

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN  
CON SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DEL CEMENTO POR UNA RESINA DE  
POLIÉSTER.”

---

**AUTOR:** ELVIS FERNANDO ROGEL APOLO.

**TUTOR:** ING. MG. DIEGO SEBASTIÁN CHÉRREZ GAVILANES

**AMBATO-ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN DE TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, certifico que la presente tesis de grado realizada por el Sr. Elvis Fernando Rogel Apolo, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato; se ha desarrollado bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito realizado bajo el tema **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DEL CEMENTO POR UNA RESINA DE POLIÉSTER.”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Junio del 2017

-----  
Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes  
**DOCENTE TUTOR**

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

Yo, Elvis Fernando Rogel Apolo, CI. 0202327524, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental bajo el tema **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DEL CEMENTO POR UNA RESINA DE POLIÉSTER”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Junio del 2017

-----  
Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible de lectura, consulta y proceso 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, Junio del 2017

-----  
Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DEL CEMENTO POR UNA RESINA DE POLIÉSTER”**, de Elvis Fernando Rogel Apolo, de la carrera 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.

Para constancia firman,

-----

**ING. MG. CARLOS NAVARRO**

-----

**ING. MG. MARITZA UREÑA**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por brindarme salud y protección para realizar y culminar este proyecto.

A mis padres, que con su apoyo incondicional me han motivado a seguir en el camino de  
los buenos valores.

A mis abuelos, que desde pequeño me han enseñado a valorar todas las cosas que  
tenemos.

A mi tío, Angel Miguel Rogel Apolo, que siempre ha estado pendiente de cada paso que  
doy en esta vida.

Elvis Rogel

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la vida que tengo y por llenarme de bendiciones.

A mis padres y hermanos, por estar siempre ayudándome en todo lo que necesito.

A mis abuelitos y familia por ser parte fundamental en vida, como pilar de apoyo en este proyecto de vida.

A mis amigos y compañeros que han estado junto a mí compartiendo grandes experiencias.

A mis profesores, que con sus conocimientos me han ayudado a desenvolverme en el maravilloso mundo de la Ingeniería civil.

Al Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, por su ayuda y compromiso a la hora de guiarme en todo este proceso para poder culminar satisfactoriamente este proyecto.

Elvis Rogel

## ÍNDICE GENERAL

<b>A. <u>PÁGINAS PRELIMINARES</u></b>	
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	II
AUTORÍA DE TRABAJO .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	4
CAPÍTULO I.....	7
ANTECEDENTES.....	7
1.1 Tema de investigación .....	7
1.2 Antecedentes .....	7
1.3 Justificación .....	8
1.4 Objetivos .....	10
1.4.1 Objetivo General:.....	10
1.4.2 Objetivos Específicos.....	10
CAPÍTULO II. ....	11
FUNDAMENTACIÓN.....	11
2.1 Fundamentación teórica .....	11
2.1.1 Materiales de construcción.....	11
2.1.2 Propiedades del Hormigón.....	22
2.1.3 Mezcla.....	26
2.2 Hipótesis.....	27
2.3 Señalamiento de las variables de la hipótesis .....	27
2.3.1 Variable Independiente .....	27
2.3.2 Variable Dependiente.....	28
CAPÍTULO III.....	28
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	28
3.1. Tipo de investigación.....	28



3.1.1 Investigación aplicada.....	28
3.1.2 Investigación de laboratorio.....	28
3.1.3 Investigación Experimental.....	28
3.2. Población y muestra .....	29
3.3. Operacionalización de variables .....	30
3.3.1 Variable independiente .....	30
3.3.2 Variable Dependiente.....	31
3.4. Plan de recolección de información. ....	32
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 .....	33
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	33
4.1 Metodología de Trabajo.....	33
4.1.1 Ensayos Realizados a los Agregados .....	33
4.1.3. Dosificación del hormigón según el Método de la Densidad Óptima .....	44
4.1.4 Elaboración De Probetas Cilíndricas De Hormigón de prueba.....	46
4.2 Análisis de resultados.....	48
4.2.1. Propiedades del hormigón en estado fresco.....	48
4.2.2. Propiedades del hormigón en estado endurecido.....	60
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	82
CAPÍTULO V .....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
5.1 CONCLUSIONES .....	83
5.2 RECOMENDACIONES .....	86
BIBLIOGRAFÍA .....	87
ANEXOS .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. LÍMITES DE GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO.....	16
TABLA 2. LÍMITES DE GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO.....	16
TABLA 3. RELACIÓN A/C SEGÚN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.....	18
TABLA 4 CANTIDAD DE PASTA SEGÚN ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN.....	19
TABLA 5 DATOS REQUERIDOS PARA DOSIFICAR.....	19
TABLA 6. NÚMERO DE PROBETAS CILÍNDRICAS DEL ESTUDIO.....	29
TABLA 7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE.....	30
TABLA 8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE.....	31
TABLA 9. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	32
TABLA 10. ENSAYO REALIZADOS A LOS AGREGADOS.....	33
TABLA 11. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (ARENA).....	34
TABLA 12. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO).....	35
TABLA 13. DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA ARENA Y DEL RIPIO.....	36
TABLA 14. DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA ARENA Y DEL RIPIO.....	37
TABLA 15. DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE UNA MEZCLA DE AGREGADOS.....	38
TABLA 16. DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO.....	39
TABLA 17. DENSIDAD REAL DE LA ARENA.....	40
TABLA 18. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	41
TABLA 19. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	42
TABLA 20. DENSIDAD REAL DEL CEMENTO.....	43
TABLA 21. DOSIFICACIÓN.....	44
TABLA 22. DOSIFICACIÓN PARA LAS PROBETAS DE HORMIGÓN.....	45
TABLA 23. NUEVA DOSIFICACIÓN PARA LAS PROBETAS DE HORMIGÓN.....	47
TABLA 24. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS.....	48
TABLA 25. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.....	50
TABLA 26. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO PARA ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 14 DÍAS.....	52
TABLA 27. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO PARA ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 28 DÍAS.....	54
TABLA 28. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO PARA ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS.....	56
TABLA 29. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO PARA ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS.....	58
TABLA 30. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD.....	60
TABLA 31. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD.....	63
TABLA 32. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 14 DÍAS DE EDAD Y DENSIDAD.....	66
TABLA 33. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 28 DÍAS DE EDAD Y DENSIDAD.....	69
TABLA 34. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD Y DENSIDAD.....	72
TABLA 35. . RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y DENSIDAD A LOS 28 DÍAS DE EDAD.....	75
<b>TABLA 36. RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. DENSIDAD EN ESTADO FRESCO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS .....	49
GRÁFICO 2. DENSIDAD EN ESTADO FRESCO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS .....	51
GRÁFICO 3. DENSIDAD EN ESTADO FRESCO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 14 DÍAS .....	53
GRÁFICO 4. DENSIDAD EN ESTADO FRESCO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 28 DÍAS .....	55
GRÁFICO 5. DENSIDAD EN ESTADO FRESCO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS.....	57
GRÁFICO 6. DENSIDAD EN ESTADO FRESCO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS.....	59
GRÁFICO 7. RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS.....	61
GRÁFICO 8. DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS.....	62
GRÁFICO 9. RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 28 DÍAS.....	64
GRÁFICO 10. DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.....	65
GRÁFICO 11. RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 14 DÍAS .....	67
GRÁFICO 12. DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 14 DÍAS .....	68
GRÁFICO 13. RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 28 DÍAS .....	70
GRÁFICO 14. DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 28 DÍAS .....	71
GRÁFICO 15. RESISTENCIA A FLEXIÓN VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS ...	73
GRÁFICO 16. DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS .....	74
GRÁFICO 17. RESISTENCIA A FLEXIÓN VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS ...	76
GRÁFICO 18. DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO VS PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA PASTA POR EL CEMENTO EN EL HORMIGÓN, PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS .....	77

GRÁFICO 199. RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS DÍAS DE ENSAYO.....	79
GRÁFICO 20. RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA VS DÍAS DE ENSAYO .....	80
GRÁFICO 21. RESISTENCIA A FLEXIÓN VS DÍAS DE ENSAYO .....	81

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** “Determinación de las propiedades mecánicas de un hormigón con sustitución parcial y total del cemento por una resina de poliéster”

**AUTOR:** Elvis Fernando Rogel Apolo

**TUTOR:** Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

El presente trabajo experimental explica la elaboración de un hormigón simple, al cual se le sustituirá el cemento por la resina de poliéster, esto se lo realizará en diferentes porcentajes, para analizar su resistencia a compresión, flexión y Tracción indirecta.

Como primer paso se analizó las propiedades de los materiales a utilizar, con la finalidad de verificar que sean óptimos para su utilización y que cumplan con los requisitos para la dosificación por el método de la densidad óptima.

Como próximo paso se elaboró las mezclas para los cilindros de hormigón de prueba y poder verificar que la dosificación cumpla con la resistencia de diseño; se observó que al mezclar la resina de poliéster por el cemento la mezcla era muy fluida, razón por la cual se sustituyó a la pasta por la resina de poliéster en los mismos porcentajes.

Posteriormente se elaboró un hormigón con sustitución de la pasta por la resina de poliéster en diferentes porcentajes (0%,50%,75%,100%), con 3 muestras por cada dosificación, a las cuales estado fresco se analizaron las propiedades de trabajabilidad homogeneidad y densidad, y en estado endurecido se analizó la densidad, resistencia a compresión, flexión y Tracción indirecta.

Como última etapa se realizó los ensayos a los 14 y 28 días de edad, obteniendo información sobre el comportamiento del hormigón y sus diferentes resistencias; para la

resistencia a compresión se incrementó en cerca de 3 veces su resistencia, al igual que el módulo de rotura supero en 2 veces más su resistencia tanto por Tracción indirecta como por flexión, con respecto al hormigón tradicional.

### **EXECUTIVE SUMMARY**

**UBJECT :** Establishing the mechanical properties of a concrete with partial and total replacement of the cement with polyester resin

**AUTHOR :** Elvis Fernando Rogel Apolo

**TUTOR :** Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

The present experimental work is on the elaboration of a simple concrete which will substitute cement with polyester resin in various different percentages percentages to replace it completely, to analyze its resistance to compression, bending and indirect traction. First, the properties of the materials to be used were analyzed, with the purpose of verifying that they are optimal for their use and that they meet the requirements for dosage by the method of optimal density.

Nest, a mixture was developed for the concrete cylinders used for the test to verify that the dosage complies with the design resistance; It was observed that when mixing the polyester resin with cement, the mixture was very fluid, which is why the paste was replaced by polyester resin in the same percentages.

Later , concrete was developed with substitution of the paste with the polyester resin in different percentages (0% 50% 75% 100%) with 3 samples for each dosage, and those in a fresh state were analyzed to study the properties of workability homogeneity and density. The samples in a hardened state were analyzed for their the density, resistance to compression, bending and indirect traction.

In the final stage, tests were carried out at 14 and 28 days of age, obtaining information on the behavior of the concrete and its different results; For compression resistance, it increased by about 3 times its original resistance, as well as the module of rupture but in 2 times. its resistance to traction and to bending in comparison to traditional concrete.

## **CAPÍTULO I.**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1 Tema de investigación**

Determinación de las propiedades mecánicas de un hormigón con sustitución parcial y total del cemento por una resina de poliéster

#### **1.2 Antecedentes**

A lo largo del tiempo la humanidad a base del ingenio ha evolucionado constantemente, en cuanto a los métodos y técnicas de solucionar problemas que afectan al entorno donde se desenvuelven a diario, los materiales que se han venido usando para la construcción no se encuentran aislados del cambio y la innovación, por lo que hoy en día podemos encontrar diversos tipos de materiales a la hora de construir.

Los materiales que en primera instancia se empezaron a utilizar eran rústicos, y se los utilizaban tal como la naturaleza los ofrecía, y era cuestión de juntarlos, asegurarlos o pulirlos; pero con el transcurso del tiempo se descubrió las bondades que ofrecen al mezclar ciertos materiales para obtener mejores resultados, es ahí donde se comienza a construir elementos más elaborados, tal como ocurrió con muchas de las construcciones históricas, que perduran hasta el día de hoy.

En la actualidad, luego de haber pasado por el hormigón armado y el acero estructural que nos han acompañado por varias decenas de años, nos vemos en la necesidad de investigar nuevos materiales que nos ofrezcan características mejoradas de las que ya tenemos hoy en día.

Los estudios sobre el uso de polímeros en hormigón se iniciaron en la década de los 60's con la adición de resinas a morteros elaborados a base de cemento Pórtland, con el propósito de mejorar la resistencia al desgaste del material, primordialmente cuando eran aplicados en medios en donde se requería resistencia al ataque químico. Dentro de esta clase de hormigón se encuentra el hormigón polimérico, es un material compuesto que se elabora con resinas poliméricas y agregados minerales. La resina polimérica representa al material cementante, es decir el agente de unión de los minerales incorporados, que se le conoce como la “matriz” del material compuesto.

Las resinas de poliéster son polímeros duraderos de resinas derivadas del estireno, el estireno es un líquido transparente e incoloro, que puede obtenerse como derivado del petróleo y del gas natural; esta resina se la utilizará como sustitución parcial y total del ligante o conglomerante llamado cemento, más los agregados, para formar el hormigón polímero u hormigón polimérico. [1]

Los hormigones poliméricos presentan algunas ventajas con respecto al hormigón hidráulico, elaborado con cemento Pórtland, entre las que se encuentran: ser ligero (1/4 del peso del hidráulico), alta resistencia mecánica (en compresión, flexión e impacto), resistencia al rayado, alta resistencia química a ácidos, álcalis y otros elementos corrosivos, así como a los rayos UV; baja absorción de humedad y estabilidad bajo condiciones de congelación (Varughese, 1996). Actualmente algunas aplicaciones del hormigón polimérico son la fabricación de revestimientos delgados, tuberías, componentes prefabricados para puentes y edificios. [2]

### **1.3 Justificación**

En la actualidad el proceso de transformación científica y tecnológica ha sido explosivo y acelerado, lo que ha permitido al ser humano implementar nuevas rutas en cuanto a la investigación. Muestra de ello es el desarrollo de nuevos conceptos aplicados a través de

la ingeniería en diferentes materiales de construcción que se han desarrollado en el tiempo, siendo la industrialización, la que hace posible la producción en masa [3]

Es así que la innovación es el pilar fundamental del desarrollo de nuevas propuestas, ya que en el sector constructivo se requiere de nuevos materiales que ayuden a realizar nuevos diseños, más livianos más rápidos y sobre todo que el costo beneficio sea mejor, haciendo así posible los más modernos sueños del hombre. [3]

Con la implementación de materiales alternativos, se constituye un reto para los diseñadores al momento de calcular nuevas estructuras, mucho más eficientes ante las solicitudes de diseño.

Por tal razón se propone un material que tiene como característica utilizar un conglomerante totalmente diferente al tradicional, ya que por medio de diferentes procesos químicos y en combinación de otros se convierten en el material deseado, es decir un nuevo tipo de hormigón. [4]

En el país aún esta combinación es desconocida, muy poco o nada utilizado y carece de investigaciones previas debido a que además es relativamente nuevo, y en la actualidad hay combinaciones similares que se los utiliza en otras aplicaciones como pisos industriales, saunas y prefabricados de construcción. [4]

Este compuesto también se lo puede llamar hormigón sintético u hormigón polimérico, y es que se le da este nombre debido a que se puede sustituir el cemento Pórtland y adicionar productos químicos como acelerantes, retardantes, catalizadores, entre otros; además de agregados y elementos sellantes como resinas y en ocasiones elementos de refuerzo como fibras. [5]

Las resinas de poliéster son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido por la adición de un catalizador cambiando totalmente sus propiedades finales, [6] dando a este hormigón sintético propiedades mejoradas que las de un hormigón tradicional.



Debido a que el tiempo de fraguado de la resina de poliéster es relativamente corto en comparación del cemento convencional se puede generar un banco de incógnitas acerca de las propiedades mecánicas que tendría este material al someterlo a ensayos similares al hormigón tradicional, como por ejemplo la resistencia máxima que podría alcanzar en condiciones normales, resistencia a la Tracción indirecta, entre otros. [7]

Como proyecto esta investigación tiene la necesidad de dar a conocer las propiedades que alcanzaría este hormigón sintético ya que hay muy poca información de trabajos similares al que se propone, además de existir un desconocimiento por parte de estudiantes y profesionales en la línea de la construcción.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General:**

Analizar las propiedades mecánicas de un hormigón con sustitución parcial y total del cemento por una resina de poliéster

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la resistencia a compresión, flexión y Tracción indirecta con la adición de diferentes porcentajes de resina de poliéster, con referencia al hormigón tradicional.
- Estudiar el módulo de rotura con la adición de diferentes porcentajes de resina de poliéster, con referencia al hormigón tradicional.
- Obtener un porcentaje de la resina de poliéster en el hormigón para obtener una resistencia mayor o igual.

## **CAPÍTULO II.**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1 Fundamentación teórica**

Para elaborar esta investigación se utilizó libros, tesis de grado, artículos académicos de trabajos relacionados al hormigón tradicional y del hormigón sintético, y se estableció parámetros en los cuales podemos combinar dichos trabajos, por ejemplo, se utilizará para la dosificación del hormigón, el método de la densidad óptima y se realizara ensayos basados en las normas INEN y ASTM para completar el trabajo de forma experimental.

##### **2.1.1 Materiales de construcción**

Se definen como los cuerpos que integran las obras de construcción, cualquiera que fuera su origen, composición o forma, además de que en una obra de construcción intervienen muchos elementos, por lo que para su estudio es necesario conocer cada uno de sus componentes. [8]

Para elaborar hormigón se necesita de varios componentes, cemento, agua, arena y ripio, pero existen varios materiales alternativos que se pueden añadir a esta mezcla para mejorarlos; la resina de poliéster debido a sus propiedades se irá sustituyendo progresivamente en remplazo del cemento en diversos porcentajes para así mejorar las características del hormigón tradicional.

##### **2.1.1.1 Hormigón**

Se denomina así a la roca artificial formada por la unión de agregado grueso, fino, cemento y agua, que a través de un proceso de catalización de estos componentes forma una mezcla homogénea con características ligantes. El cemento junto con el agua actúa como un

material aglutinante, el cual a través del tiempo tiende a endurecerse permitiendo al material soportar diversos esfuerzos, y por su parte la grava y arena forman el relleno.

### **Componentes del hormigón**

El hormigón se fabrica mezclando homogéneamente: cemento, agua, arena y grava. A continuación se explicará cada uno de los componentes, enumerando sus funciones dentro del hormigón, sus características y cualidades para obtener un hormigón de buena calidad.

#### **2.1.1.1.1 Cemento**

La palabra cemento se emplea para designar a toda sustancia que posea condiciones de pegante cualquiera que sea su origen. El cemento Portland se define, como el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso. El Clinker resulta de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos. [8].

El cemento se clasifica según su composición química, utilización, resistencia, fraguado; el cemento más utilizado comúnmente es el cemento hidráulico portland, que según la norma INEN 152 [10] lo clasifica como Tipo I, que es el que vamos a utilizar. [10]

La densidad del cemento debe encontrarse entre 2.9 y 3.15 gr/cm<sup>3</sup>, midiéndose según la norma INEN 156. [12]

#### **2.1.1.1.2 Agua**

El agua es un componente esencial en las mezclas de hormigón, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua sólo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando fragua el hormigón, va a crear porosidad, lo que

reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes. [8]

El agua utilizada en el hormigón debe ser potable en lo posible o al menos debe estar libre de impurezas. Nunca debe usarse agua de mar, pues su salinidad afecta al acero en el hormigón armado y en el hormigón preesforzado. [10]

#### **2.1.1.1.2 Áridos**

Es el material granular como arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico. [12]

La importancia del uso de los tipos y calidad correctos del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60 % al 75 % del volumen del hormigón (70 % a 85 % de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del hormigón [12]

Mientras mayor sea el nivel de compactación del hormigón, mejor será su resistencia y más económica será su fabricación; por esta razón resulta importante cuidar la granulometría (tamaño de los granos y distribución estadística de esos tamaños de grano) de los áridos. También es importante que las características mecánicas de los áridos sean adecuadas y que los áridos estén libres de impurezas. [10]

Una de las principales funciones de los agregados es transmitir su resistencia a la compresión y abrasión al hormigón elaborado con ellos, motivo por el cual se recomienda que estos sean fuertes, durables y limpios, este último aspecto garantiza la adherencia con la pasta de cemento.

