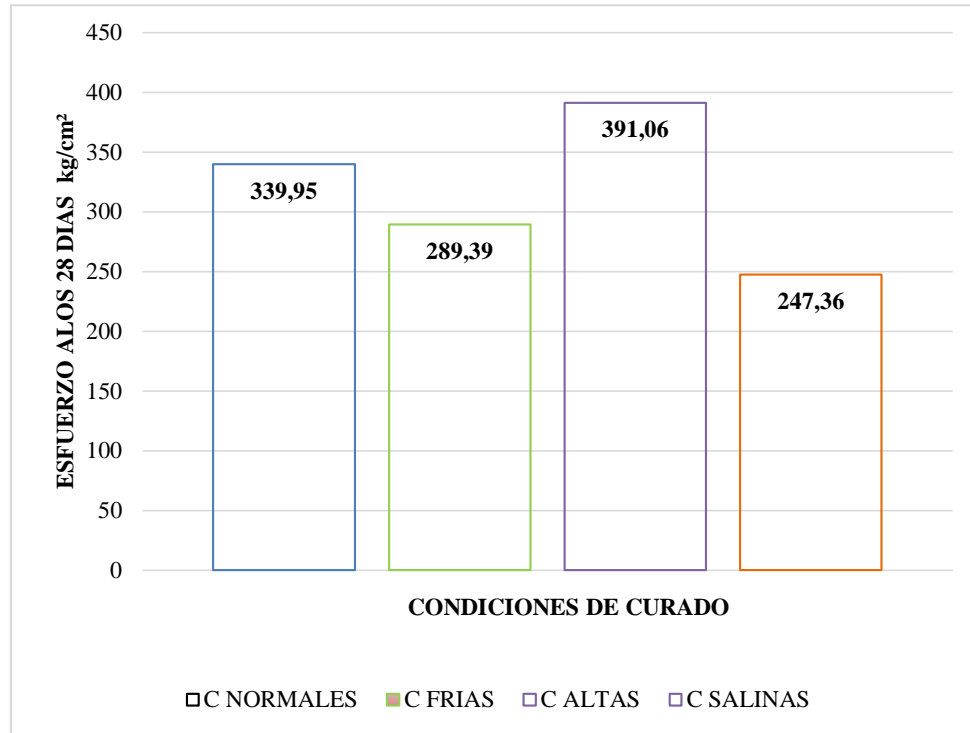
GRÁFICO N° 12: Edad vs. Esfuerzo a la Compresión - Curado Agua de mar



Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

Analizando el **Gráfico N° 12:** Se visualiza la resistencia del concreto curado en agua de mar, disminuye en un 27% en comparación al concreto curado en condiciones normales a los 28 días de edad. A pesar de la disminución de la resistencia está dentro los parámetros de la Resistencia de Diseño $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

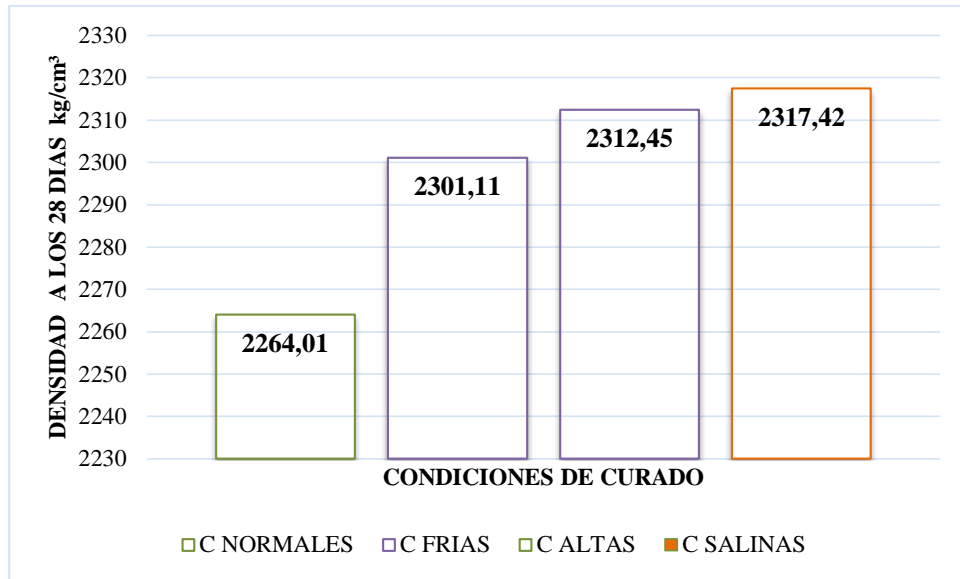
GRÁFICO N° 13: Condiciones curado vs. Esfuerzo a Compresión 28 días.



Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

En referencia al **Gráfico N° 13:** Se presenta la resistencia del concreto curado en diferentes ambientes, se determina que los concretos expuestos a condiciones altas tiene una mejor resistencia con un esfuerzo promedio a los 28 días de 391,06 kg/cm², a diferencia de los concretos curados en condiciones salinas tienen menor resistencia, con un esfuerzo promedio a los 28 días de 247,36 kg/cm².

GRÁFICO N° 14: Edad vs. Densidad



Elaborado por: Jessica Beatriz Mestanza Orellana

En el **Gráfico N° 14:** Se observa la densidad del concreto curado en diferentes ambientes severos, se determina que los concretos expuestos a agua de mar tienen una mayor densidad a los 28 días de 2317,42 kg/cm³, a diferencia de los concretos curados en condiciones normales tienen una densidad menor a los 28 días de 2264,01kg/cm³, está dentro del rango de valores de 2200 y 2400 kg kg/cm³, estos valores corresponden al concreto normal (teórico)

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En la presente investigación se tiene como hipótesis: “Las fibras de polipropileno en el concreto curado en ambientes severos influye en su resistencia a compresión”.

Los cilindros de concreto y fibras de polipropileno serán curados en diferentes ambientes: alta temperatura, baja temperatura y salino (agua de mar), con la finalidad de obtener información para comprobar la hipótesis planteada.

A través de la recolección de datos, análisis de tablas y gráficos, y sabiendo que los especímenes curados en condiciones normales a la edad de 28 días, tienen una resistencia a la compresión de 339,95 kg/cm² podemos decir lo siguiente:

El ambiente con alta temperatura (45 °C) tiene un efecto positivo en la resistencia a compresión, porque a los 28 días logra incrementarla en un 15%.

El concreto curado en baja temperatura (3 °C), así como en un ambiente salino, tuvo un efecto desfavorable en su resistencia a compresión ya que la misma disminuyó. Los cilindros curados en bajas temperaturas perdieron el 15% de su resistencia mientras que los curados con agua de mar perdieron el 27%, sin embargo cumplen con la resistencia de diseño $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

De acuerdo a la investigación y los ensayos realizados, se verifico que las fibras de polipropileno añadidas al concreto, si influye positivamente en la resistencia a compresión curadas en ambientes severos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El concreto curado en baja temperatura 3°C, tiene un aumento en su densidad de 1,64% (de 2264,01 kg/cm³ a 2317,42 kg/cm³), y una disminución de 15 % en su resistencia a la compresión (de 339, 95 kg/cm² a 289,39 kg/cm²) a los 28 días.
- Los especímenes curados en alta temperatura 45°C, aumentan su densidad en un 2,13% (de 2264,01 a 2317,42), y tienen un incremento de 15%, en su resistencia a compresión (de 339, 95 kg/cm² a 391,06 kg/cm²) a los 28 días.
- La presencia de cloruro de sodio provocó que en los cilindros curados con agua de mar la densidad aumente en un 2,36% (de 2264,01 a 2317,42), y que su resistencia a la compresión disminuya en un 27%, (de 339, 95 kg/cm² a 249,17 kg/cm²) a los 28 días.
- Se concluye que el mejor ambiente de curado para incrementar la resistencia a la compresión es el de alta temperatura 45°C, pero tienen una falla explosiva.
- A pesar de la disminución de resistencia con el curado a baja temperatura y salino, se supera la resistencia de diseño $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$.
- Al agregar fibra de polipropileno en un 0,2% del volumen de concreto, se obtiene una mezcla con consistencia blanda en vista de que su asentamiento es de 6 centímetros, que está en el rango de diseño (6-9 cm).
- Con la adición de fibras dificulta la trabajabilidad y la compactación de la mezcla.

