



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

**TEMA:**

“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE  
 $F'c = 240 \frac{KG}{CM^2}$  CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( $TiO_2$ )”

**AUTOR:** Dubraska Yamileth Chacón Romero

**TUTOR:** Wilson Santiago Medina Robalino

**AMBATO – ECUADOR**

**2018**

## **CERTIFICACIÓN DEL AUTOR**

Yo, Ing. Mg. Santiago Medina, Certifico que el presente trabajo bajo el tema: "ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE  $F'C = 240 \text{ Kg/cm}^2$  CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( $TiO_2$ )", es de autoría de la Srta. Dubraska Yamileth Chacón Romero, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

---

Ing. Mg. Santiago Medina

**TUTOR**

## AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Dubraska Yamileth Chacón Romero con C.I: 1805230784, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE  $F'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$  CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( $TiO_2$ )”, es de mi completa autoría y fue realizado en el período Septiembre 2017 – Febrero 2018.

---

Dubraska Yamileth Chacón Romero

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Ambato, Mayo de 2018

### **AUTOR**

---

Dubraska Yamileth Chacón Romero

C.I.: 1805230784

# **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE  $F'C = 240 \text{ Kg/cm}^2$  CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( $TiO_2$ )”, de la egresada Dubraska Yamileth Chacón Romero, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Para constancia firman

---

Ing. Mg. Galo Núñez

---

Ing. Mg. Carlos Navarro

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas las personas que han estado presentes tan lejos o tan cerca de mí, en el camino hacia esta larga meta que no culmina aquí y no culminará jamás porque vivo soñando despierta.

A mi madre, Carmita Romero a quien se lo debo TODO, a quien me ha hecho ser lo que soy hoy en día, a la que ha trabajado duro sin descanso para darme todo lo que necesito, a la que siempre me ha brindado una mano amiga y un buen consejo en los momentos difíciles, a la que ha inculcado en mi los mejores valores y en especial me ha ensañado lo lindo que es perdonar, a la que siempre me ha motivado y nunca me ha hecho desmayar a pesar de las circunstancias, a esa mujer que admiro por su noble y enorme corazón, quien nunca guarda rencor, quien presta ayuda sin esperar nada a cambio y que me ha enseñado a ver lo positivo de la vida y jamás rendirme por nada ni por nadie, aquella mujer luchadora que vale ORO y es la MEJOR MAMÁ DEL MUNDO.

A mi angelito de la guarda, Miguel Ángel Romero, quien estuvo a mi lado siempre y me llenaba de ternura y amor, un verdadero soldado que nunca murió ni desmayó en la batalla y sigue vivo cuidándome al lado de Dios y en lo más profundo de mi corazón.

A mi padre, Jesús Chacón un hombre bueno y noble, que inculca en mi el positivismo de todas las cosas y me enseña hacer una mejor persona cada día.

A mi hermana Claudia Chacón quien a pesar de estar junto a mi hace poco tiempo, siento que la amo desde siempre y con todo mi corazón, pues ella es capaz de trasmitirme ternura, nobleza, felicidad y mucho amor.

A mi novio y amigo, Juan Carlos Barrera León, quien ha sido mi compañero durante todo el camino, me ha brindado apoyo en todo momento y ha hecho de este recorrido una hermosa experiencia.

A toda mi hermosa familia que hoy en día vive momentos difíciles en Venezuela, esto es para ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a la vida que me ha dado tanto.

A ti mi Dios, porque sin tu ayuda nada sería posible, GRACIAS POR TANTAS BENDICIONES

A mi madre querida, Carmita Romero por todo lo que haces por mí y por tu entrega y dedicación durante todos estos años que tengo de vida, MIL GRACIAS MADRE QUERIDA, TODO ESTO ES POR TI Y PARA TI, TE AMO CON TODO MI CORAZÓN.

A mi angelito de la guarda, Miguel Ángel Romero, sin tu ayuda esta meta tampoco sería posible, JAMÁS PODRÉ OLVIDARTE MI BELLO ÁNGEL, VIVES PRESENTE EN MI MENTE Y EN MI CORAZÓN.