El contenido de humedad de los agregados se basa en la norma INEN 862 [16], factor que interviene al momento del fraguado, debido a que el cemento reduce su volumen los agregados actúan disminuyendo los cambios volumétricos en el conjunto.

Estos se clasifican según el tamaño en áridos gruesos (grava) y áridos finos (arena), para la elaboración de morteros deben cumplir con la norma INEN 872 [17], que indica las granulometrías adecuadas.

### **Árido Fino (Arena)**

Material que pasa la malla número 4, es decir agregados con tamaños menores a los 5mm, y es retenido en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), los áridos recomendados son aquellos de tipo silíceo, calizas sólidas y densas, las mejores arenas son las de río, las rocas sedimentadas o volcánicas son motivo de análisis, no se deben emplear gravas originadas de calizas blandas, feldespatos, piritas, yesos o rocas porosas, las provenientes de minas deben lavarse por contener arcilla.

Una condición de la arena para aceptarse como material constituyente del hormigón es que esté limpia y crujiente al apretar en los dedos además debe estar libre de impurezas orgánicas.

Su función es la de llenante por lo cual debe estar bien graduada y proporcionar manejabilidad al hormigón. Si su textura tiende a ser suave y la forma es redondeada se necesitara menos cantidad de agua para el amasado.

### **Árido Grueso (Grava-Ripio)**

El material cuyo tamaño es mayor a 5mm (Tamiz N° 4). En lo que se refiere al agregado grueso es preferible que sean triturados, estos mejoran la adherencia con la pasta proporcionando una mayor resistencia.

Es preferible que sean agregados cúbicos o esféricos ya que necesitan menor cantidad de pasta para cubrir su superficie, al ser angulosos dificultan la trabajabilidad, también deben evitarse el uso de gravas alargadas porque están no proporcionan resistencias adecuadas.

## **Propiedades de los áridos**

### **Densidad Aparente Suelta**

La Densidad Aparente se define como la relación que existe entre la masa del material sobre el volumen que ocupa, incluye los poros impermeables pero no incluye a los capilares o poros permeables.

La densidad aparente del agregado es un buen indicador de varias características importantes como es la porosidad, el grado de aereación y la capacidad de infiltración. La densidad aparente varía con el grado de compactación. [13]. La norma INEN 858 [19] determina el procedimiento para determinar este parámetro.

### **Densidad Aparente Compactada**

Se define como la relación que existe entre la masa del material y el volumen que ocupa, llenado en tres capas similares utilizando una varilla determinada para la compactación por capas. El proceso para determinar este valor se rige a la norma INEN 858. [19]

### **Curva Granulométrica de los Agregados**

La norma ASTM C33 determina límites para la curva granulométrica dentro de los cuales se verifica si el árido empleado es apto para elaborar hormigón, si la curva está bajo la de la norma el agregado es muy grueso, y si está por sobre la curva de la norma el agregado es muy fino.

**Tabla 1.** Límites de Granulometría Agregado grueso

<b>Tamiz</b>		<b>Limite (% que pasa)</b>	
ASTM C33	Abertura (mm)	Inferior	Superior
2"	50.8	100	100
1 1/2"	38.0	95	100
1"	25.4	-	-
3/4"	19.0	35	70
1/2"	12.5	-	-
3/8"	9.5	10	30
Nº4	4.76	0	5

**Fuente:** ASTM C-33. Especificación Normalizada para Agregados en el Hormigón

**Tabla 2.** Límites de Granulometría Agregado fino

<b>Tamiz</b>		<b>Limite (% que pasa)</b>	
ASTM C33	Abertura (mm)	Inferior	Superior
3/8"	9.50	100	100
Nº4	4.75	95	100
Nº8	2.38	80	100
Nº16	1.19	50	85
Nº30	0.60	25	60
Nº50	0.30	10	30

N°100	0.15	2	10
-------	------	---	----

**Fuente:** ASTM C-33. Especificación Normalizada para Agregados en el Hormigón

### **Módulo de Finura del Agregado Fino**

Denominado también como módulo granulométrico, se obtiene mediante la suma de los porcentajes retenidos en los tamices de la Serie de Tyler, hasta el tamiz N°100, esto dividido para 100, conforme el módulo de finura disminuye se tiene un agregado más fino, este valor debe estar entre 2.3 y 3.1 para aceptarse apta el arena en la elaboración de hormigón.

### **Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso**

El tamaño nominal máximo del agregado grueso influye en la economía del hormigón. Normalmente, se requiere más agua y cemento en hormigones con agregados gruesos de tamaño nominal máximo menor comparado con agregados de tamaño nominal máximo mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado. [13]

#### **2.1.1.1.4 Dosificación**

Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiriera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse [14]

### **Dosificación Método de la Densidad Óptima**



Éste método de diseño se presenta como una alternativa de dosificación de hormigones, la importancia fundamental de éste método es que se pueda aplicar al diseño de mezclas con granulados de “deficiente” granulometría, bajo este concepto, la aplicación del método de diseño de mezclas basado en la Densidad Máxima de los agregados cobra importancia, debido a la gran variedad de agregados que se dispone en nuestro País, los cuales muchas veces no cumplen las normas establecidas para ser usados.

El fundamento de éste método de diseño de mezclas es el de utilizar la cantidad de pasta mínima necesaria para obtener un hormigón de buena calidad, para lo cual es necesario obtener una combinación de agregados que deje el menor porcentaje de vacíos posible. Ésta combinación se la obtiene mediante un ensayo de Densidad Óptima de los Agregados.

Por su parte, el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Central del Ecuador, mediante estudios preliminares, nos da valores en función de la relación agua/cemento del hormigón y valores de la cantidad de pasta que requiere el hormigón de acuerdo al asentamiento buscado para cemento Portland Puzolánico tipo. Estos valores se detallan en las siguientes tablas: [13]

**Tabla 3.** Relación A/C según resistencia a la compresión del hormigón

<b>f`c a los 28 días de edad (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>A/C</b>
450	0.37
420	0.40
400	0.42
350	0.47
320	0.51
300	0.52
280	0.53
250	0.56

240	0.57
210	0.58
180	0.62
150	0.70

**Fuente:** GARZÓN M., “Seminario de Graduación, Investigación sobre el Modulo de Elasticidad del Hormigón”, Universidad Central del Ecuador, p.47, Quito (2010).

**Tabla 4** Cantidad de pasta según asentamiento en el hormigón

<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Cantidad de Pasta CP</b>
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:** GARZÓN M., “Seminario de Graduación, Investigación sobre el Modulo de Elasticidad del Hormigón”, Universidad Central del Ecuador, p.47, Quito. (2010).

**Tabla 5** Datos requeridos para dosificar

<b>Datos</b>	<b>Nomenclatura</b>
Resistencia del Hormigón a los 28 días	$f`c$
Asentamiento en el Cono de Abrams	cm
Densidad real del cemento	DRC
Densidad real de la arena	DRA
Densidad real del ripio	DRR
Porcentaje óptimo de ripio	POR
Porcentaje óptimo de arena	POA
Densidad óptima del agregado	DOAg
Densidad aparente suelta de la arena	DASA
Densidad aparente suelta del ripio	DASR

Densidad aparente compactada de la arena	DACA
Densidad aparente compactada del ripio	DACR

### Procedimiento de cálculo

#### 1) Densidad Real de los Agregados (DRAg)

$$DRAg = DRA * POA + DRR * POR$$

#### 2) Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRAg - DOAg}{DRAg} * 100$$

#### 3) Cantidad de Pasta (CP)

El valor de la cantidad de pasta se determina en porcentaje acorde a la Tabla N°4 según el asentamiento requerido en el hormigón.

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta CP
6 – 9	POV + 2% + 8%(POV)

$$CP\% = POV + 2\% + 8\%(POV) \%$$

$$CP = \frac{CP\%}{100} * 1000 \text{ dm}^3$$

#### 4) Relación Agua/Cemento (W/C)

Se toma de la Tabla N°3 la relación Agua/Cemento correspondiente a la resistencia de 210 kg/cm²

f`c a los 28 días de edad (kg/cm²)	W/C
210	0.58

### 5) Cantidad de Cemento (C)

$$CC = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

### 6) Cantidad de Agua (W)

$$W = \left(\frac{W}{C}\right) * C$$

### 7) Cantidad de Arena (A)

$$A = (VH' - CP) * DRA * POA$$

### 8) Cantidad de Ripio (R)

$$R = (VH' - CP) * DRR * POR$$

### 9) Dosificación

Se procede de la siguiente manera para una dosificación al peso de cualquier componente de la mezcla (W,A,R).

$$\text{Dosificación al peso}(W, A, R) = \left(\frac{\text{Cantidad de Material}}{\text{Cantidad de Cemento}}\right)$$

Obteniendo esta relación, se puede obtener por regla de tres simple la cantidad de cualquier material.

#### **Corrección por humedad a la dosificación.**

La corrección por humedad se hace necesaria por el contenido de humedad que presentan los agregados fino y grueso, se la realiza un día antes de hacer la mezcla, debe cumplir con las normas INEN 856 [21] – INEN 857 [22]

Una vez obtenida la dosificación se aplica la corrección por humedad de la arena como del ripio:

$$\text{Corrección por humedad} = \text{Masa} * \frac{100 + \% \text{humedad}}{100 + \% \text{absorción}}$$

### **2.1.1.2 Resina de poliéster**

Las resinas, en general pueden ser clasificadas en termoplásticas y termofijas, las termoplásticas se presentan solidas a temperatura ambiente siendo procesadas por calentamiento, fusión y enfriamiento en un molde apropiado, este proceso puede ser ejecutado más de una vez, de modo que estas resinas pueden ser recicladas, mientras que las resinas termofijas, una vez moldeadas no pueden ser reprocesadas (Plastiquímica).

Las resinas de poliéster de este tipo son líquidas, y al adicionar sustancias especiales (catalizadores y acelerantes) se las transforman en sólidos a temperatura ambiente; La transformación de estas resinas en un estado sólido se conoce como polimerización o curado, esta reacción no ocurre instantáneamente después de la adición de los promotores de curado; después de ser activadas, ellas también permanecen inalteradas durante algunos minutos (5, 10, 15 o más minutos, dependiendo de las cantidades de catalizador, acelerador y de las condiciones ambientales), luego pasan por una etapa gelatinosa antes de endurecer.

Una vez ocurrida la gelatinización el curado prosigue con gran desprendimiento de calor (reacción exotérmica) hasta que la resina presenta, después del enfriamiento, las características físicas de un sólido rígido que ya no puede ser transformado en líquido.

La resina de poliéster que se pudo encontrar en el mercado fue la “SINTAPOL 437” la cual esta preacelerada con octoato de cobalto en una concentración del 2 %, además para su uso se utilizó un catalizador llamado peróxido de mek con una concentración del 5 % del peso de la resina de poliéster, el cual ayuda a su gelatización.

### **2.1.2 Propiedades del Hormigón**

### **2.1.2.1 Propiedades en estado fresco**

#### **2.1.2.1.1 Densidad en estado fresco**

Esta propiedad es muy similar a la densidad del hormigón en estado endurecido y depende de las densidades de los agregados como del porcentaje de vacíos que tenga el hormigón; pudiendo definirse como la masa por unidad de volumen.

#### **2.1.2.1.2 Trabajabilidad**

El hormigón en estado fresco se considera trabajable cuando puede adaptarse fácilmente a cualquier forma de encofrado, con un mínimo de trabajo aplicado y depende fundamentalmente del agua de amasado; cuantitativamente la trabajabilidad puede medirse por varios métodos, el más utilizado es el Cono de Abrams, que mide el asentamiento que tendrá el hormigón, mientras mayor es el asentamiento o mayor es el diámetro de dispersión, el hormigón es más trabajable.

#### **Prueba del Cono de Abrams**

Consiste en llenar un molde metálico con tres capas de mezcla apisonadas con 25 golpes de varilla de punta redondeada, una vez retirado el molde se mide el asentamiento que se da en la masa de hormigón con respecto a la altura inicial dada por el molde según la norma ASTM C 143.

Asentamientos menores a 2” (5 cm.) corresponden a hormigones poco trabajables; asentamientos entre 3” (7.5 cm.) y 5” (12.5 cm.) corresponden a hormigones medianamente trabajables; asentamientos superiores a 6” (15 cm.) son característicos de hormigones muy trabajables.

#### **2.1.2.1.3 Homogeneidad**

Distribución regular de los diferentes componentes del hormigón en su seno. Requiere un buen amasado, un cuidadoso transporte y adecuado vertido para evitar segregación o

decantación del árido, esta se la puede medir por inspección visual, dándole una calificación de buena o mala.

### **2.1.2.2 Propiedades en estado endurecido**

#### **Densidad**

Depende fundamentalmente del tipo de árido, del método de compactación y del aire ocluido. Por lo general, el hormigón tiene un peso (peso unitario) entre 2155 y 2555 kg/m<sup>3</sup>, y comúnmente se toma entre 2315 y 2400 kg/m<sup>3</sup> [16]

Se emplea como indicador de la uniformidad de la mezcla, junto con la trabajabilidad, revela cambios en contenidos de agua, cemento o en la granulometría de los áridos [15]

### **2.1.2.3 Propiedades Mecánicas**

Para el diseño de estructuras de hormigón simple o armado, se utilizan las propiedades mecánicas, entre las más importantes tenemos:

#### **2.1.2.3.1 Resistencia a la compresión**

El concreto pasa de un estado plástico a sólido mediante el proceso de fraguado que conlleva una serie de procesos físico-químicos complejos, dándole a este la dureza que le caracteriza, siendo la resistencia a la compresión simple la característica mecánica más importante del hormigón. [10]

La resistencia a la compresión del hormigón se determina en muestras cilíndricas estandarizadas, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas, que duran unos pocos minutos. Esta resistencia se la mide luego de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad. [10]

El Ensayo a compresión Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros de hormigón a una velocidad entre 3.53 a 5.30 kN/S hasta que ocurra la falla, la resistencia a compresión de la probeta se obtiene dividiendo la carga máxima alcanzada para el área de la sección transversal de la muestra ensayada, rigiéndose a la norma INEN 1573. [25]

Las resistencias obtenidas deben estar dentro de los límites según la edad de ensayo del hormigón, así tenemos: para hormigones ensayados a los 14 días de edad su límite inferior será del 80% y su límite Superior será de un 90% de la resistencia de diseño; a los 28 días de edad su límite inferior será del 95% y su límite Superior será de un 105% de la resistencia de diseño.

#### **2.1.2.3.2 Resistencia a la flexión**

El hormigón es un material ineficiente resistiendo cargas de Tracción indirecta; comparativamente esta resistencia representa hasta un 15% de su capacidad a la compresión. Es por ello que en el hormigón armado los esfuerzos de Tracción indirecta son absorbidos por el acero de refuerzo. [10]

Esta falla se produce a momento ya sea en una losa o una viga no reforzada, y se determina mediante los ensayos ASTM C78 (carga en los puntos tercios) o ASTM C293 (Carga en el punto Medio), el Módulo de rotura determinada por la viga cargada en los puntos tercios es más baja que el módulo de rotura determinada en el punto medio, pudiendo llegar a un 15% de la resistencia a compresión.

Así, El instituto ecuatoriano de normalización establece parámetros necesarios en el desarrollo del método de ensayo para la determinación de la resistencia a flexión del



hormigón mediante el uso de una viga simple apoyada en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre, con una sección transversal de 150mm por 150mm y con una luz mínima de tres veces su espesor, INEN 2554. [26]

Los ensayos de vigas para obtener el Modulo de Rotura son muy susceptibles a las más pequeñas variaciones como son: contenido de humedad, manejo de las probetas, calidad y manejo de los materiales y equipos para la fabricación, entre otros.

#### **2.1.2.3.3 Resistencia a la Tracción indirecta**

Una de estas alternativas para determinar este valor es el “Ensayo Brasileño” que consiste en comprimir una probeta cilíndrica aplicando cargas opuestas diametralmente a la sección transversal; con esto se obtendrá una resistencia a la Tracción indirecta del Hormigón que si bien no tiene todos los parámetros involucrados en la flexión nos puede dar una idea clara de cuál es la resistencia del hormigón a este esfuerzo.

La falla del cilindro se produce por separación, sobre un eje vertical, de las dos mitades de la muestra. Según ASTM C496.

La resistencia a la Tracción indirecta es generalmente mayor que la resistencia a la Tracción directa y menor que la resistencia a la flexión (Módulo de ruptura).

#### **2.1.3 Mezcla**

La incorporación y mezcla se ejecuta cuidadosamente para obtener homogeneidad. Este puede ser manual o mecánico.

#### **Llenado de moldes**

Este proceso se ejecuta conforme a la norma INEN 1576 [27], básicamente consiste en el llenado de cilindros normalizados en capas, compactándolas con 25 golpes de espiral con

la varilla compactadora, para sacar el exceso de aire se emplea un martillo de goma con el que se dan golpes laterales que van de nueve a doce.

## **Fraguado**

Reacción química producida entre el cemento y el agua que provoca el endurecimiento del hormigón, motivo por el cual las probetas deben almacenarse en un lugar aislado del sol para evitar evaporación prematura del agua de amasado, esto durante 24 horas.

Entre los factores que intervienen en la duración del fraguado esta la finura del cemento, mientras más fino el proceso es más rápido, lo mismo sucede al emplear menos agua, en cuanto a los agregados estos deben estar libres de materia orgánica ya que eso retrasaría el fraguado, las elevadas temperaturas minimizan este tiempo.

## **Curado**

Transcurridas 24 horas las probetas son desmoldadas e introducidas en una cámara de curado que mantiene la humedad del hormigón, consiguiendo que la reacción química del cemento continúe. La continuidad en el proceso de hidratación del cemento mejora la durabilidad, resistencia mecánica, estabilidad volumétrica, resistencia al desgaste e impermeabilidad. La temperatura adecuada para el curado oscila entre los 22 a 24 °C, y el agua a usarse para este procedimiento debe ser potable.

## **2.2 Hipótesis**

La sustitución de cemento por resina de poliéster influye en la resistencia a compresión flexión y Tracción indirecta del hormigón

## **2.3 Señalamiento de las variables de la hipótesis**

### **2.3.1 Variable Independiente**

Sustitución de cemento por resina de poliéster

### **2.3.2 Variable Dependiente**

Resistencia a compresión flexión y tracción indirecta del hormigón

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **3.1. Tipo de investigación**

##### **3.1.1 Investigación aplicada**

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que se podrá determinar diferentes propiedades de la nueva combinación de materiales, para poder usarlo en futuros proyectos, poniendo en práctica los conocimientos obtenidos previamente a lo largo de la carrera universitaria

##### **3.1.2 Investigación de laboratorio**

Para poder realizar este trabajo se necesitara elaborar diversas muestras, dosificadas y ensayadas en el laboratorio, para que preste las garantías necesarias de un buen trabajo.

##### **3.1.3 Investigación Experimental**

Por último, esta investigación cae en el tipo experimental, debido a la búsqueda de resultados que obtendremos ensayando un número de muestras con diversos tipos de ensayos, dosificando cada muestra con diferentes porcentajes de cemento con sustitución de resina de poliéster.

### 3.2. Población y muestra

La población y la muestra serán las mismas ya que la población de esta investigación tomara el número de muestras a ensayarse; siguiendo lo que nos dice la norma ASTM C31, donde indica que se deberá utilizar dos muestras como mínimo, pero para resultados mejores se tomara 3 muestras por dosificación para sacar un promedio y evaluar las propiedades mecánicas que necesitemos.

**Tabla 6.** Número de probetas cilíndricas del estudio.

Ensayos	Número de muestras para promediar	Número según la edad del hormigón, 14 y 28 días	Porcentajes para sustitución 0,25,50,100 %	Sub Total
Compresión	3	2	5	30
Flexión	3	2	5	30
Tracción indirecta	3	2	5	30
TOTAL				90

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

### 3.3. Operacionalización de variables

#### 3.3.1 Variable independiente

Sustitución de cemento por resina de poliéster.