- A los 7 días en los especímenes curados en condiciones normales se genera la fractura tipo 5 a diferencia que a los 14 y 28 días se presentan fracturas tipo 3.
- El concreto expuesto a baja temperatura 3°C, después de ser ensayado a compresión presenta las siguientes fracturas: a los 7 días tiene una fractura tipo 5, a los 14 días una fractura tipo 4 y 28 días una fractura tipo 3.
- Al curar los especímenes con alta temperatura 45°C, presenta fracturas tipo 3 a los 7 días, tipo 5 a los 14 días y tipo 4 a los 28 días. Estas fracturas se deben a que en este caso la conductividad térmica en el concreto es baja, el calor se acumula en el interior del cilindro elevando su temperatura y provoca la aparición de fisuras en la superficie del cilindro por dilatación.
- El agua de mar en el curado provoca que en los poros exteriores de los cilindros queden residuos de cloruro de sodio, mismos que penetran al interior y contribuyen a la aparición de fracturas tipo 3 en todas las edades.
- En todos los casos las fallas corresponden a corte y compresión.
- El concreto reforzado con 0,2 % de fibra del volumen de concreto, mejora la adherencia entre los componentes del concreto, porque luego de los ensayos a compresión es visible que el conjunto permanece unido y no se desprende fácilmente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Cuando se realiza la mezcla de concreto en el laboratorio, en la dosificación utilizar la cantidad de pasta (CP) de acuerdo a lo especificado en el método de densidad óptima donde detalla que el CP max= 30%
- No emplear dosificaciones de fibra de polipropileno que no consten el código ACI 544.1R-96 (State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete).
- Utilizar guantes de caucho anti-bacterial como protección mientras se elabora y saca los especímenes de las cámaras de curado.
- Adicionar un 1,10 % de la mezcla de concreto para la elaboración de los cilindros, para evitar la falta de la misma provocada por los desperdicios en la compactación.
- Distribuir manual y uniformemente la fibra de polipropileno en la mezcla de concreto, para tener homogeneidad.
- Es recomendable que el tiempo de mezclado de la fibra de polipropileno en el concreto no sobrepase los 5 minutos, ya que a mayor tiempo de mezclado se produce un falso fraguado reduciendo la trabajabilidad del concreto.
- Para simular el ambiente salino oxigenar el agua de mar con un filtro, $Q_{max}= 300$ L/h, para evitar pérdida de salinidad.
- En el ambiente salino se debe cambiar el agua de mar al menos cada ocho días.
- Considerar el factor económico para la generación de las diferentes cámaras de curado. Para adaptar un tanque de 1,50 x 1,50 x 1,00 (mampostería enlucida) a cámara de curado de alta temperatura fue necesaria una inversión de aproximadamente 450,00 USD.

- Para una cámara de curado de bajas temperaturas se alquiló un cuarto frío de 3,50 x 4,00 x 2,00 m, se consumió 915,13 Kwh con un costo de 50,00 USD.
- Revisar periódicamente que el nivel del agua no descienda, ya que esto puede ser por la existan fugas de agua en las cámaras de curado: normal, salina y bajas temperaturas
- En la cámara de curado a altas temperaturas, revisar la perdida de agua ya que por evaporación se pierde agua y puede que los cilindros no queden totalmente sumergidos.
- Al transportar los especímenes, es recomendable utilizar cajones con esponjas para evitar la fricción entre los cilindros

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Rojas, "Estudio de viabilidad de utilización de fibras de acero para hormigones convencionales y autocompactantes," Tesis de Master de la Universidad de Catalunya, Quito, 2014.
- [2] D. Villalón and A. Gutierrez, "Utilización de Materiales Compuestos en la Construcción de nuevos Puentes," Madrid, Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja.
- [3] A. Molinos and F. Baños, "Experiencias en el desarrollo de hormigones autocompactantes reforzados con fibras eficientes y versátiles," in *3º Congreso Iberoamericano sobre hormigón autocompactante avances y oportunidades*, Madrid, 2012.
- [4] J. McCormac and R. Brown, *Diseño de Concreto Reforzado*, México, 2011.
- [5] H. Ramirez, "Diseño de hormigones con fibra de polipropileno para resistencias a la compresión de y MPa con agregados de la cantera Pifo," Tesis de Grado de la Universidad Central del Ecuador, Quito, 1986.
- [6] L. Beltrán, "Hormigón reforzado con fibras de polipropileno," Tesis de Grado de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1986.
- [7] E. Medina, "Construcción de estructuras de Hormigón Armado," Madrid, 2008.
- [8] D. Sánchez, "Durabilidad y Patología del Concreto," Bogotá, 2006.
- [9] A. Aguirre and R. Mejía, "Durabilidad del Hormigón expuesto a condiciones agresivas," *Materiales de la Construcción*, p. 8, 2013.
- [10] D. Sánchez, *Tecnología del Concreto y del Mortero*, Colombia, 2001.
- [11] CEPREVEN, "Protección pasiva contra incendios," Curso Monográfico, Madrid, 2003.
- [12] M. Bermúdez, P. Alaejos and V. Lanza, "La Corrosión del Hormigón Armado en Ambiente Marino," Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, Madrid.
- [13] M. F. Millan, "Comportamiento del Hormigón Reforzado con Fibras de Polipropileno y su Influencia en sus Propiedades Mecánicas en el Cantón Ambato," "Tesis de Grado, FICM - UTA, Ambato, 2013.