A Juan Carlos Barrera León por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos y por brindarme tu apoyo incondicional cuando más lo he necesitado, GRACIAS MI AMOR.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL AUTOR.....	I
AUTORÍA DEL TRABAJO .....	II
DERECHOS DE AUTOR .....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIV
EXECUTIVE SUMMARY .....	XV
CAPÍTULO I.....	1
1.1    TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2    ANTECEDENTES .....	1
1.3    JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4    OBJETIVOS .....	4
1.4.1    Objetivo General.....	4
1.4.2    Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1    FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.1.1    Efecto Loto, Mojabilidad, Autolimpieza.....	5
2.1.2    Dióxido de Titanio .....	8
2.1.3    Hormigones elaborados con TiO <sub>2</sub> .....	12
2.1.4    Hormigón .....	13
2.1.5    Dosificación .....	14
2.2    HIPÓTESIS .....	17
2.3    SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	17
2.3.1    Variable Independiente .....	17

2.3.2	Variable Dependiente.....	17
CAPÍTULO III.....		18
3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	18
3.1.1	Exploratorio.....	18
3.1.2	Descriptivo .....	18
3.1.3	Comparativo .....	18
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	19
3.2.1	Población .....	19
3.2.2	Muestra.....	19
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	20
3.3.1	Variable Independiente .....	20
3.3.2	Variable Dependiente.....	21
	.....	21
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	22
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	23
CAPÍTULO IV .....		25
4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	25
4.1.1	Datos Informativos .....	25
4.1.2	Ensayos realizados en los Agregados .....	27
4.1.3	Ensayos realizados en el Cemento .....	36
4.1.4	Cálculo de la dosificación.....	37
4.1.5	Propiedades del Hormigón en Estado Fresco .....	39
4.1.6	Resultados del Contenido de Aire del Hormigón Fresco .....	43
4.1.7	Resultados del Ensayo a Compresión .....	44
4.1.8	Resultados del Ensayo a Tracción Indirecta .....	48
4.1.9	Resultados de los Ensayos de permeabilidad .....	49
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	50
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	58
CAPÍTULO V .....		59
5.1	CONCLUSIONES.....	59
5.2	RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....		63
ANEXOS .....		65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación agua / cemento .....	15
Tabla 2. Cantidad de Pasta .....	16
Tabla 3. Operacionalización de la variable independiente.....	20
Tabla 4. Operacionalización de la variable dependiente.....	21
Tabla 5. Plan de recolección de información .....	22
Tabla 6. Análisis Granulométrico del Agregado Fino .....	27
Tabla 7. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso .....	28
Tabla 8. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.....	30
Tabla 9. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso..	31
Tabla 10. Densidad Aparente Suelta 1 del Agregado Grueso y Fino.....	32
Tabla 11. Densidad Aparente Suelta 2 del Agregado Grueso y Fino.....	32
Tabla 12. Densidad Aparente Compactada de la Mezcla .....	33
Tabla 13. Contenido de Humedad del Ripio y de la Arena .....	35
Tabla 14. Densidad Real del Cemento .....	36
Tabla 15. Dosificación de los materiales.....	37
Tabla 16. Dosificación de los materiales por cilindros .....	38
Tabla 17. Propiedades del Hormigón Fresco sin adición de TiO <sub>2</sub> .....	39
Tabla 18. Propiedades del Hormigón Fresco con adición de 5% de TiO <sub>2</sub> ...	40
Tabla 19. Propiedades del Hormigón Fresco con adición de 10% de TiO <sub>2</sub> .	41
Tabla 20. Propiedades del Hormigón Fresco con adición de 15% de TiO <sub>2</sub> .	42
Tabla 21. Contenido de Aire del Hormigón Fresco .....	43
Tabla 22. Resistencia a la Compresión de cilindros sin adición de TiO <sub>2</sub> ....	44
Tabla 23. Resistencia a la Compresión de cilindros con adición de 5% de TiO <sub>2</sub> .....	45
Tabla 24. Resistencia a la Compresión de cilindros con adición de 10% de TiO <sub>2</sub> .....	46
Tabla 25. Resistencia a la Compresión de cilindros con adición de 15% de TiO <sub>2</sub> .....	47
Tabla 26. Ensayo de Tracción Indirecta de Cilindros de Hormigón .....	48
Tabla 27. Ensayo de Permeabilidad en muestras de Hormigón Endurecido	49