**Tabla 7.** Operacionalización de Variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
La sustitución del cemento por la resina de poliéster consiste en reemplazar parcial y totalmente estos componentes en diferentes porcentajes, para analizar las diferentes propiedades que adquiere el hormigón.	Cemento	Trabajabilidad	¿Cuál es el asentamiento del hormigón para los diferentes porcentajes de sustitución?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación bibliográfica</li> <li>- Investigación experimental</li> </ul>
		Homogeneidad	Como es la distribución de los componentes del hormigón al sustituir el cemento por la resina de poliéster en diferentes porcentajes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayos de laboratorio</li> <li>- Observación de laboratorio</li> </ul>
	Resina de poliéster	Cantidad	¿Cuál es el porcentaje óptimo de sustitución para elaborar hormigón con mejores resultados?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de resultados</li> </ul>

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

### 3.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a compresión, flexión y tracción indirecta del hormigón

**Tabla 8.** Operacionalización de Variable dependiente

Concepto	Dimensión	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>La resistencia a la compresión de una probeta de hormigón es la carga axial de compresión máxima alcanzada por la sección de hormigón antes de la falla.</p> <p>La resistencia a flexión se la determina por ensayos en una viga simplemente apoyada de hormigón simple.</p> <p>La resistencia a Tracción indirecta se mide por el módulo de rotura y se obtiene con ensayos a muestras cilíndricas o a vigas normalizadas.</p>	Propiedades Mecánicas	Ensayo de compresión, flexión y compresión diametral	¿Cuál es la influencia en las propiedades mecánicas?	Norma INEN 1763 Normas INEN, ASTM. Norma INEN 1 576 Norma INEN 2554 Norma ASTM C 496

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

### 3.4. Plan de recolección de información.

**Tabla 9.** Plan de Recolección de Información

<b>Preguntas Básicas</b>	<b>Explicación</b>
1. ¿Para qué?	Analizar la resistencia a compresión y el módulo de rotura del hormigón al remplazar el cemento por la resina de poliéster.
2. ¿De qué personas u objetos?	De probetas de hormigón simple, elaboradas con diversos porcentajes de mezcla.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Resistencia a la Tracción indirecta
4. ¿Quién?	Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo
5. ¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de ensayos de materiales del GAD Ambato.
6. ¿Cómo?	Mediante pruebas y ensayos de laboratorio.

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

### 3.5. Plan procesamiento y análisis

#### 3.5.1. Plan de Procesamiento de la Información

- Revisión crítica, técnica y detallada de la información recolectada.
- Tabulación de datos acorde a las variables de la hipótesis, manejo de la información.
- Representación gráfica de resultados.

#### 3.5.2. Plan de Análisis e Interpretación de Resultados

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos, haciendo referencia a los objetivos e hipótesis.
- Verificación de la hipótesis, determinación de conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Metodología de Trabajo

Para desarrollar este capítulo, se realizó muestras experimentales previas, que nos ayuden a verificar los materiales con los que contamos, además para que nos ayude a observar y corregir, si es necesario, la dosificación calculada previamente.

Se realizó diferentes ensayos de laboratorio para el agregado grueso, agregado fino, y el cemento, con el objetivo de conocer las características físicas y mecánicas de los materiales para la preparación del Hormigón, además de verificar que éstos cumplan con los requerimientos establecidos por la Norma INEN 872 [17] y INEN 152 [10].

Se realizarán muestras de hormigones cuya resistencia a la compresión esperada será de 210 kg/cm<sup>2</sup> para tener un punto de referencia y cuya dosificación estará basada en el Método de Densidad Óptima, también se sustituirá la pasta del hormigón tradicional por la resina de poliéster en diferentes porcentajes; los ensayos a realizarse a las probetas estarán respaldados por la ASTM C31

##### 4.1.1 Ensayos Realizados a los Agregados

**Tabla 10.** Ensayo Realizados a los Agregados

ENSAYOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Granulometría	X	x
Densidad Aparente	X	x
Densidad real	X	x
Capacidad de Absorción	X	x

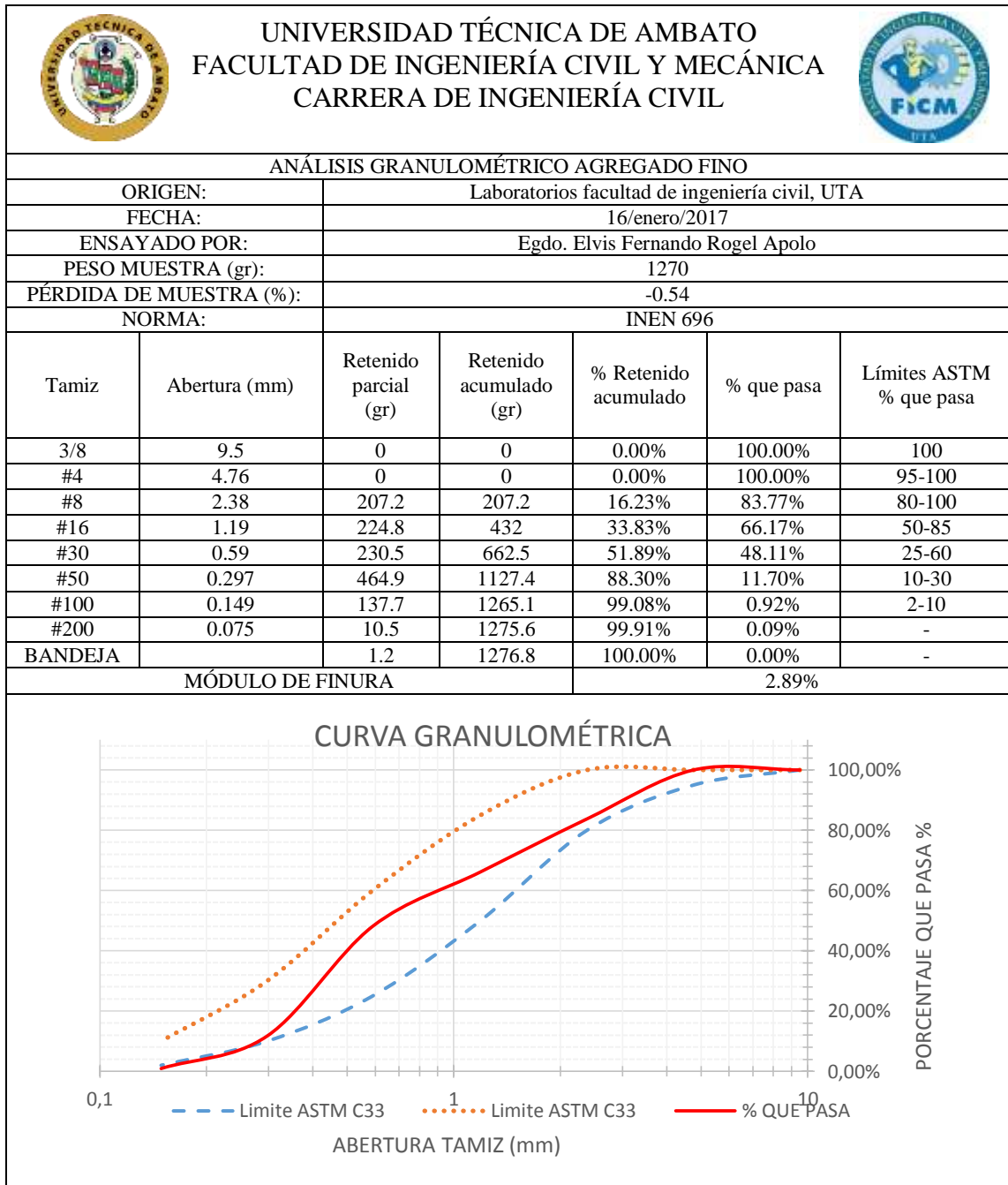
**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo



## Ensayo N°1.- Análisis Granulométrico

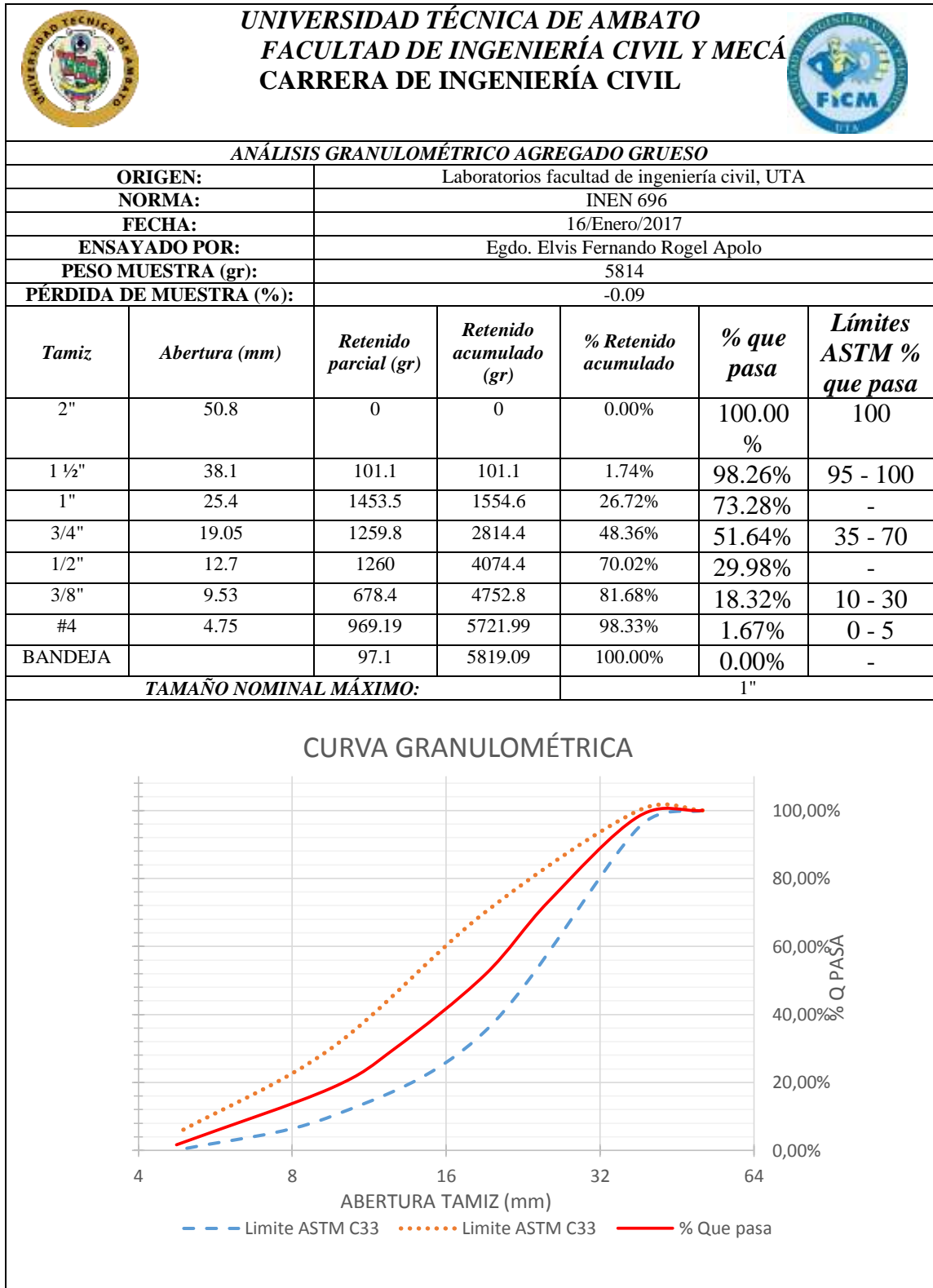
Se procede a ensayar tanto el agregado fino como grueso haciéndolos pasar por los tamices que determina la norma INEN 696 [28], con el objeto de verificar si estos son aptos para la elaboración de hormigón.

**Tabla 11.** Granulometría del agregado fino (arena)



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Tabla 12.** Granulometría del agregado grueso (ripio)



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Interpretación:** Realizado el ensayo de Granulometría del agregado fino y grueso bajo la norma INEN 696 [28], podemos observar en las gráficas que las curvas granulométricas se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma, siendo así que los agregados son aptos para la elaboración de Hormigón.

### Ensayo N°2.- Densidad Aparente compactada de la Arena y del Ripio

Esta densidad se obtiene llenando un molde de dimensiones específicas en tercios compactados cada uno con 25 golpes en espiral de adentro para afuera sin tocar la capa anterior, una vez lleno enrasamos y pesamos. La densidad se calcula dividiendo el peso para el volumen del recipiente.

**Tabla 13.** Densidad Aparente compactada de la Arena y del Ripio

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO</b>				
<b>ORIGEN:</b>	La Cadena: Río Zapotal - La Unión: Recinto Potosí			
<b>NORMA:</b>	INEN 858			
<b>FECHA:</b>	16/ene/2017			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo			
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>	20.24			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + Recipiente (kg)</b>	<b>Agregado (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
GRUESO	40.60	30.80	1.52	1.43
	40.70	30.90	1.53	
FINO	41.00	31.20	1.54	1.60
	41.00	31.20	1.54	

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

### Ensayo N°3.- Densidad Aparente Suelta de la Arena y del Ripio

Para determinar la densidad aparente suelta de los agregados procedemos con cada uno a llenar un molde de dimensiones establecidas únicamente con una pala hasta el borde, se enrasa y se pesa, la densidad se obtiene dividiendo este peso para el volumen del molde.

**Tabla 14.** Densidad Aparente compactada de la Arena y del Ripio

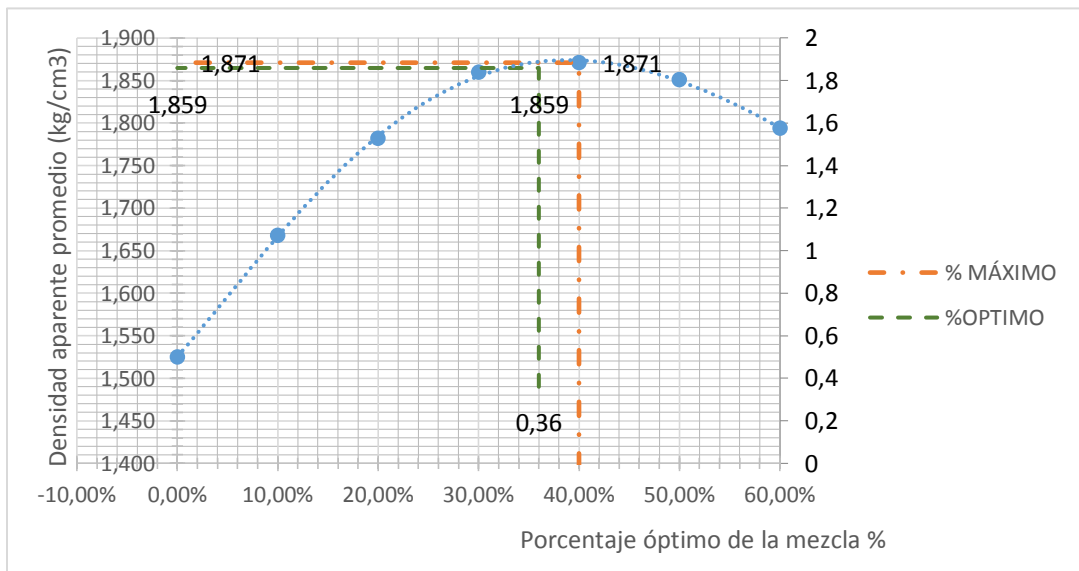
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO</b>				
<b>ORIGEN:</b>	La Cadena: Río Zapotal - La Unión: Recinto Potosí			
<b>NORMA:</b>	INEN 858			
<b>FECHA:</b>	16/ene/2017			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo			
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>	20.24			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + Recipiente (kg)</b>	<b>Agregado (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
GRUESO	38.00	28.20	1.39	1.40
	38.10	28.30	1.40	
FINO	39.15	29.35	1.45	1.45
	39.10	29.30	1.45	

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Tabla 15.** Densidad Aparente Compactada de una Mezcla de Agregados

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
<b>ORIGEN:</b>			La Cadena: Río Zapotal - La Unión: Recinto Potosí					
<b>NORMA:</b>			INEN 858					
<b>FECHA:</b>			16/ene/2017					
<b>ENSAYADO POR:</b>			Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>			9.8					
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>			20.24					
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm <sup>3</sup> )	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.60	30.80	1.522	1.525
					40.70	30.90	1.527	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	43.40	33.60	1.660	1.668
					43.70	33.90	1.675	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	45.90	36.10	1.784	1.782
					45.80	36.00	1.779	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	47.30	37.50	1.853	1.859
					47.55	37.75	1.866	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	47.70	37.90	1.873	1.871
					47.60	37.80	1.868	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	47.10	37.30	1.843	1.851
					47.40	37.60	1.858	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	46.00	36.20	1.789	1.794
					46.20	36.40	1.799	



- - - % 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/cm <sup>3</sup> )	1.871
Peso unitario óptimo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.865

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

### Análisis:

Observamos mediante la Tabla 14 que el Peso unitario Máximo y Óptimo, fue de 1,871gr/cm<sup>3</sup> y 1,865 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente, el primero nos permitió establecer el porcentaje Máximo de Agregado Grueso (60%) y Fino (40%), y el segundo el porcentaje Óptimo de Agregado Grueso (64%) y Fino (36%), se determina mediante la norma INEN 858 [19] - ASTM C29), así estableciendo la cantidad de peso de agregado que requiere por unidad de volumen de Hormigón.

### Ensayo N°4.- Densidad Real de los Agregados

La densidad real de los agregados se determina con la arena y ripio en estado saturado superficie seca, para la arena usamos el método del picnómetro y para el ripio el método de la canastilla.

**Tabla 16.** Densidad Real del Agregado Grueso

<i>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</i>			
<i>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</i>			
<i>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</i>			
<i>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO</i>			
<b>ORIGEN:</b>	La Cadena: Río Zapotal - La Unión: Recinto Potosí		
<b>NORMA:</b>	INEN 857		
<b>FECHA:</b>	16/Enero/2017		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo		
<i>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL</i>			
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1236.00
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1114.00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	4984.00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	3367.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3748.00
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2253.00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm <sup>3</sup>	1495.00
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm <sup>3</sup>	2.51

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Tabla 17.** Densidad Real de la Arena

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>			
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO</b>			
<b>ORIGEN:</b>	La Cadena: Río Zapotal - La Unión: Recinto Potosí		
<b>NORMA:</b>	INEN 856		
<b>FECHA:</b>	16/Enero/17		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo		
<b>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL</b>			
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDA D</b>	<b>VALO R</b>
M1	Masa del picnómetro	gr	167.10
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	406.60
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	810.60
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	404.00
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	664.40
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	497.30
DA=M6/500cm 3	Densidad del agua	gr/cm3	0.99
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	93.30
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	239.50
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	93.81
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.55

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Ensayo N°5.- Capacidad de Absorción de los Agregados.**

La capacidad de absorción se determina con los agregados en estado SSS (Saturado superficie seca) en donde no puede absorber más agua ni liberarla, para calcularla se requiere pesar una muestra en estado sss y luego la misma seca al horno.

**Tabla 18.** Capacidad de absorción del agregado grueso

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>				
<b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M7	Masa del recipiente	gr	110.30	110.20
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	864.60	763.90
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	754.30	653.70
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	847.80	746.80
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	737.50	636.60
$CA = ((M9 - M11) / M11) * 100$	Capacidad de absorción	%	2.28	2.69
$P2 = (CA1 + CA2) / 2$	Capacidad de absorción promedio	%	2.48	

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo



**Tabla 19.** Capacidad de absorción del agregado fino

<i>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</i>				
<i>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</i>				
<i>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</i>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNID AD</b>	<b>VALOR</b>	
M7	Masa del recipiente	gr	33.20	32.00
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	173.50	192.40
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	140.30	160.40
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	171.20	189.90
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	138.00	157.90
$CA = ((M9 - M11) / M11) * 100$	Capacidad de absorción	%	1.67	1.58
$P2 = (CA1 + CA2) / 2$	Capacidad de absorción promedio	%	1.62	

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

#### 4.1.2 Ensayos Realizados al cemento

##### Ensayo N°6.- Densidad Real del Cemento

Se ejecuta de la misma manera que el ensayo para la densidad real de la arena, usando el método del picnómetro.