- [14] The Constructor, "FibreReinforced Concret," Enero 2016. [Online]. Available: <http://theconstructor.org/concrete/fibre-reinforced-concrete/150/>.
- [15] Z. Bayasi and J. Zeng, "Properties of PolypropyleneFiberReinforced Concrete," *ACI American Concrete Institute*, vol. 90, pp. 605-610, 1993.
- [16] F. Fouad, "Properties and Applications of Fiber Reinforced Concrete Associate Professor," *Civil Engineering Department, King AbdulazizUniversity*, vol. 2, pp. 49-63, 2000.
- [17] Red Textil Argentina, "Fibras Animales," Enero 2016. [Online]. Available: www.redtextilargentina.com.ar/index.php/fibras/f-diseno/fibras-animales..
- [18] FAO, " Fao, Fibras Naturales," Enero 2009. [Online]. Available: www.naturalfibres2009.org/es/fibras/.
- [19] R. Fanguero, "FIBRENAMICS, Fibrethefuture," [Online]. Available: www.web.fibrenamics.com/es/conocimiento/las-fibras/fibras-inorganicas/.
- [20] C. Cadena and A. Silvera, "Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales," *Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte*, vol. 12, pp. 8-9, 2002.
- [21] Serie Seguridad, Higiene y Medicina del Trabajo, "Seguridad en la Utilización de Fibras Minerales Y Sintéticas," Ginebra, 1989.
- [22] C. Sepúlveda, "Fibra de Acero: la Cantidad Hace la Fuerza," *MetalActual*, vol. 18, p. 21, 2015.
- [23] J. Carrillo, J. Cárdenas and W. Pulido, "Efecto del ion cloruro sobre las propiedades mecánicas a compresión del concreto reforzado con fibras de acero," *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, vol. 33, no. 2, 2015.
- [24] R. Robayo, P. Matthey and S. Delvasto, "Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero," *Revista de la construcción*, vol. 12, no. 2, 2015.
- [25] S. Morales, "Fibra de Vidrio, Pruebas y Aplicaciones," Tesis de Grado, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Culhuacán, México, 2008.
- [26] M. Follis, J. Lubari and M. Nicolai, "Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio," Departamento de Mecánica Aplicada y Estructuras, Universidad Regional del