**Tabla 20.** Densidad real del cemento

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</b>				
<b>TIPO:</b>		PORTLAND IP		
<b>NORMA:</b>		INEN 156		
<b>FECHA:</b>		16-ene-17		
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo		
<b>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del picnómetro	gr	163.70	164.30
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	228.90	311.30
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	577.40	637.60
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	348.50	326.30
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	529.50	529.50
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	365.80	365.20
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0.73	0.73
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	17.30	38.90
M <sub>C</sub> =M2-M1	Masa del cemento	gr	65.20	147.00
V <sub>G</sub> =M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm <sup>3</sup>	24.65	46.70
DRC=M <sub>C</sub> /V <sub>G</sub>	Densidad real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2.65	3.15
	Densidad real promedio	gr/cm <sup>3</sup>	2.896	

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

#### 4.1.3. Dosificación del hormigón según el Método de la Densidad Óptima

Una vez obtenidos las características físicas de los agregados a utilizarse, se calculará la dosificación de la mezcla mediante el método de la Densidad Óptima desarrollada por la Universidad Central del Ecuador:

**Tabla 21.** Dosificación

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>					
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>					
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>TABLA RESUMEN DE DOSIFICACIÓN</b>					
<b>MÉTODO:</b>		Densidad Óptima			
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo			
<b>DATOS DE ENSAYO</b>			<b>CÁLCULOS</b>		
<b>f'c</b>	210	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>DRAg</b>	2.524	kg/dm <sup>3</sup>
<b>Asentamiento</b>	7	cm	<b>POV</b>	26.12	%
<b>W/C</b>	0.58		<b>CP</b>	302.1	dm <sup>3</sup>
<b>CP en %</b>	%POV +2% + 8%POV		<b>CANTIDAD EN kg por m<sup>3</sup></b>		
<b>DRC</b>	2.896	kg/dm <sup>3</sup>	<b>C</b>	326.5	dm <sup>3</sup>
<b>DRA</b>	2.55	kg/dm <sup>3</sup>	<b>W</b>	189.4	Lt
<b>DRR</b>	2.51	kg/dm <sup>3</sup>	<b>A</b>	640.7	Kg
<b>POA</b>	36	%	<b>R</b>	1121.1	Kg
<b>POR</b>	64	%			
<b>DOAg</b>	1.865	kg/dm <sup>3</sup>			
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO</b>					
<b>W</b>	0.58				
<b>C</b>	1				
<b>A</b>	1.96				
<b>R</b>	3.43				

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Tabla 22.** Dosificación para las probetas de hormigón

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>						
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>DOSIFICACIÓN DE CILINDROS Y VIGAS CON LOS DIFERENTES PORCENTAJES DE RESINA DE POLIÉSTER</b>						
<b>MÉTODO:</b>		Densidad Óptima				
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo				
<b>CILINDROS</b>						
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PORCENTAJES DE RESINA DE POLIÉSTER</b>				
		0%	25%	50%	75%	100%
CEMENTO	Kg	1.54	1.155	0.77	0.385	0
AGUA	Lt	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892
ARENA	Kg	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
RIPIO	Kg	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28
RESINA DE POLIÉSTER	Kg	0	0.385	0.77	1.155	1.54
<b>VIGAS</b>						
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PORCENTAJES DE RESINA DE POLIÉSTER</b>				
		0%	25%	50%	75%	100%
CEMENTO	Kg	16.52	12.39	8.26	4.13	0
AGUA	Lt	9.58	9.58	9.58	9.58	9.58
ARENA	Kg	32.43	32.43	32.43	32.43	32.43
RIPIO	Kg	56.76	56.76	56.76	56.76	56.76
RESINA DE POLIÉSTER	Kg	0	4.13	8.26	12.39	16.52

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

#### **4.1.4 Elaboración De Probetas Cilíndricas De Hormigón de prueba**

Una vez obtenida la dosificación para cada probeta procedemos a realizar 6 muestras de prueba para verificar la dosificación a los 14 días de edad, 3 muestras con hormigón simple y 3 muestras sustituyendo la pasta por la resina de poliéster.

Una vez realizadas las muestras se pudo verificar varios resultados:

- La resistencia a la compresión cumple y se encuentra dentro de los límites.
- La Trabajabilidad con el 100% de resina en sustitución por el cemento es muy buena, pero no cumple con el asentamiento requerido
- La mezcla con agua hace que se haga aún más fluida la resina

Se procede a cambiar los porcentajes de cemento por porcentajes de pasta ya que al alterar la cantidad de agua estamos ayudando a mejorar la mezcla.

**Tabla 23.** Nueva dosificación para las probetas de hormigón

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>						
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>DOSIFICACIÓN DE CILINDROS Y VIGAS CON LOS DIFERENTES PORCENTAJES DE RESINA DE POLIÉSTER</b>						
<b>MÉTODO:</b>		Densidad Óptima				
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo				
<b>CILINDROS</b>						
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PORCENTAJES DE RESINA DE POLIÉSTER</b>				
		0%	25%	50%	75%	100%
CEMENTO	Kg	1.54	1.824	1.216	0.608	0
AGUA	Lt	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892
ARENA	Kg	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
RIPIO	Kg	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28
RESINA DE POLIÉSTER	Kg	0	0.608	1.216	1.824	2.432
<b>VIGAS</b>						
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PORCENTAJES DE RESINA DE POLIÉSTER</b>				
		0%	25%	50%	75%	100%
CEMENTO	Kg	16.52	19.575	13.05	6.525	0
AGUA	Lt	9.58	0.892	0.892	0.892	0.892
ARENA	Kg	32.43	3.02	3.02	3.02	3.02
RIPIO	Kg	56.76	5.28	5.28	5.28	5.28
RESINA DE POLIÉSTER	Kg	0	6.525	13.05	19.575	26.1

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

## 4.2 Análisis de resultados.

### 4.2.1. Propiedades del hormigón en estado fresco.

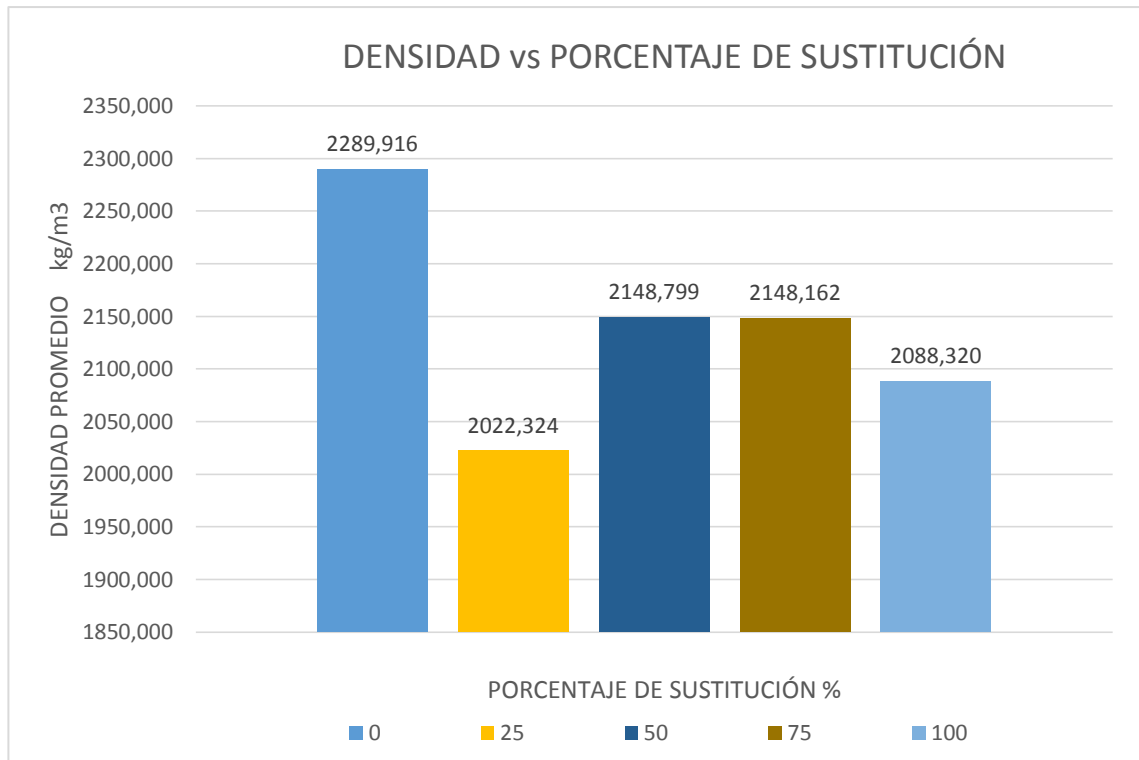
**Tabla 24.** Propiedades del hormigón en estado fresco para ensayo de compresión a los 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS PARA COMPRESIÓN 14 DÍAS										
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					FECHA ELABORACIÓN:		22/03/2017	
Número	% DE RESINA	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón	Masa de Hormigón	Volumen del recipiente	densidad kg/m <sup>3</sup>	densidad promedio kg/m <sup>3</sup>	Trabajabilidad	Asentamiento cm	homogeneidad
1	0	0.073	3.643	3.570	0.0015708	2272.72	2289.916	poco trabajable	7	buena
2		0.072	3.712	3.640	0.0015708	2317.29		poco trabajable	7	buena
3		0.073	3.654	3.581	0.0015708	2279.73		poco trabajable	6.5	buena
4	25	0.073	3.472	3.399	0.0015708	2163.86	2022.324	poco trabajable	4.5	mala
5		0.073	3.056	2.983	0.0015708	1899.03		poco trabajable	5	mala
6		0.072	3.220	3.148	0.0015708	2004.07		poco trabajable	4.8	mala
7	50	0.073	3.431	3.358	0.0015708	2137.76	2148.799	trabajable	11	mala
8		0.073	3.475	3.402	0.0015708	2165.77		trabajable	9.5	mala
9		0.073	3.439	3.366	0.0015708	2142.85		trabajable	10	mala
10	75	0.072	3.482	3.410	0.0015708	2170.86	2148.162	muy trabajable	15.2	buena
11		0.072	3.374	3.302	0.0015708	2102.11		muy trabajable	16	buena
12		0.073	3.484	3.411	0.0015708	2171.50		muy trabajable	16.5	buena
13	100	0.073	3.343	3.270	0.0015708	2081.74	2088.320	muy trabajable	21	buena
14		0.073	3.350	3.277	0.0015708	2086.19		muy trabajable	20.8	buena
15		0.073	3.367	3.294	0.0015708	2097.02		muy trabajable	21	buena

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La característica principal que se puede apreciar, es el asentamiento, donde podemos ver que este pasa de 7cm a 21cm, dándonos así un hormigón muy trabajable y de buena homogeneidad.

**Gráfico 1.** Densidad en estado fresco VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de compresión a los 14 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 25, 50, 75 y 100 % de sustitución baja significativamente con respecto al hormigón tradicional, siendo con el 25% su valor más bajo.



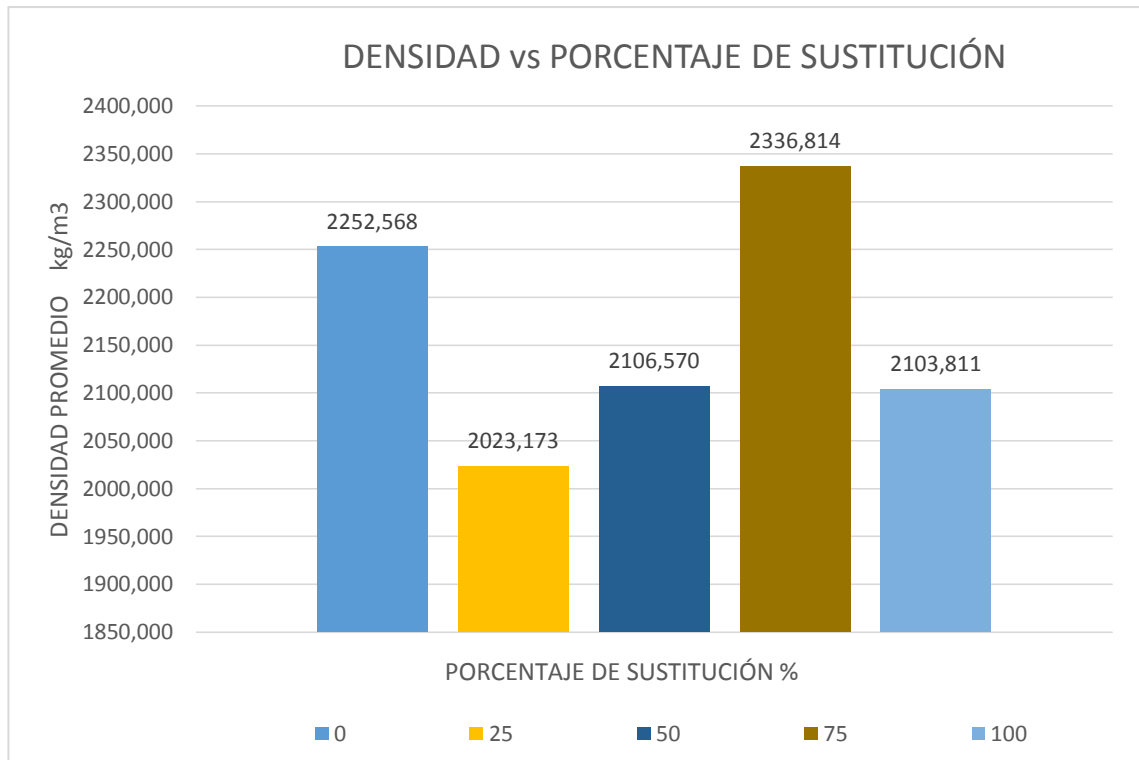
**Tabla 25.** Propiedades del hormigón en estado fresco para ensayo de compresión a los 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS PARA COMPRESIÓN 14 DÍAS										
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					FECHA ELABORACIÓN:		17/03/2017	
Número	% DE RESINA	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón kg	Masa de Hormigón Kg	Volumen del recipiente	densidad kg/m <sup>3</sup>	densidad promedio kg/m <sup>3</sup>	Trabajabilidad	Asentamiento cm	homogeneidad
1	0	0.073	3.604	3.531	0.00157	2247.89	2252.568	poco trabajable	7.2	buena
2		0.072	3.621	3.549	0.00157	2259.35		poco trabajable	7	buena
3		0.073	3.608	3.535	0.00157	2250.44		poco trabajable	6.8	buena
4	25	0.073	3.303	3.230	0.00157	2056.27	2023.173	poco trabajable	5.5	mala
5		0.073	3.120	3.047	0.00157	1939.77		poco trabajable	4.5	mala
6		0.072	3.329	3.257	0.00157	2073.46		poco trabajable	5	mala
7	50	0.073	3.360	3.287	0.00157	2092.56	2106.570	trabajable	9.5	mala
8		0.073	3.316	3.243	0.00157	2064.55		trabajable	10.5	mala
9		0.073	3.470	3.397	0.00157	2162.59		trabajable	10	mala
10	75	0.072	3.762	3.690	0.00157	2349.12	2336.814	muy trabajable	16	buena
11		0.072	3.780	3.708	0.00157	2360.58		muy trabajable	15.5	buena
12		0.073	3.687	3.614	0.00157	2300.73		muy trabajable	16.5	buena
13	100	0.073	3.304	3.231	0.00157	2056.91	2103.811	muy trabajable	20.5	buena
14		0.073	3.397	3.324	0.00157	2116.11		muy trabajable	21	buena
15		0.073	3.432	3.359	0.00157	2138.40		muy trabajable	20.5	buena

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La trabajabilidad que se logra con el 100% de sustitución es muy buena ya que se consiguen asentamientos de hasta 21 cm, mientras que con el 0 y 25 % de sustitución se vuelven poco trabajables.

**Gráfico 2.** Densidad en estado fresco VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de compresión a los 28 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 25, 50 y 100% de sustitución baja significativamente, mientras que con el 75% de sustitución esta aumentó con respecto al hormigón tradicional.

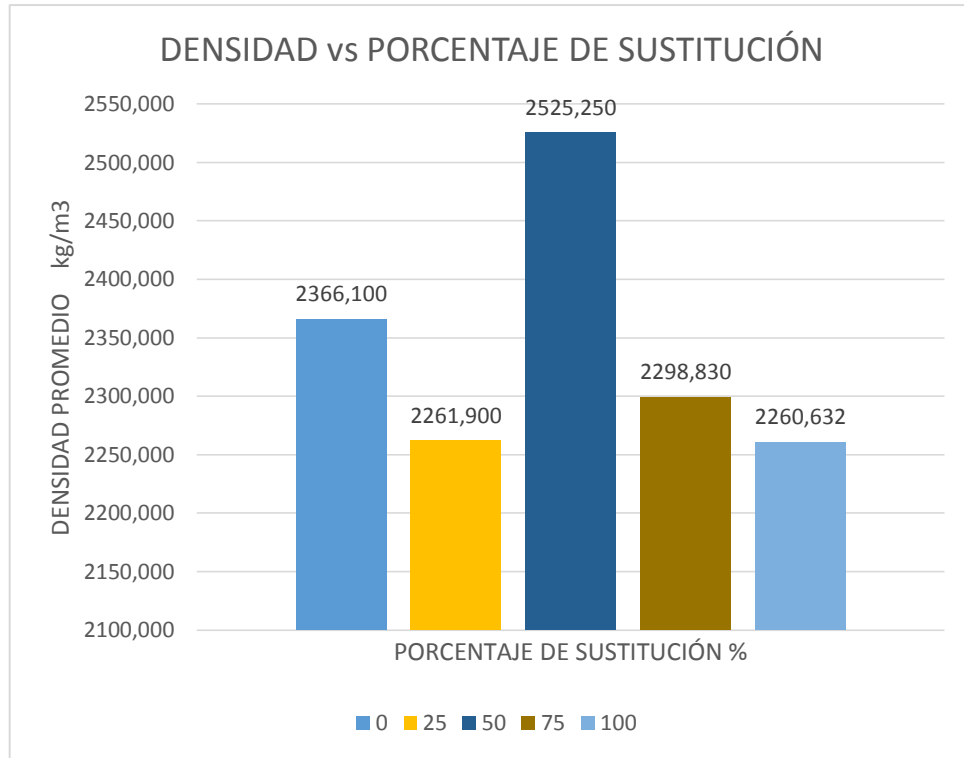
**Tabla 26. Propiedades del hormigón en estado fresco para ensayo de Tracción indirecta a los 14 días**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO										
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA										
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL										
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS PARA TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 14 DÍAS										
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					FECHA ELABORACIÓN:		22/03/2017	
Número	% DE RESINA	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón	Masa de Hormigón	Volumen del recipiente	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	Trabajabilidad	Asentamiento cm	homogeneidad
1	0	0.073	3.801	3.728	0.0015708	2373.31	2366.100	poco trabajable	7	buena
2		0.072	3.765	3.693	0.0015708	2351.03		poco trabajable	6.5	buena
3		0.073	3.802	3.729	0.0015708	2373.94		poco trabajable	6.8	buena
4	25	0.073	3.66	3.587	0.0015708	2283.54	2261.900	poco trabajable	5	mala
5		0.073	3.556	3.483	0.0015708	2217.34		poco trabajable	5.5	mala
6		0.072	3.661	3.589	0.0015708	2284.82		poco trabajable	5	mala
7	50	0.073	4.014	3.941	0.0015708	2508.91	2525.250	trabajable	10	mala
8		0.073	4.047	3.974	0.0015708	2529.92		trabajable	9	mala
9		0.073	4.058	3.985	0.0015708	2536.92		trabajable	10	mala
10	75	0.072	3.776	3.704	0.0015708	2358.03	2298.830	muy trabajable	15	buena
11		0.072	3.585	3.513	0.0015708	2236.44		muy trabajable	16	buena
12		0.073	3.689	3.616	0.0015708	2302.01		muy trabajable	16.5	buena
13	100	0.073	3.619	3.546	0.0015708	2257.44	2260.632	muy trabajable	20	buena
14		0.073	3.648	3.575	0.0015708	2275.91		muy trabajable	21	buena
15		0.073	3.605	3.532	0.0015708	2248.53		muy trabajable	20.5	buena

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** El asentamiento para el hormigón tradicional, cumple con los parámetros establecidos en la normativa, sin embargo para el resto de las mezclas estos se salen de los límites.

**Gráfico 3.** Densidad en estado fresco VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Tracción indirecta a los 14 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 50% de sustitución, aumenta notablemente con respecto a las otras mezclas, sin embargo con el 25, 75 y 100% de sustitución tenemos valores más bajo.

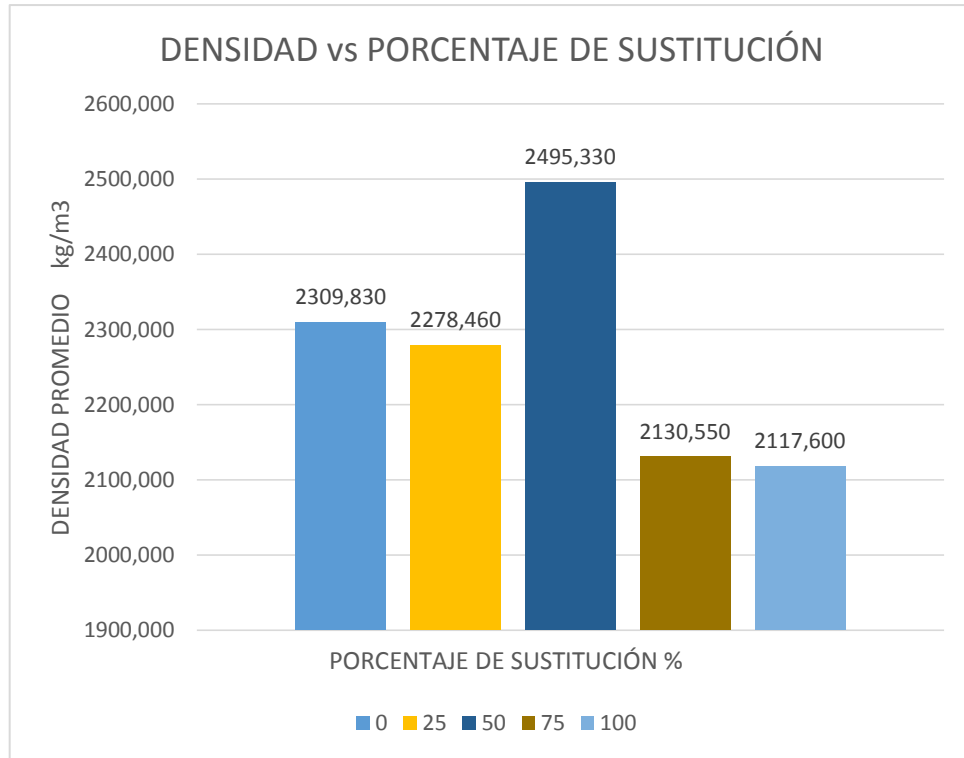
**Tabla 27.** Propiedades del hormigón en estado fresco para ensayo de Tracción indirecta a los 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO										
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA										
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL										
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS PARA TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 28 DÍAS										
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					FECHA ELABORACIÓN:		29/03/2017	
Número	% DE RESINA	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón	Masa de Hormigón	Volumen del recipiente	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	Trabajabilidad	Asentamiento cm	homogeneidad
1	0	0.073	3.684	3.611	0.00157	2298.82	2309.830	poco trabajable	7.2	buena
2		0.072	3.712	3.640	0.00157	2317.29		poco trabajable	6.5	buena
3		0.073	3.707	3.634	0.00157	2313.47		poco trabajable	6.5	buena
4	25	0.073	3.619	3.546	0.00157	2257.44	2278.460	poco trabajable	5.5	mala
5		0.073	3.753	3.680	0.00157	2342.75		poco trabajable	5.5	mala
6		0.072	3.583	3.511	0.00157	2235.16		poco trabajable	5	mala
7	50	0.073	3.958	3.885	0.00157	2473.26	2495.330	trabajable	9.5	mala
8		0.073	4.022	3.949	0.00157	2514.00		trabajable	9	mala
9		0.073	3.998	3.925	0.00157	2498.72		trabajable	10	mala
10	75	0.072	3.409	3.337	0.00157	2124.39	2130.550	muy trabajable	16	buena
11		0.072	3.427	3.355	0.00157	2135.85		muy trabajable	16	buena
12		0.073	3.421	3.348	0.00157	2131.39		muy trabajable	16.5	buena
13	100	0.073	3.585	3.512	0.00157	2235.80	2117.600	muy trabajable	21	buena
14		0.073	3.298	3.225	0.00157	2053.09		muy trabajable	21	buena
15		0.073	3.315	3.242	0.00157	2063.91		muy trabajable	20.5	buena

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** Se puede apreciar que con el 25 y 50% de resina este hormigón no es trabajable, mientras que con el 75 y 100% de resina estos hormigones alcanzan muy buena trabajabilidad.

**Gráfico 4.** Densidad en estado fresco VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Tracción indirecta a los 28 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 50% de sustitución aumenta significativamente con respecto a las demás mezclas, y con el 100% de sustitución sigue teniendo el valor más bajo de todas las densidades.

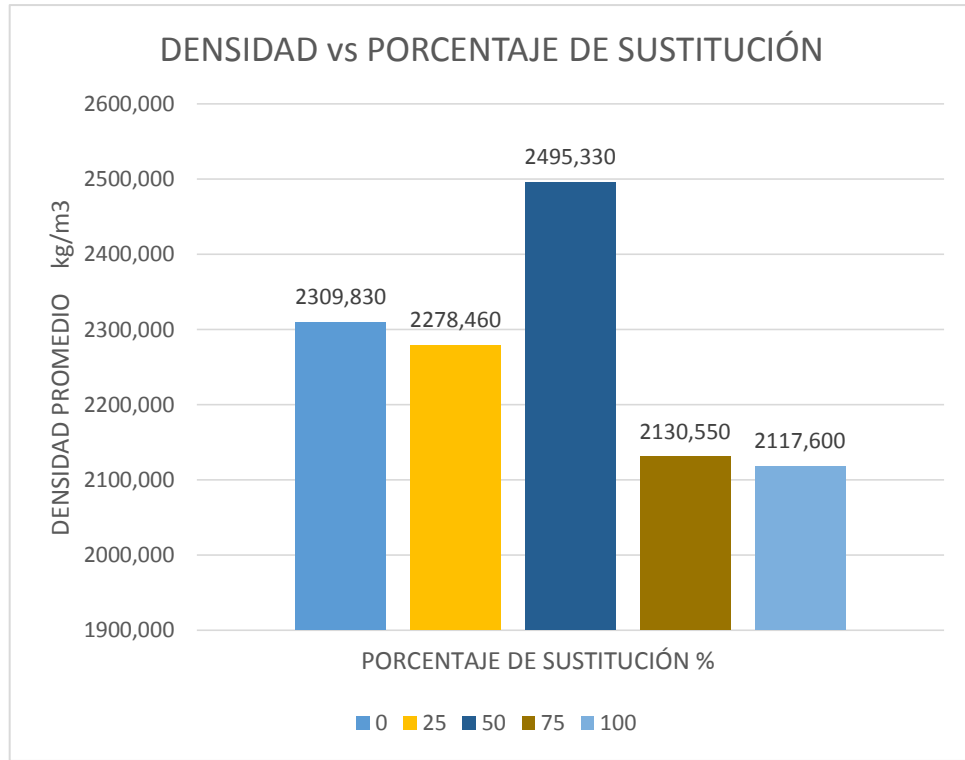
**Tabla 28.** Propiedades del hormigón en estado fresco para ensayo de Flexión a los 14 días

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS PARA FLEXIÓN 14 DÍAS</b>											
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					FECHA ELABORACIÓN:		24/03/2017		
Número	% DE RESINA	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón Kg	Masa de Hormigón Kg	Volumen del recipiente Kg	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	Trabajabilidad	Asentamiento cm	homogeneidad	
1	0	3.1	34.9	38.0	0.0154	2260.31	2271.24	poco trabajable	7	buena	
2		3.1	33.4	36.5	0.0146	2288.32		poco trabajable	6.5	buena	
3		3.1	34.3	37.4	0.0151	2265.09		poco trabajable	6.8	buena	
4	25	3.1	32.4	35.5	0.0153	2110.07	2022.75	poco trabajable	5	mala	
5		3.1	29.0	32.1	0.0151	1919.40		poco trabajable	5.5	mala	
6		3.1	30.6	33.7	0.0150	2038.77		poco trabajable	5	mala	
7	50	3.1	32.9	36.0	0.0156	2115.16	2127.68	trabajable	10	mala	
8		3.1	33.1	36.2	0.0157	2115.16		trabajable	9	mala	
9		3.1	34.0	37.1	0.0158	2152.72		trabajable	10	mala	
10	75	3.1	37.6	40.7	0.0166	2259.99	2242.49	muy trabajable	15	buena	
11		3.1	38.1	41.2	0.0171	2231.35		muy trabajable	16	buena	
12		3.1	37.2	40.3	0.0167	2236.12		muy trabajable	16.5	buena	
13	100	3.1	33.7	36.8	0.0163	2069.33	2096.07	muy trabajable	20	buena	
14		3.1	32.9	36.0	0.0156	2101.16		muy trabajable	21	buena	
15		3.1	34.0	37.1	0.0161	2117.71		muy trabajable	20.5	buena	

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** el Asentamiento para el hormigón tradicional es de alrededor de 7cm y se encuentra dentro de los límites, sin embargo cuando se sustituye el total del cemento por la resina de poliéster al 100%, este se vuelve muy fluido alcanzando asentamientos de 21cm.

**Gráfico 5.** Densidad en estado fresco VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Flexión a los 14 días.



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 100% de sustitución del cemento por la resina, baja significativamente con respecto al hormigón tradicional, pero esto no sucede con el 50% de sustitución, que se ve un incremento significativo.



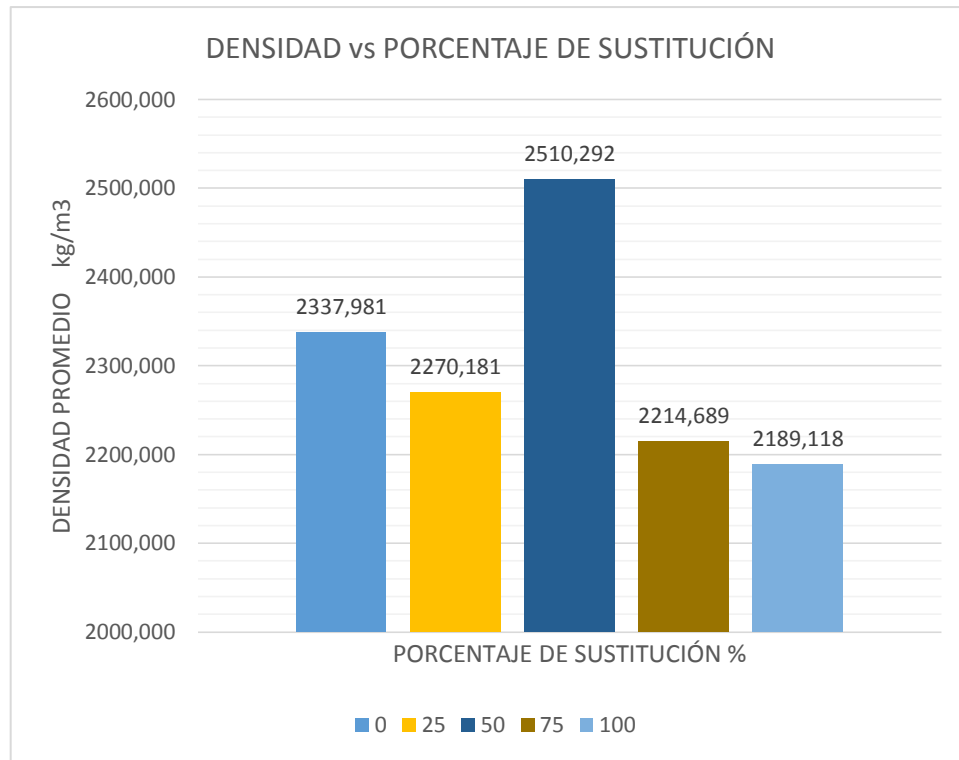
**Tabla 29.** Propiedades del hormigón en estado fresco para ensayo de Flexión a los 28 días

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS PARA FLEXIÓN 28 DÍAS</b>											
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					FECHA ELABORACIÓN:		19/03/2017		
Número	% DE RESINA	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón	Masa de Hormigón Kg	Volumen del recipiente	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	Trabajabilidad	Asentamiento cm	homogeneidad	
1	0	3.1	33.0	36.1	0.0154	2336.07	2337.981	poco trabajable	7	buena	
2		3.1	31.0	34.1	0.0146	2334.16		poco trabajable	7	buena	
3		3.1	32.3	35.4	0.0151	2343.71		poco trabajable	6.8	buena	
4	25	3.1	31.7	34.8	0.0153	2270.50	2270.181	poco trabajable	5	mala	
5		3.1	31.4	34.5	0.0151	2280.05		poco trabajable	5	mala	
6		3.1	30.9	34.0	0.0150	2259.99		poco trabajable	5	mala	
7	50	3.1	35.7	38.8	0.0156	2491.09	2510.292	trabajable	10	mala	
8		3.1	36.4	39.5	0.0157	2521.96		trabajable	9	mala	
9		3.1	36.6	39.7	0.0158	2517.83		trabajable	9.5	mala	
10	75	3.1	34.2	37.3	0.0166	2241.21	2214.689	muy trabajable	16	buena	
11		3.1	34.2	37.3	0.0171	2186.15		muy trabajable	16	buena	
12		3.1	33.8	36.9	0.0167	2216.70		muy trabajable	16.5	buena	
13	100	3.1	33.5	36.6	0.0163	2246.63	2189.118	muy trabajable	20	buena	
14		3.1	30.8	33.9	0.0156	2164.50		muy trabajable	21	buena	
15		3.1	31.5	34.6	0.0161	2156.23		muy trabajable	22	buena	

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** Las muestras con el 75 y el 100% de sustitución del cemento por la resina de poliéster se vuelven muy trabajables alcanzando asentamientos de 21cm.

**Gráfico 6.** Densidad en estado fresco VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Flexión a los 28 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

Con el 50% de sustitución de la pasta por la resina de poliéster, la densidad se ve afectada dándonos el mayor valor de todas las mezclas, mientras que con el 75 y 100% este valor bajo significativamente.

#### 4.2.2. Propiedades del hormigón en estado endurecido

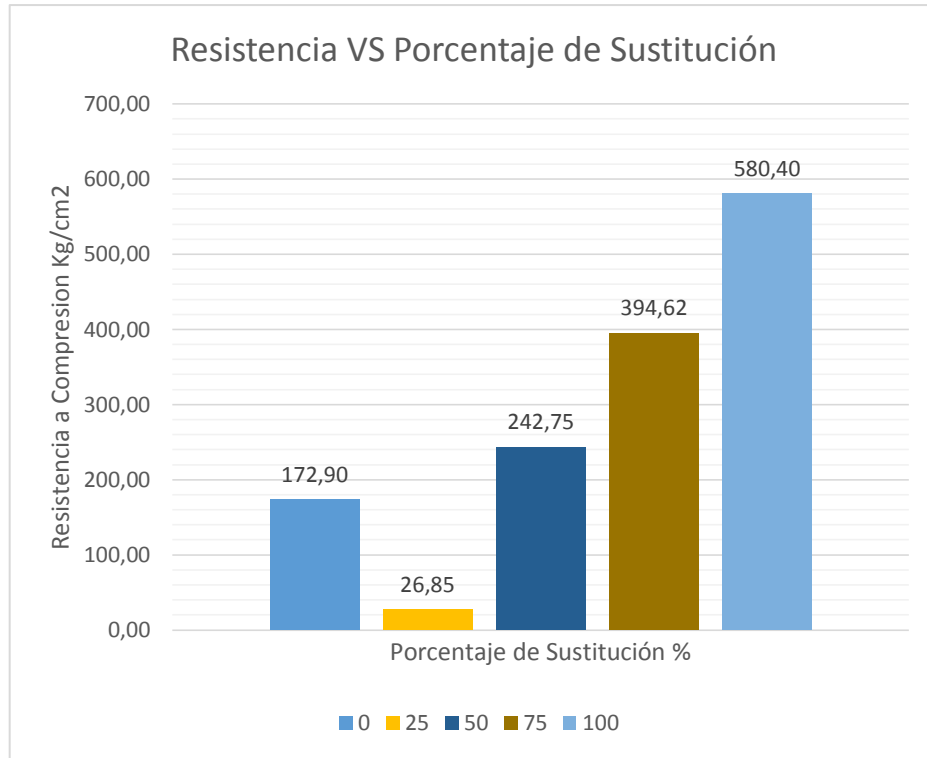
**Tabla 30.** Resistencia a la compresión a los 14 días de edad.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN 14 DÍAS</b>												
ENSAYO		Compresión (f'c)					FECHA ELABORACIÓN:		22/03/2017			
NORMA:		INEN 1573					FECHA DE ENSAYO:		05/04/2017			
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					EDAD:		14 días			
Número	% DE RESINA	diametro Ø	altura h	volumen (V)	peso kg	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	carga kg	Lím inferior kg/cm2	f'c kg/cm2	Lím superior kg/cm2	f'c promedio kg/cm2
1	0	0.1	0.195	0.001532	3.500	2285.035	2302.19	12875.0	168	163.9372	189	172.90
2		0.1	0.195	0.001532	3.568	2329.435		14067.0		179.06		
3		0.1	0.195	0.001532	3.510	2292.087		13805.0		175.69		
4	25	0.1	0.195	0.001532	3.333	2176.02	2034.75	1547.9		19.71		26.85
5		0.1	0.195	0.001532	2.928	1911.683		1523.5		19.39		
6		0.1	0.195	0.001532	3.088	2016.546		3254.9		41.45		
7	50	0.1	0.195	0.001532	3.293	2150.268	2163.44	19816.2		252.27		242.75
8		0.1	0.195	0.001532	3.336	2178.149		18194.9		231.67		
9		0.1	0.195	0.001532	3.311	2161.89		19196.2		244.32		
10	75	0.1	0.195	0.001532	3.344	2183.242	2160.50	32805.4		417.69		394.62
11		0.1	0.195	0.001532	3.239	2114.683		30449.9		387.69		
12		0.1	0.195	0.001532	3.344	2183.568		29726.9		378.49		
13	100	0.1	0.195	0.001532	3.207	2093.919	2100.62	42908.8		546.32		580.40
14		0.1	0.195	0.001532	3.214	2098.816		44371.1		564.91		
15		0.1	0.195	0.001532	3.230	2109.133		49478.9		629.97		

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La resistencia a compresión a los 14 días de edad, para el hormigón tradicional nos dio valores esperados, ya que no se salieron de los límites, mientras que para el resto de muestras estos se encuentran fuera de los límites permitidos.