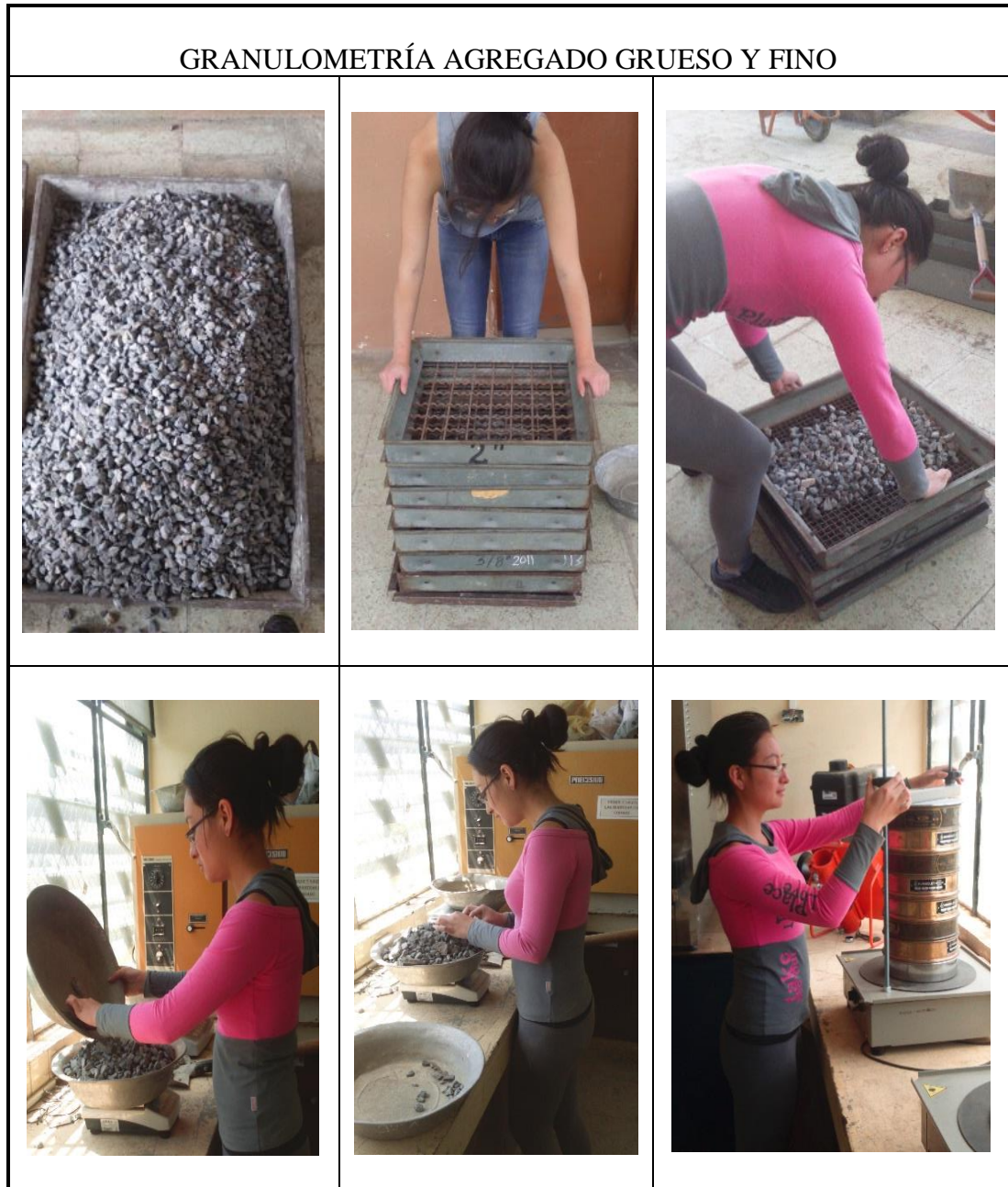
Norte (URN), Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Chihuahua, 2012.

- [27] IHS Engineering360, "Synthetic Fibers and Fabrics Information, IHS Engineering360," Enero 2016. [Online]. Available: www.globalspec.com/learnmore/materials_chemicals_adhesives/composites_textiles_reinforcements/synthetic_fibers_fabrics_polymer_tex.
- [28] State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete," *Reported by ACI Committee 544*, no. 4, 2002.
- [29] T. Madhavi and L. Swamy, "Polypropylene Fiber Reinforced Concrete," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, pp. 114-119, 2014.
- [30] A. Gallovich and B. Rossi, "Fibras como Elemento Estructural para el Refuerzo del Hormigón," *Manual Técnico Maccaferri*, vol. 1, p. 2-247, 2008.
- [31] NBMCW, "Polypropylene Fiber Reinforced Concrete," *NBMCW, Construction Information*, 2011.
- [32] Maccaferri America Latina, "Fibro Mac 12," 2008.
- [33] A. Malishev, "Ecuared, Ensayos de Tracción y Compresión," Enero 2016. [Online]. Available: [//www.ecured.cu/Ensayos_de_Tracci%C3%B3n_y_Compresi%C3%B3n](http://www.ecured.cu/Ensayos_de_Tracci%C3%B3n_y_Compresi%C3%B3n).
- [34] A. Helfgot, *Ensayo de Materiales*, Buenos Aires: Editorial Kapelusz S.A., 1975.
- [35] K. Hofer, "Encyclopedia Britannica," [Online]. Available: <http://www.britannica.com/technology/materials-testing/Fatigue>.
- [36] L. Vélez, "Blog, Propiedades Materiales de Construcción," 2013. [Online]. Available: <http://propiedadesmaterialesdeconstruccin.blogspot.com/2013/04/propiedades-mecanicas-de-los-materiales.html>.
- [37] H. Davis, G. Earl and C. Wiskocil, *Ensayo e Inspección de los Materiales en Ingeniería*, México: Continental S.A., 1975.
- [38] D. Garcia, "SlideShare," [Online]. Available: <http://es.slideshare.net/dagsumoza/esfuerzo-presentacion>.
- [39] P. Stiopin, *Resistencia de materiales*, Moscú: Mir Moscú, 1979.