**Gráfico 7.** Resistencia a compresión VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de compresión a los 14 días

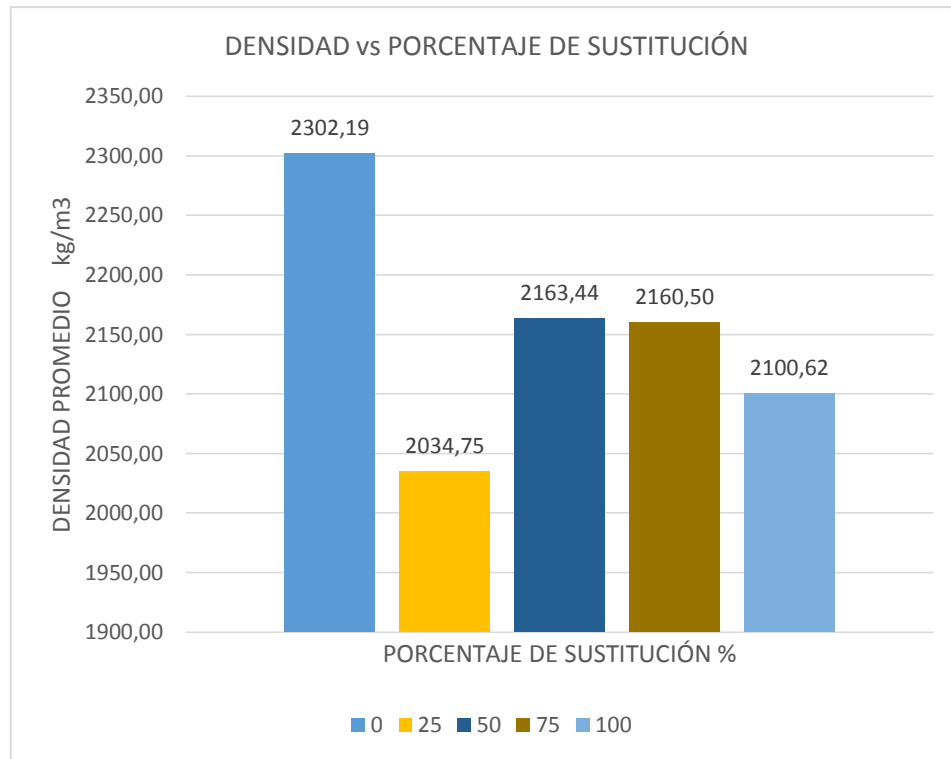


**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La Resistencia del hormigón tradicional a compresión en los 14 días de edad, se encuentra dentro de lo esperado sin embargo con el 25% de sustitución esta resistencia baja significativamente y con el 100% de sustitución esta resistencia aumenta cerca de tres veces.

**Gráfico 8.** Densidad en estado endurecido VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de compresión a los 14 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

Se puede apreciar que la densidad del hormigón tradicional se encuentra muy por encima de las demás mezclas, además de que con el 25% de sustitución se encuentra el valor las más bajo.

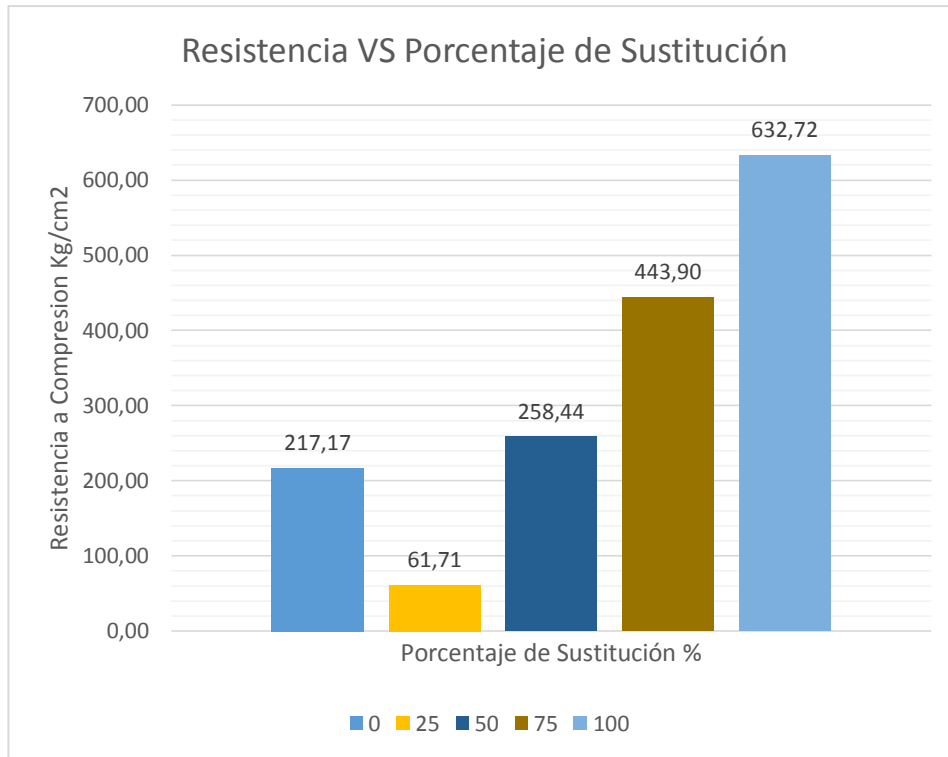
**Tabla 31.** Resistencia a la compresión a los 28 días de edad.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL RESISTENCIA A COMPRESIÓN 28 DÍAS													
ENSAYO		Compresión (f'c)					FECHA ELABORACIÓN:		17/03/2017				
NORMA:		INEN 1573					FECHA DE ENSAYO:		14/04/2017				
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					EDAD:		28 días				
Numero	% DE RESINA	diametro Ø m	altura h m	volumen (V) m <sup>3</sup>	peso kg	densidad kg/m <sup>3</sup>	densidad promedio kg/m <sup>3</sup>	carga kg	Lím Inferior kg/cm <sup>2</sup>	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Lím Superior kg/cm <sup>2</sup>	f'c promedio kg/cm <sup>2</sup>	
1	0	0.1	0.195	0.001532	3.5012	2286.08	2290.71	157.22	199.5	204.13	220.5	217.17	
2		0.1	0.195	0.001532	3.5185	2297.376		140.84					223.65
3		0.1	0.195	0.001532	3.5052	2288.692		156.02					223.72
4	25	0.1	0.195	0.001532	3.2075	2094.311	2061.31	210.59	199.5	204.13	220.5	369.64	
5		0.1	0.195	0.001532	3.0296	1978.153		50.84					66.02
6		0.1	0.195	0.001532	3.2338	2111.483		42.89					55.69
7	50	0.1	0.195	0.001532	3.2637	2131.006	2144.80	190.12	199.5	204.13	220.5	258.44	
8		0.1	0.195	0.001532	3.2201	2102.538		198.18					257.27
9		0.1	0.195	0.001532	3.3707	2200.871		208.89					271.21
10	75	0.1	0.195	0.001532	3.656	2387.155	2375.09	381.23	199.5	204.13	220.5	443.90	
11		0.1	0.195	0.001532	3.6741	2398.974		316.64					411.11
12		0.1	0.195	0.001532	3.5825	2339.164		327.83					425.62
13	100	0.1	0.195	0.001532	3.2083	2094.833	2142.06	496.2	199.5	204.13	220.5	632.72	
14		0.1	0.195	0.001532	3.2997	2154.512		480.6					623.40
15		0.1	0.195	0.001532	3.3339	2176.843		485.63					630.51

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La resistencia a compresión del hormigón tradicional a los 28 días de edad, se encuentra dentro de los límites, sin embargo con el resto de muestras estas resistencias se salen de los límites.

**Gráfico 9.** Resistencia a compresión VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Tracción indirecta a los 28 días

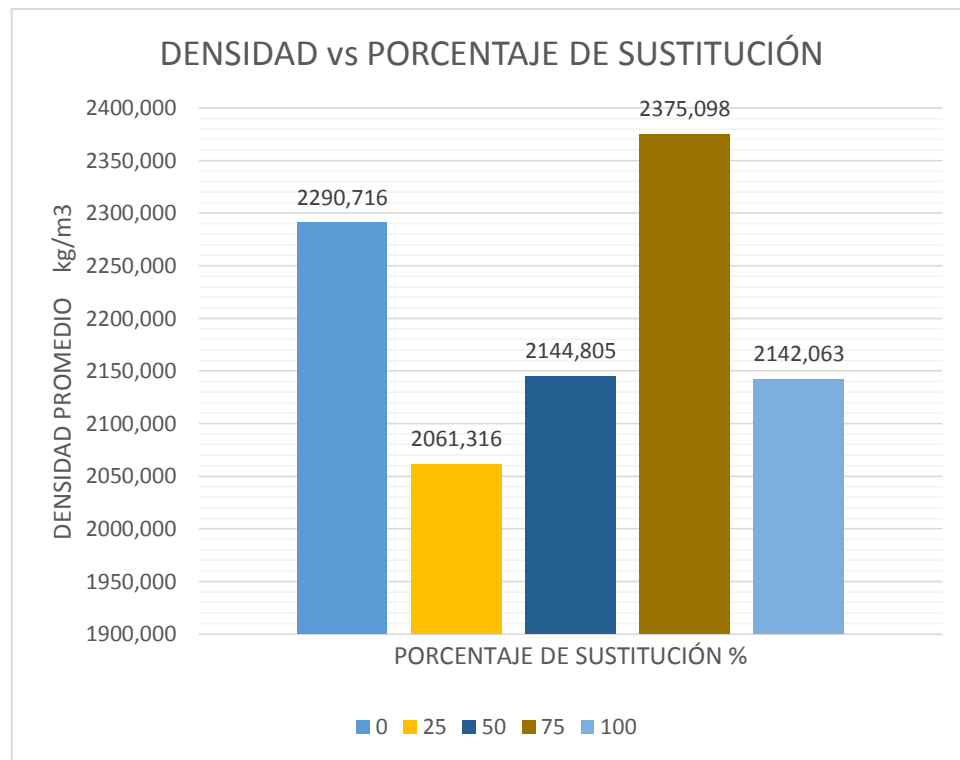


**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La Resistencia del hormigón con el 25% de sustitución se encuentra muy por debajo de la resistencia del hormigón tradicional, pero con el 100% de sustitución esta aumenta en cerca de tres veces.

**Gráfico 10.** Densidad en estado endurecido VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de compresión a los 28 días



**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 75% de sustitución del cemento por la resina de poliéster aumenta considerablemente su valor, y con respecto al 25% este valor baja significativamente.



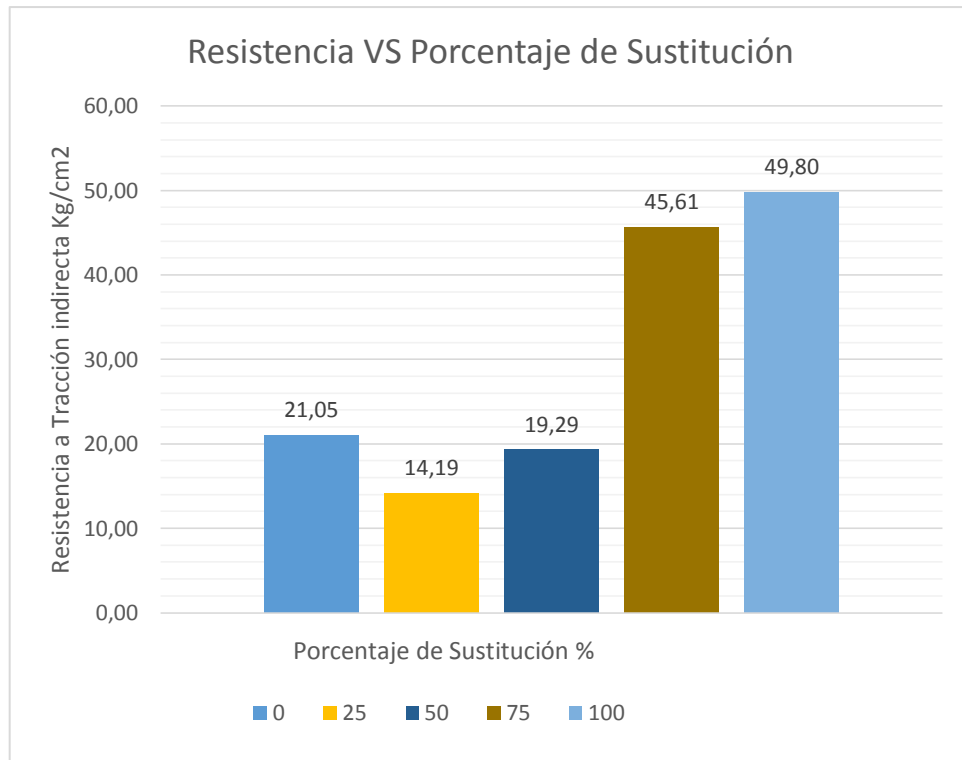
**Tabla 32.** Resistencia a la Tracción indirecta a los 14 días de edad y densidad

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA A LOS 14 DÍAS</b>												
ENSAYO		Tracción indirecta					FECHA ELABORACIÓN:			22/03/2017		
NORMA:		ASTM C 496					FECHA DE ENSAYO:			05/04/2017		
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					EDAD:			14 días		
Numero	% DE RESINA	diámetro Ø	altura h	volumen (V)	peso kg	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	carga kg	Lím Inferior kg/cm2	f'c kg/cm2	Lím superior kg/cm2	f'c promedio kg/cm2
1	0	0.1	0.195	0.00153153	3.6934	2411.58	2404.33	7506.2	16.8	22.74	28.35	21.05
2		0.1	0.195	0.00153153	3.6591	2389.18		6768.9		20.50		
3		0.1	0.195	0.00153153	3.6944	2412.23		6572.1		19.92		
4	25	0.1	0.195	0.00153153	3.5563	2322.06	2300.21	5663.5		17.17		14.19
5		0.1	0.195	0.00153153	3.4541	2255.33		3206.6		9.72		
6		0.1	0.195	0.00153153	3.5581	2323.23		5172.3		15.68		
7	50	0.1	0.195	0.00153153	3.9012	2547.26	2563.51	7211.8		21.86		19.29
8		0.1	0.195	0.00153153	3.9329	2567.95		5110.8		15.49		
9		0.1	0.195	0.00153153	3.9442	2575.33		6830.9		20.53		
10	75	0.1	0.195	0.00153153	3.6697	2396.10	2336.92	15074.5		47.99		45.61
11		0.1	0.195	0.00153153	3.4834	2274.46		12764.9		40.64		
12		0.1	0.195	0.00153153	3.5841	2340.21		15148.3		48.22		
13	100	0.1	0.195	0.00153153	3.5159	2295.68	2298.88	14595.3		46.46		49.80
14		0.1	0.195	0.00153153	3.5442	2314.16		18403.9		58.63		
15		0.1	0.195	0.00153153	3.5023	2286.80		13919.2		44.31		

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La resistencia a Tracción indirecta del hormigón tradicional se encuentra dentro de los límites esperados mientras que con el 75 y 100% este valor se sale de los límites.

**Gráfico 11.** Resistencia a Tracción indirecta VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Tracción indirecta a los 14 días

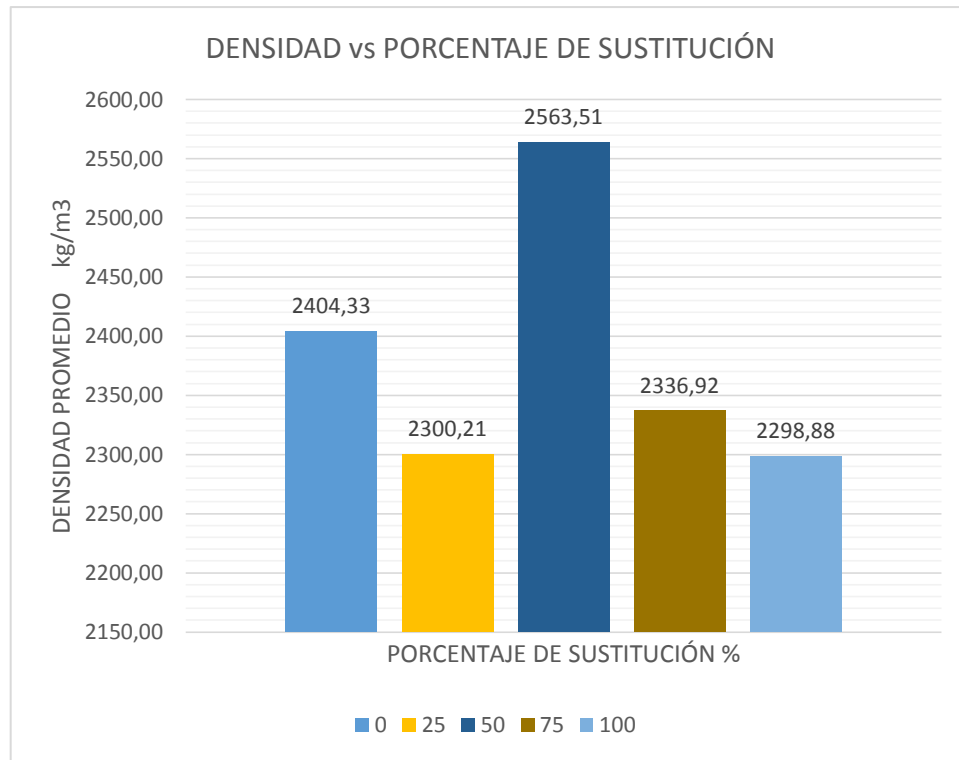


**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La Resistencia del hormigón con el 100% de sustitución aumenta en un poco más de dos veces su resistencia con respecto al hormigón tradicional.

**Gráfico 12.** Densidad en estado endurecido VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Tracción indirecta a los 14 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 50% es la mayor de todas sus densidades, mientras que con el 100% de sustitución es el valor más bajo.

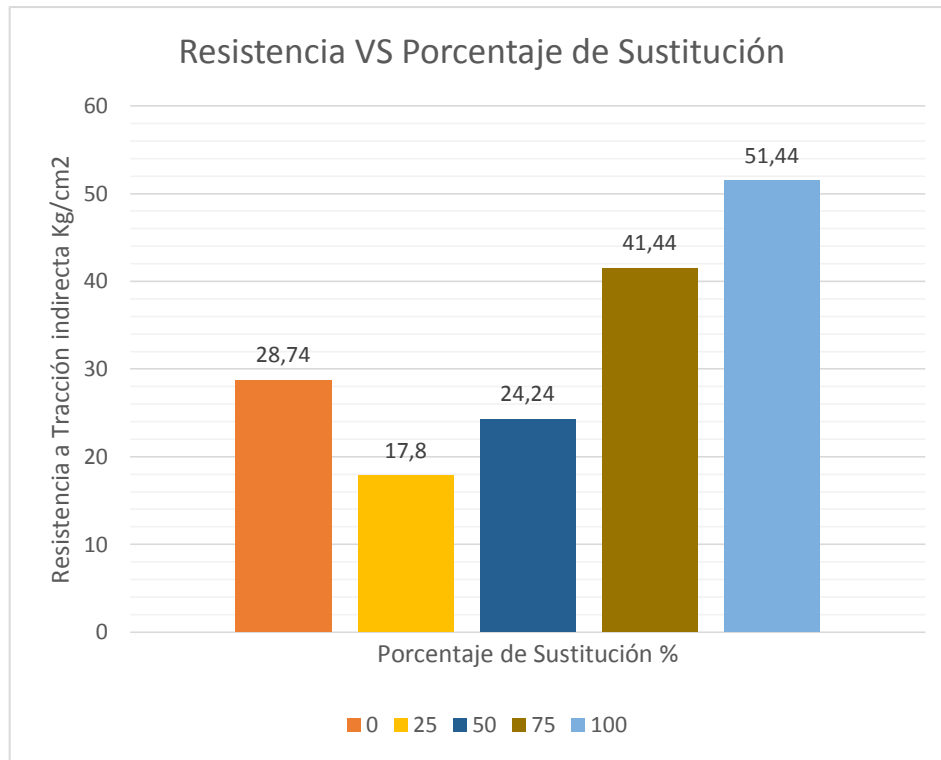
**Tabla 33.** Resistencia a la Tracción indirecta a los 28 días de edad y densidad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS												
ENSAYO		Tracción indirecta					FECHA ELABORACIÓN:		29/02/2017			
NORMA:		ASTM C 946					FECHA DE ENSAYO:		19/04/2017			
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo					EDAD:		28 días			
Numero	% DE RESINA	diametro Ø	altura h	volumen (V)	peso kg	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	carga kg	Lím Inferior kg/cm2	f'c kg/cm2	Lím superior kg/cm2	f'c promedio kg/cm2
1	0	0.1	0.195	0.00153153	3.5892	2343.53881	2352.68	9460.0	19.950	30.11	33.075	28.74
2		0.1	0.195	0.00153153	3.6172	2361.82119		8612.4		27.41		
3		0.1	0.195	0.00153153	3.611	2357.77295		9018.6		28.70		
4	25	0.1	0.195	0.00153153	3.5257	2302.07701	2322.97	7211.8	19.950	22.95	33.075	17.8
5		0.1	0.195	0.00153153	3.6561	2387.22062		5589.1		17.79		
6		0.1	0.195	0.00153153	3.4913	2279.61581		3980.0		12.67		
7	50	0.1	0.195	0.00153153	3.8566	2518.13546	2539.90	6708.0	19.950	21.35	33.075	24.24
8		0.1	0.195	0.00153153	3.9183	2558.42197		8734.9		27.81		
9		0.1	0.195	0.00153153	3.8949	2543.14313		7408.3		23.59		
10	75	0.1	0.195	0.00153153	3.322	2169.07276	2175.10	12224.4	19.950	38.91	33.075	41.44
11		0.1	0.195	0.00153153	3.339	2180.17277		14459.6		46.03		
12		0.1	0.195	0.00153153	3.3327	2176.05923		12371.2		39.38		
13	100	0.1	0.195	0.00153153	3.4924	2280.33405	2162.17	15393.7	19.950	49.00	33.075	51.44
14		0.1	0.195	0.00153153	3.2131	2097.96739		17396.4		55.37		
15		0.1	0.195	0.00153153	3.2288	2108.21858		15700.6		49.98		

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La resistencia promedio de las muestras del hormigón tradicional se encuentra dentro de los límites, sin embargo no sucede lo mismo con las demás mezclas.

**Gráfico 13.** Resistencia a Tracción indirecta VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Tracción indirecta a los 28 días

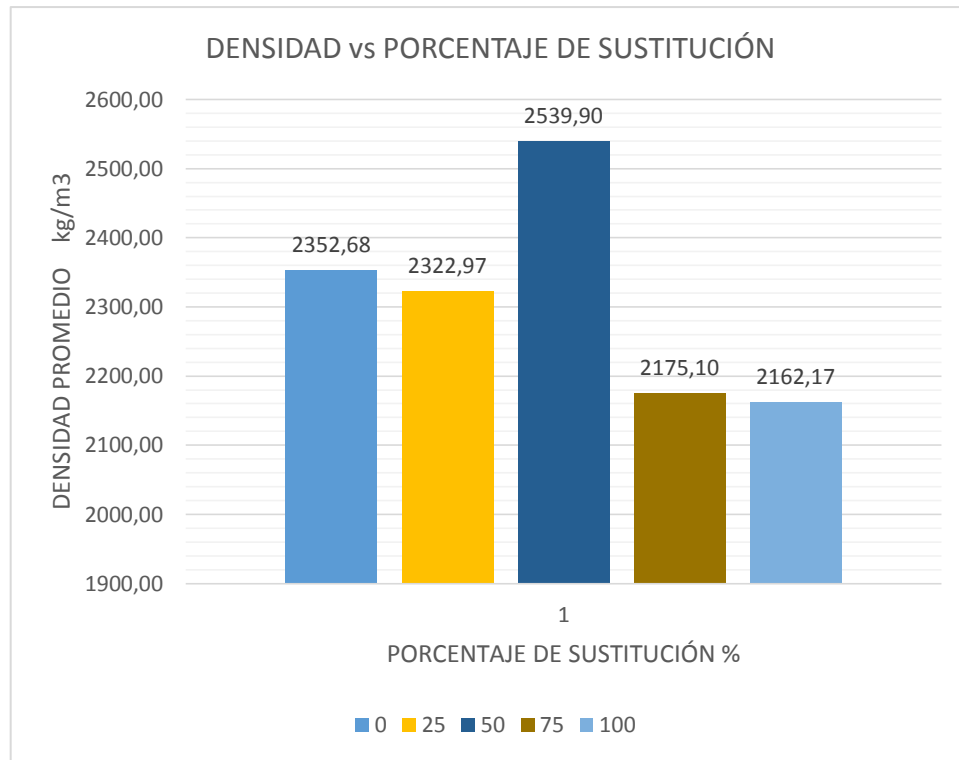


**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

El valor máximo de la resistencia lo encontramos con el 100% de sustitución, este se encuentra en cerca de dos veces más con respecto al hormigón tradicional.

**Gráfico 14.** Densidad en estado endurecido VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Tracción indirecta a los 28 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 50% de sustitución alcanza el mayor valor de todas las mezclas y con el 100% de sustitución este alcanza el valor más bajo.

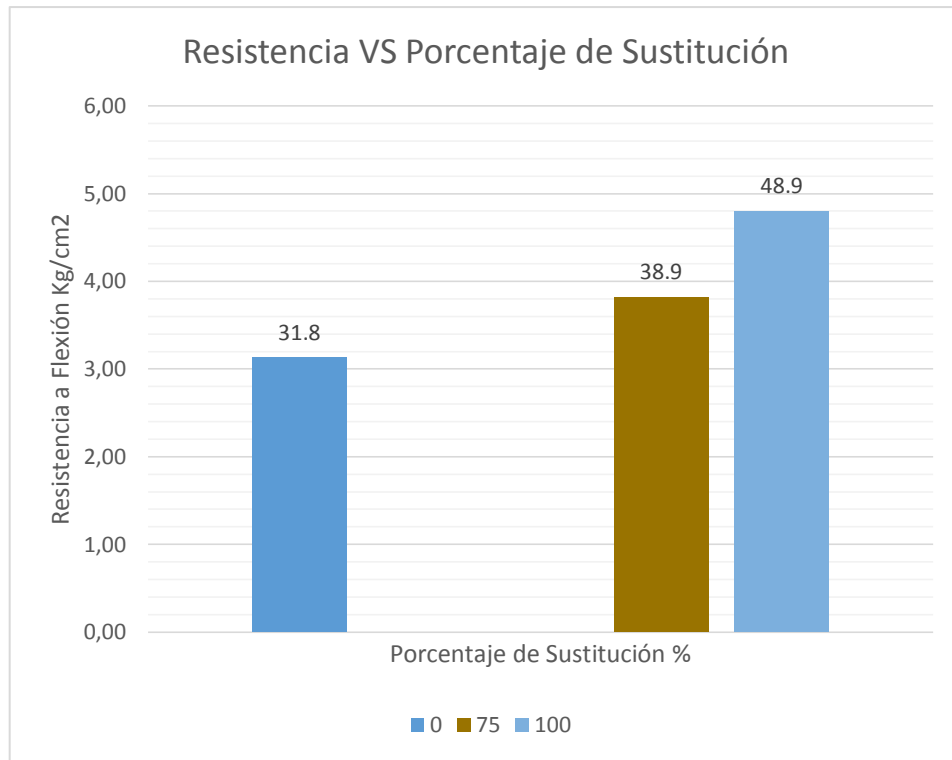
**Tabla 34.** Resistencia a la Flexión a los 14 días de edad y densidad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL RESISTENCIA A FLEXIÓN 14 DÍAS													
ENSAYO		FLEXIÓN EN LOS TERCIOS						FECHA ELABORACIÓN:		24/03/2017			
NORMA:		INEN 1573						FECHA DE ENSAYO:		07/04/2017			
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo						EDAD:		14 días			
Numero	% DE RESINA	base	altura h	Largo L	volumen (V)	peso kg	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	carga kg	Lím Inferior	f'c kg/cm2	Lím superior	f'c promedio kg/cm2
1	0	0.14	0.145	0.745	0.0151235	35.5	2347.340	2347.26	2443.7	16.8	31.42	28.35	31.87
2		0.14	0.141	0.745	0.0147063	34.7	2359.53299		2351.4		33.25		
3		0.141	0.148	0.745	0.01554666	36.3	2334.90666		2294.6		30.93		
4	25	0.14	0.148	0.745	0.0154364								0
5		0.142	0.145	0.745	0.01533955								
6		0.142	0.146	0.745	0.01544534								
7	50	0.141	0.145	0.745	0.01523153								0
8		0.14	0.145	0.745	0.0151235								
9		0.145	0.146	0.745	0.01577165								
10	75	0.145	0.155	0.745	0.01674388	38.3	2287.4036	2247.03	3132.9	16.8	40.06	28.35	38.98
11		0.14	0.154	0.745	0.0160622	35.2	2191.48062		2916.4		37.42		
12		0.14	0.153	0.745	0.0159579	36.1	2262.20242		3029.0		39.46		
13	100	0.145	0.153	0.748	0.01659438	36.4	2193.51371	2197.63	3833.1	16.8	46.91	28.35	48.92
14		0.143	0.155	0.745	0.01651293	36.4	2204.33388		3593.6		50.20		
15		0.144	0.155	0.745	0.0166284	36.5	2195.03981		3614.9		49.66		

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La resistencia del hormigón tradicional con el 0% se encuentra dentro de los límites, con el 25 y 50 % de sustitución no hay valores para analizar; y con el 75 y 100% de sustitución estos están fuera de los límites superiores.

**Gráfico 15.** Resistencia a Flexión VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Flexión a los 14 días



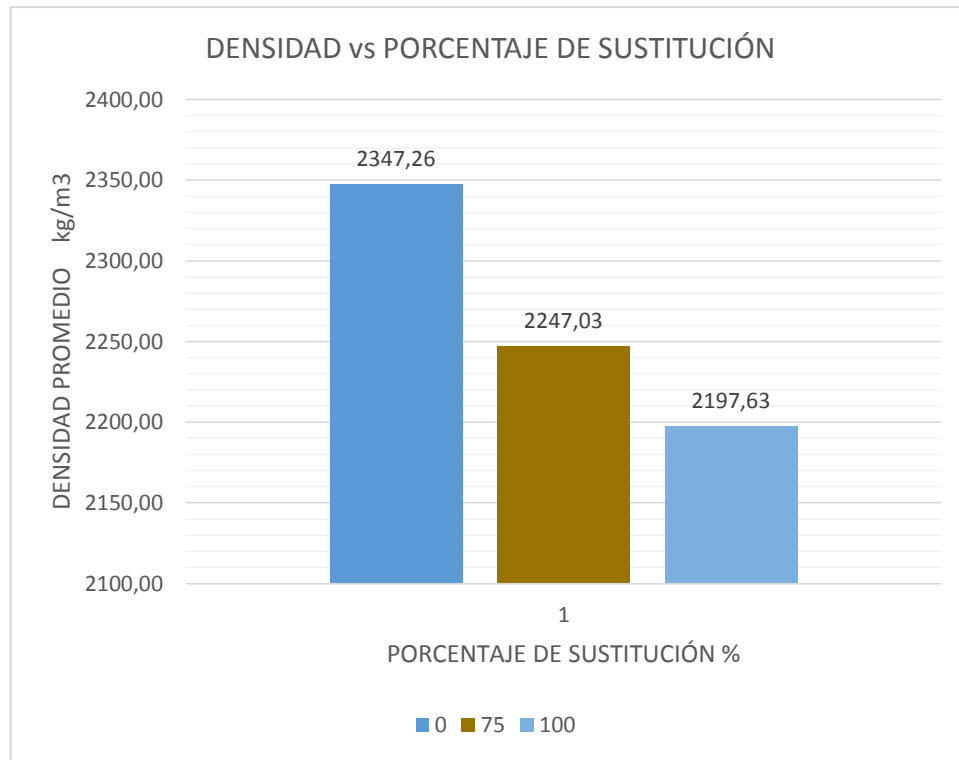
**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La Resistencia del hormigón va aumentando hasta llegar a 1.5 veces la resistencia esperada, sin embargo no es así con el 25 y 50%, ya que estos valores que no se lograron analizar.



**Gráfico 16.** Densidad en estado endurecido VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de flexión a los 14 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón con el 75% de sustitución de la pasta por la resina de poliéster baja significativamente al igual que con el 100%.

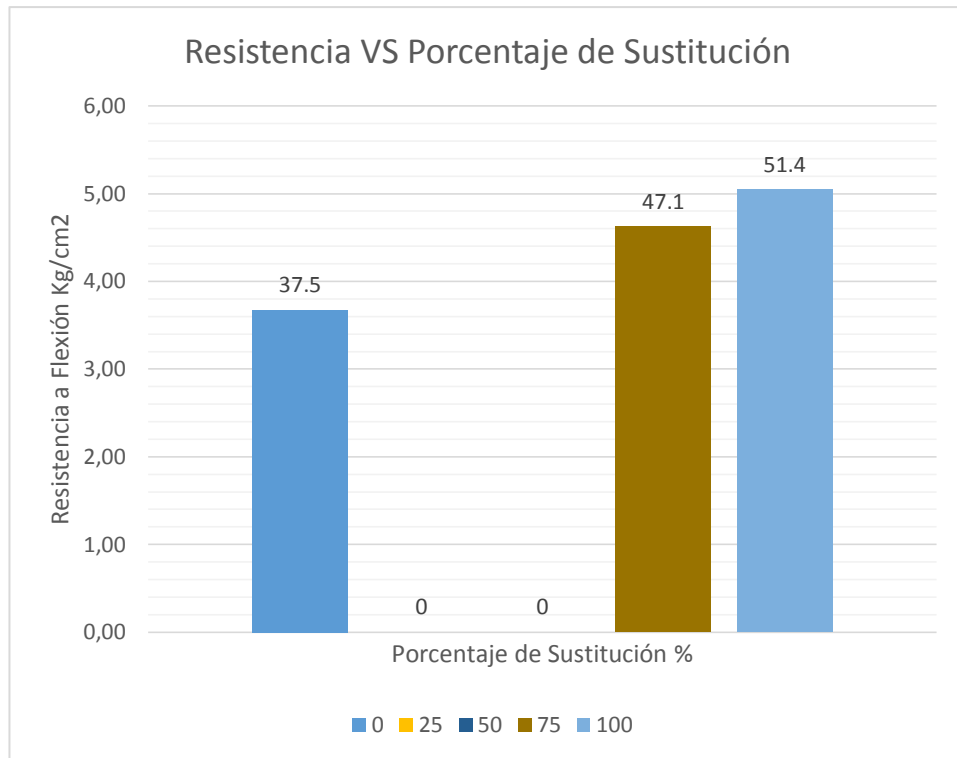
**Tabla 35. . Resistencia a la Flexión y densidad a los 28 días de edad**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL RESISTENCIA A FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS															
ENSAYO		FLEXIÓN EN LOS TERCIOS						FECHA ELABORACIÓN:		19/03/2017					
NORMA:		INEN 1573						FECHA DE ENSAYO:		21/04/2017					
ENSAYADO POR:		Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo						EDAD:		28 días					
Numero	% DE RESINA	base	altura h	Largo L	volumen (V)	peso kg	densidad kg/m3	densidad promedio kg/m3	carga kg	Lím Inferior	f'c kg/cm2	Lím superior	f'c promedio kg/cm2		
1	0	0.148	0.14	0.745	0.0154364	36.2	2345.11	2394.61297	2874.90	19.95	36.95	33.075	37.48		
2		0.14	0.14	0.745	0.014602	35.8	2451.72		2702.87		38.23				
3		0.145	0.14	0.745	0.0151235	36.1	2387.01		2764.66		37.26				
4	25	0.145	0.142	0.745											0
5		0.143	0.142	0.745											
6		0.142	0.142	0.745											
7	50	0.144	0.145	0.745											0
8		0.145	0.145	0.745											
9		0.146	0.145	0.745											
10	75	0.147	0.151	0.75	0.01664775	38.6	2318.63	2293.95008	3698.01				49.20	47.13	
11		0.15	0.152	0.748	0.0170544	38.9	2280.94		3513.75				45.17		
12		0.148	0.15	0.75	0.01665	38	2282.28		3606.04				47.02		
13	100	0.141	0.156	0.74	0.01627704	36.2	2223.99	2200.21989	3562.90				46.25	51.44	
14		0.138	0.152	0.746	0.0156481	34.2	2185.57		3992.92				55.79		
15		0.14	0.153	0.75	0.016065	35.2	2191.10		3805.80				52.28		

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:** La resistencia del hormigón tradicional se encuentra dentro de los límites de la resistencia esperada, y para el 75 y 100% de sustitución estos valores salen del límite superior, llegando a aumentar su resistencia en cerca de un 37% más.

**Gráfico 17.** Resistencia a Flexión VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de Flexión a los 28 días

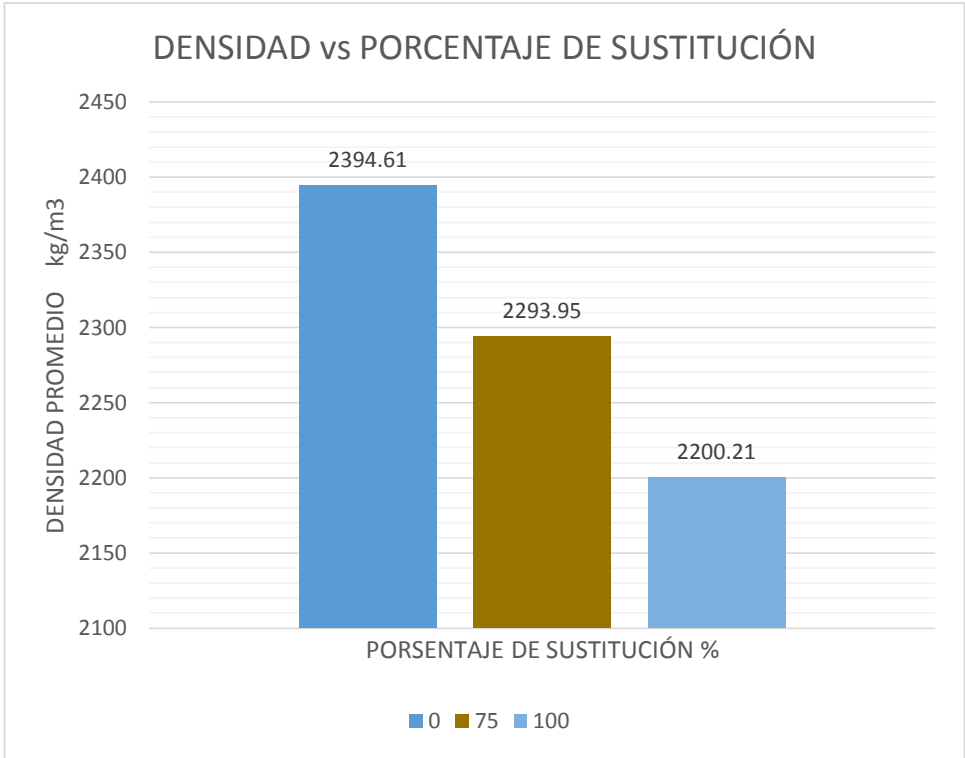


**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La Resistencia del hormigón para el 25 y 50% de sustitución no se pudieron analizar ya que las muestras no soportaron esfuerzo alguno, mientras que para el 75 y 100% esta aumenta con respecto al hormigón tradicional.

**Gráfico 18.** Densidad en estado endurecido VS porcentaje de sustitución de la Pasta por el Cemento en el hormigón, para ensayos de flexión a los 28 días



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

La densidad del hormigón al ir sustituyendo el cemento por la resina esta baja significativamente, llegando con el 100% al valor más bajo.