- [40] J. Osorio, "BLOG 360° en concreto, Resistencia Mecánica del Concreto y Resistencia a la Compresión," Junio 2013. [Online]. Available: <http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>.
- [41] NRMCA, "NRMCA, El Concreto en la Practica," [Online]. Available: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip35es.pdf>.
- [42] I. M. d. C. Concreto, "Imcyc, Pruebas de Resistencia a la Compresión del concreto," Junio 2006. [Online]. Available: <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>.
- [43] S. Tsai and A. Miravete, *Diseño y Análisis de Materiales Compuestos*, Bogotá: Reverte S.A., 1987.
- [44] R. Sampieri, C. Collado and P. Lucio, *Fundamentos de Metodología de la Investigacion*, Madrid: McGraw-Hill S.A de C.V, 2007.
- [45] S. Medina, *Ensayo de Materiales II*, Ambato, 2014.
- [46] NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION, *Estructuras de Hormigon Armado*, NEC, 2014.
- [47] V. Amigó, M. Salvador and O. Sahuquillo, "Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos," Quinto Congreso Internacional de Fibras Naturales, Valencia.
- [48] Civilgeeks, "CivilGeeks.com," 2016 Enero 13. [Online]. Available: <http://civilgeeks.com/2011/12/04/introduccion-a-la-tecnologia-del-concreto/>.
- [49] INEN, *Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico.*, Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [50] E. Cuenca, "Introducción sobre hormigón Autocompactante (HAC) y Hormigón Reforzado con Fibras (HRF)," Noviembre, 2008.

7. ANEXOS

7.1. IMÁGENES DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN



DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA



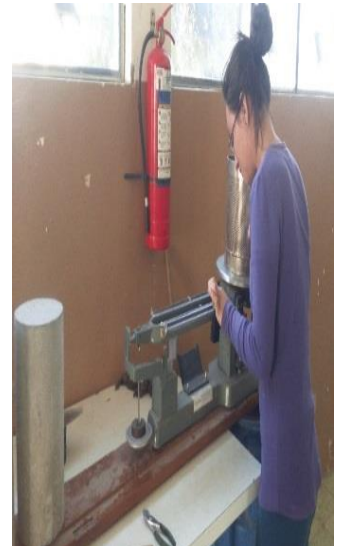
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO



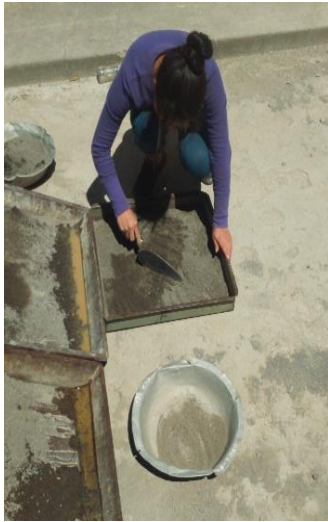
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO



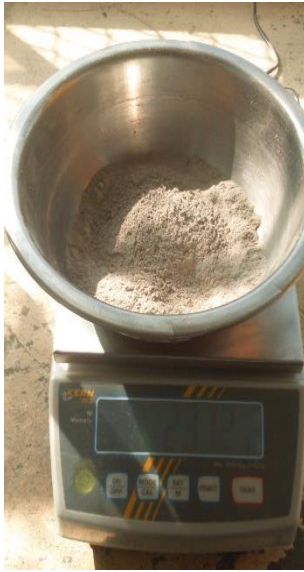
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO



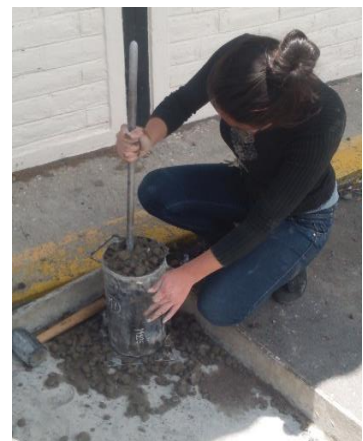
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO



DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO



ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES





COLOCACIÓN DE LOS ESPECÍMENES EN LA CAMARA DE CURADO
CAMARA DE CURADO BAJAS TEMPERATURAS



CAMARA DE CURADO ALTAS TEMPERATURAS



CAMARA DE CURADO AGUA DE MAR