**Tabla 36.** Resumen de resistencias promedio

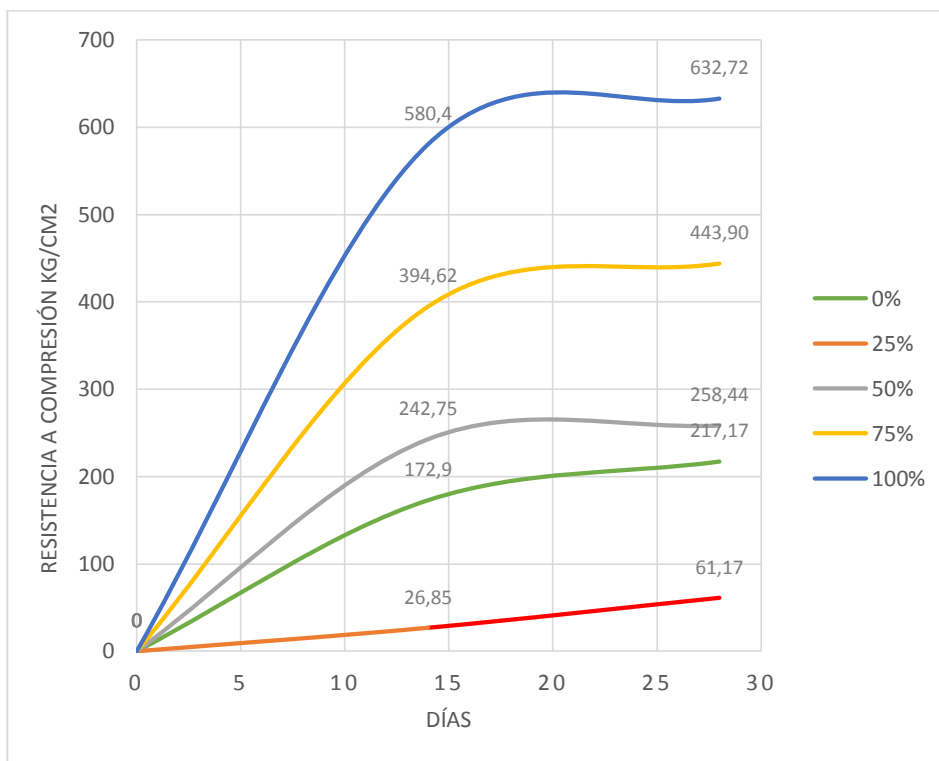
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL RESUMEN DE RESISTENCIAS			
ENSAYADO POR: Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo			
EDAD: 14 días			
% DE RESINA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN Kg/cm2	RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA Kg/cm2	RESISTENCIA A FLEXIÓN Kg/cm2
0	172,9	21,05	31,8
25	26,85	14,19	0
50	242,75	19,29	0
75	394,62	45,61	38,9
100	580,4	49,8	48,9
EDAD: 28 días			
0	217.17	28.74	37.5
25	61.17	17.8	0
50	258.44	24.24	0
75	443.90	41.44	47.1
100	632.72	51.44	51.4

**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

- Para todas las resistencias del hormigón tradicional los valores se encuentran dentro de los límites aceptables.
- La resistencia a compresión y tracción indirecta baja significativamente con el 25% de sustitución, mientras que para el 50, 75 y 100% de sustitución, esta va aumentando gradualmente.
- La resistencia a flexión con el 25 y 50% no se puede analizar ya que no hay valores, mientras que con el 75 y 100% de sustitución esta resistencia se ve claramente que aumenta con respecto al hormigón tradicional.

**Gráfico 199.** Resistencia a compresión Vs Días de ensayo

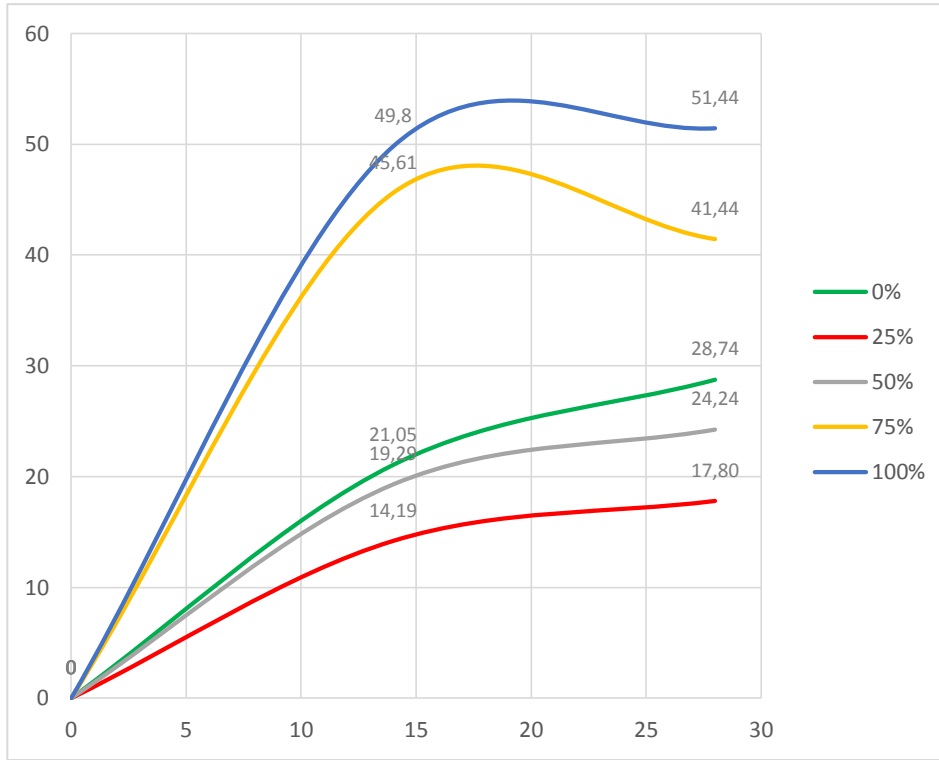


**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

El comportamiento de todas las dosificaciones va aumentando con el tiempo, sin embargo con el 25% no se ve claramente.

**Gráfico 20.** Resistencia a Tracción Indirecta Vs Días de ensayo

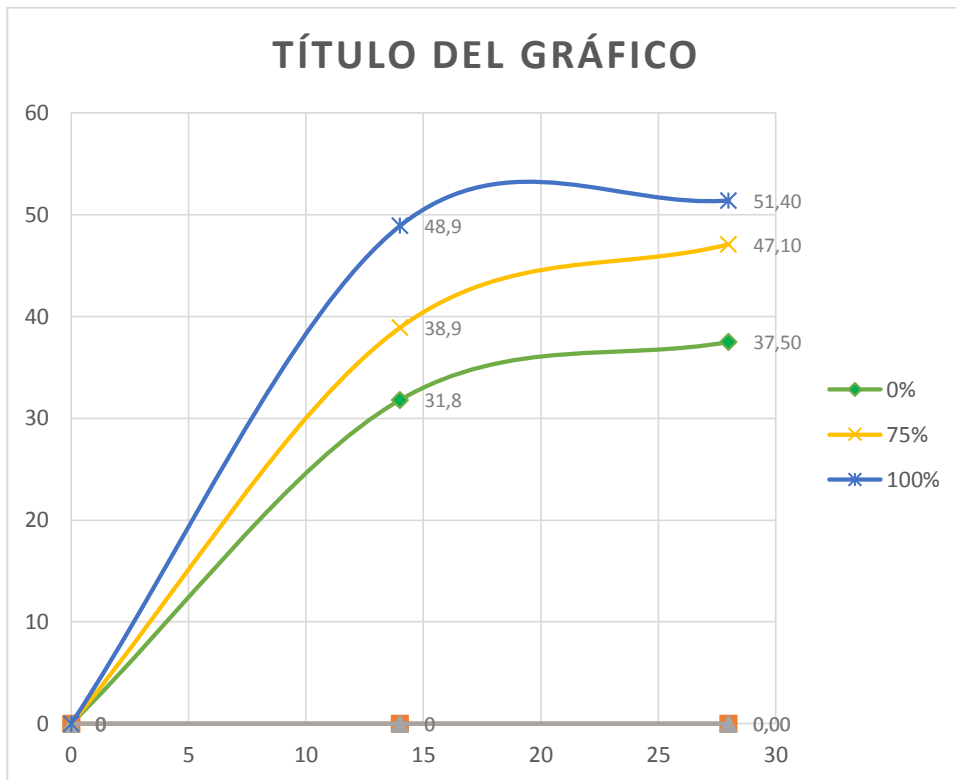


**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

El comportamiento de todas las dosificaciones va aumentando con el tiempo, sin embargo con el 25% de sustitución esta resistencia baja con respecto al hormigón tradicional.

**Gráfico 21.** Resistencia a Flexión Vs Días de ensayo



**Fuente:** Egdo. Elvis Fernando Rogel Apolo

**Análisis:**

El comportamiento de todas las dosificaciones va aumentando con el tiempo, sin embargo con el 25% y 50 % las muestras no se pudieron analizar.



### **4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

La hipótesis que se planteó en el presente trabajo es: “La sustitución de cemento por resina de poliéster influye en la resistencia a compresión, flexión y Tracción indirecta del hormigón”

Con el 25% de sustitución, la resistencia a compresión baja notablemente y sale del límite inferior; con la resistencia a flexión no se pudo analizar ya que por su volumen y peso no soporto ningún esfuerzo y con la resistencia a Tracción indirecta también baja su resistencia hasta salir de su límite inferior permitido.

Con el 50% de sustitución, la resistencia a compresión aumenta notablemente y sale del límite superior; con la resistencia a flexión no se pudo analizar ya que por su volumen y peso no soporto ningún esfuerzo y con la resistencia a Tracción indirecta también baja su resistencia encontrándose dentro de los límites permitidos.

Con el 75 % de sustitución, la resistencia a compresión, flexión y Tracción indirecta aumentan notablemente saliéndose del límite superior.

Con el 100 % de sustitución, la resistencia a compresión, flexión y Tracción indirecta aumentan notablemente saliéndose del límite superior.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La densidad del hormigón tradicional presenta un valor de 2329.83 kg/m<sup>3</sup> como promedio.
- El hormigón tradicional presenta un asentamiento de 6.83 cm como promedio, lo que se traduce en que es un hormigón medianamente trabajable.
- El hormigón con el 25 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster disminuye su asentamiento a 5 cm de promedio, lo que se traduce en que el hormigón es poco trabajable.
- El hormigón con el 50 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster aumenta su asentamiento a 9.75 cm de promedio, lo que se traduce en que el hormigón es medianamente trabajable.
- El hormigón con el 75 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster aumenta su asentamiento a 16 cm como promedio, lo que se traduce en que el hormigón es muy trabajable.
- El hormigón con el 100 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster aumenta su asentamiento a 20.7 cm como promedio, lo que se traduce en que el hormigón es muy trabajable.
- La resistencia a compresión con el 25 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, disminuye de 217.1 kg/cm<sup>2</sup> a 61.69 kg/cm<sup>2</sup> como promedio.
- La resistencia a compresión con el 50 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, aumenta de 217.1 kg/cm<sup>2</sup> a 258.44 kg/cm<sup>2</sup> como promedio, lo que se traduce en cerca del 20% más de resistencia.

- La resistencia a compresión con el 75 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, aumenta de 217.1 kg/cm<sup>2</sup> a 443.9 kg/cm<sup>2</sup> como promedio, lo que se traduce en cerca de dos veces más la resistencia.
- La resistencia a compresión con el 100% de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, aumenta de 217.1 kg/cm<sup>2</sup> a 632.7 kg/cm<sup>2</sup> en promedio, lo que se traduce en cerca de tres veces más la resistencia.
- La resistencia a Tracción indirecta con el 25% de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, disminuye de 28.74 kg/cm<sup>2</sup> a 17.8 kg/cm<sup>2</sup>.
- La resistencia a Tracción indirecta con el 50% de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, disminuye de 28.74 kg/cm<sup>2</sup> a 24.24 kg/cm<sup>2</sup> de promedio, lo que se traduce en menos del 15%.
- La resistencia a Tracción indirecta con el 75% de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, aumenta de 28.74 kg/cm<sup>2</sup> a 41.44 kg/cm<sup>2</sup>, lo que se traduce en cerca del 44% más su resistencia.
- La resistencia a Tracción indirecta con el 100% de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, aumenta de 28.74 kg/cm<sup>2</sup> a 51.44 kg/cm<sup>2</sup>, lo que se traduce en cerca de un 80% más su resistencia.
- La resistencia a flexión con el 25% y 50 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, no se las pudo encontrar debido a que las muestras no soportaron transporte ni esfuerzo alguno y se rompieron.
- La resistencia a flexión con el 75 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, aumenta de 37.48 kg/cm<sup>2</sup> a 47.13 kg/cm<sup>2</sup>, lo que se traduce en un aumento cerca del 25% más.
- La resistencia a flexión con el 100 % de sustitución de la pasta con la resina de poliéster, con respecto al hormigón tradicional, aumenta de 37.48 kg/cm<sup>2</sup> a 51.44 kg/cm<sup>2</sup>. lo que se traduce en un aumento cerca del 37%.

- El hormigón tradicional con el 0% de sustitución de la pasta por la resina de poliéster se comportó de la forma esperada, alcanzando densidades y resistencias dentro de los límites.
- El hormigón con el 25, 50 y 75 % de sustitución de la pasta por la resina de poliéster, se comportó de una forma no uniforme, ya que sus densidades y resistencias variaban con cada muestra.
- Al sustituir el 100% de la pasta por la resina de poliéster, se obtuvo un material de características mejoradas, tanto en su resistencia a compresión, tracción indirecta como a flexión.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Tener mucho cuidado con el contenido de humedad ya que el agua es uno de los factores más importantes al momento de alcanzar las resistencias de diseño.
- Utilizar siempre protección para piel y ojos y no entrar en contacto con el hormigón directamente ya que puede causar algún tipo de reacción alérgica en la piel.
- Trabajar con cilindros pequeños de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, ya que si se utilizara los moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, la carga necesaria para los ensayos de compresión sería muy alta respecto a los cilindros pequeños.
- No arrojar restos de la resina de poliéster al medio ambiente ya implicaría un daño muy alto a este.
- No trabajar con el 25% y 50% de sustitución de la pasta por la resina de poliéster porque se obtuvo un hormigón poroso y con huecos significativos.
- Realizar futuras investigaciones con el 100% de sustitución de la pasta por la resina de poliéster para verificar resistencias iniciales a las 24 horas y a los 7 días de edad.
- Realizar futuras investigaciones con el 100% de sustitución, para obtener el modulo elástico ya que es la mezcla que dio mejores resultados.
- Realizar futuras investigaciones para disminuir el porcentaje de resina de poliéster en el hormigón para observar que resistencias se obtienen.

## BIBLIOGRAFÍA.

- A. Gil., «[www.eafit.edu.co/](http://www.eafit.edu.co/),» 30 03 2012. [En línea]. Available:
- [1] <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documentos/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>. [Último acceso: 10 12 2016].
- E. M. CRUZ, DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE CONCRETO POLIMÉRICO MODIFICADO CON FIBRAS RECICLADAS: EFECTO DE LA RADICACION GAMMA, TOLUCA, 2016.
- [www.usfq.edu.ec](http://www.usfq.edu.ec), «Universidad San Francisco de Quito,» 10 08 2014. [En línea]. Available:
- [3] [https://www.usfq.edu.ec/programas\\_academicos/colegios/politecnico/carreras/Paginas/ingenieria\\_civil.aspx](https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/politecnico/carreras/Paginas/ingenieria_civil.aspx). [Último acceso: 11 10 2016].
- R. C. G. d. Ockham, «Caracterización fisicomecanica de concreto polimerico basado en resina de poliester,» *Guillermo de Ockham*, vol. 8, nº 1, p. 12, 2010.
- C. Construccion, «<http://canalconstruccion.com/>,» 10 10 2016. [En línea]. Available:
- [5] <http://canalconstruccion.com/hormigon-polimero-polimerico.html>. [Último acceso: 10 10 2016].
- Gil, Alexander, «[www.eafit.edu.co/](http://www.eafit.edu.co/),» 30 03 2012. [En línea]. Available:
- [6] <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documentos/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>. [Último acceso: 30 07 2016].
- G. Z. G. P. Luis Valdez, «[www.dspace.espol.edu.e](http://www.dspace.espol.edu.e),» 1 07 2015. [En línea]. Available:
- [7] <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10056/1/Hormigones%20Livia%20mos.pdf>. [Último acceso: 30 07 2016].
- A. F. Méndez, «<http://catarina.udlap.mx/>,» 11 01 2008. [En línea]. Available:
- [8] [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/florian\\_m\\_a/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/florian_m_a/). [Último acceso: 25 01 2017].

- [9] L. G. d. Lopez, El Concreto y otros materiales para la construcción, Colombia:  
Universidad de Colombia, 2003.
- [10] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA , CEMENTO PORTLAND, REQUISITOS, Quito, 2012.
- [11] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, «law.resource.org,» 05 08 2012. [En línea]. Available:  
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0152.2012.pdf>. [Último acceso: 25 01 2017].
- [12] N. T. ECUATORIANA, CEMENTO HIDRAÚLICO, DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, Quito,  
2010.
- [13] M. M. R. Proaño, TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, LATACUNGA : ESCUELA POLITÉCNICA  
DEL EJÉRCITO, 2010.
- [14] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, «INEN,» 06 06 2010. [En línea].  
Available: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0694.2010.pdf>. [Último acceso:  
03 02 2017].
- [15] F. Carrasco, «Universidad Tecnológica Nacional,» 03 03 2013. [En línea]. Available:  
[http://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig  
%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%203%20-%20ROCAS%20Y%20AGREGADOS%20PARA%20HORMIGONES.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%203%20-%20ROCAS%20Y%20AGREGADOS%20PARA%20HORMIGONES.pdf). [Último acceso: 05  
02 2017].
- [16] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, ARIDOS PARA HORMIGÓN, DETERMINACION DEL  
CONTENIDO DE HUMEDAD, Quito, 2011.
- [17] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, ARIDOS PARA EL HORMIGÓN, REQUISITOS, Quito,  
2011.
- [18] R. S. J. A. Conrado Díaz María Belén, «UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR,» 14  
Noviembre 2012. [En línea]. Available:  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/512/1/T-UCE-0011-22.pdf>. [Último  
acceso: 18 01 2017].

- [19] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, ARIDOS, DETERMINACION DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACIOS, Quito, 2010.
- I. G. A. R. L., «Universidad del Cauca,» 11 08 2006. [En línea]. Available: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/>.
- [20] [Último acceso: 16 01 2017].
- [21] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, Áridos. Determinacion de la densidad, densidad relativa y absorcion del arido grueso, Quito, 2010.
- [22] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA , Aridos, Determinacion de la densidad, densidad relativa y absorcion del arido fino, Quito, 2010.
- [23] instituto Americano del Concreto, ACI 318-08, 2008.
- U. D. ALICANTA, «<https://rua.ua.es>,» Noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25641/4/Tema%2004%20-%20Propiedades%20del%20hormig%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 05 enero 2017].
- [24] https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25641/4/Tema%2004%20-%20Propiedades%20del%20hormig%C3%B3n.pdf. [Último acceso: 05 enero 2017].
- [25] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, HORMIGN DE CEMENTO HIDRAULICO, DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE ESPECIMENES DE CILINDROS DE HORMIGON, Quito, 2010.
- [26] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, HORMIGON DE CEMENTO HIDRAÚLICO, Quito, 2011.
- [27] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRAÚLICO, Quito, 2011.
- [28] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE LOS ÁRIDOS GRUESO Y FINO, Quito, 2011.
- f. B. Alvarez, «universidad de Oviedo,» [En línea]. Available: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.Ceramicos.Generalidades2.pdf>. [Último acceso: 25 01 2017].
- [29] http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.Ceramicos.Generalidades2.pdf. [Último acceso: 25 01 2017].



- A. M. Palma, «Universidad de Alcalá,» 2 12 2014. [En línea]. Available:
- [30] [https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_profesores/prof121896/docencia/Tema%20%20Materiales%20I%20GCTE%20\(2014-15\).pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof121896/docencia/Tema%20%20Materiales%20I%20GCTE%20(2014-15).pdf). [Último acceso: 25 01 2017].
- S. C. Juan Antonio Polanco Madrazo, «Universidad de Cantabria,» 03 08 2013. [En línea].
- [31] Available: <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/materiales-de-construccion/materiales/Leccion12.pdf>. [Último acceso: 25 01 2017].
- [32] A. Miravete, Los nuevos materiales en la construcción, España: Reverté,S.A., 2002.
- [33] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO, QUITO:  
Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2015.

## ANEXOS

### A. IMÁGENES DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

	
<p>Muestra del agregado fino para contenido de Humedad</p>	<p>Muestra del agregado grueso para contenido de Humedad</p>
	
<p>Muestra par la Densidad del cemento</p>	<p>Muestras en el horno</p>

	
<p>Tamizado del Agregado grueso</p>	<p>Mezcla del agregado fino y grueso</p>
	
<p>Resina de Poliéster</p>	<p>Hormigón con resina de poliéster</p>
	
<p>Medida del asentamiento con el cono de Abrams</p>	<p>Cilindros con diferentes porcentajes de dosificación</p>

	
<p>Vigas de hormigón simple</p>	<p>Ensayo a compresión</p>
	
<p>Ensayo a Flexión</p>	<p>Ensayo a Tracción indirecta</p>
	
<p>Falla a compresión</p>	<p>Falla a compresión diametral</p>