Tabla 28. Consistencia del Hormigón .....	50
Tabla 29. Resumen de valores de Resistencia a Compresión .....	51
Tabla 30. Resumen de valores obtenidos de penetración de agua .....	53
Tabla 31. Resumen de contenido de vacíos del Hormigón Fresco.....	55
Tabla 32. Resumen de Resultados del Ensayo de Tracción Indirecta.....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva granulométrica del agregado fino.....	28
Gráfico 2. Granulometría del agregado grueso.....	29
Gráfico 3. Análisis Granulométrico del Agregado Fino .....	34
Gráfico 4. Resistencia a la Compresión.....	51
Gráfico 5. Relación porcentual de resistencias a compresión .....	52
Gráfico 6. Profundidades de Penetración de Agua .....	53
Gráfico 7. Comportamiento del hormigón frente a la penetración del agua .	54
Gráfico 8. Contenido de vacíos del Hormigón Fresco.....	55
Gráfico 9. Máxima Fuerza del Ensayo de Tracción Indirecta.....	57
Gráfico 10. Resistencia a Tracción del Ensayo de Tracción Indirecta .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Protuberancias observadas microscópicamente en la hoja de la flor de loto .....	6
Fig. 2. (A) y (B) Comparación entre una superficie hidrófuga y una normal ..	7

## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto de investigación el objetivo fue determinar la hidrofobicidad del hormigón con una dosificación de 240 Kg/cm<sup>2</sup>, para lo cual se implementó la adición de Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) como sustitución de diferentes porcentajes de cemento, entendiéndose por hidrofobicidad aquella propiedad que poseen ciertos materiales cuando estos son capaces de repeler el agua que cae en su superficie.

Para poder evaluar la influencia del Dióxido de Titanio, fue necesario la elaboración de una serie de probetas con diferentes concentraciones, es decir con el 5%, 10% y 15% de TiO<sub>2</sub> para compararlas con otras realizadas con un hormigón convencional de referencia.

Para evaluar la hidrofobicidad de las muestras, fue necesario ensayar los cilindros de hormigón en estado endurecido a una edad de 28 días y aplicando la norma europea UNE-EN 12390-8.

Además, se realizó el ensayo de compresión de los especímenes cumpliendo con la norma ASTM C39 a fin de determinar si la adición del dióxido de titanio produce un aumento o disminución de su capacidad resistente.

Asimismo, se aplicó la norma ASTM C 231 con la finalidad de evaluar si la mezcla en estado fresco con sustitución de Dióxido de Titanio permite la reducción de vacíos en su interior.

Finalmente, se determinó que las muestras estudiadas no presentaban características de hidrofobicidad con la adición de Dióxido de Titanio, sin embargo, si se convertían en impermeables, ya que el agua era capaz de penetrar en su interior máximo 16 mm. Además, se obtuvo que la adición de TiO<sub>2</sub> permitió la reducción de vacíos en su interior, y el aumento de su resistencia cuando está sometido a compresión.

## EXECUTIVE SUMMARY

In the present research project, the objective was to determine the hydrophobicity of the concrete with a dosage of 240 Kg / cm<sup>2</sup>, for which the addition of Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) will be implemented as substitution of different percentages of cement, understanding by hydrophobicity that property that certain materials have when they are able to repel the water that falls on their surface.

To be able to evaluate the influence of Titanium Dioxide, it was necessary to elaboration of a series of test tubes with different concentrations, that is to say, with 5%, 10% and 15% of TiO<sub>2</sub> to compare them with others made with a conventional reference concrete.

To evaluate the hydrophobicity of the samples, it was necessary to test the concrete cylinders in hardened state at an age of 28 days and applying the European standard UNE-EN 12390-8.

Also, the compression test of the specimens was carried out in compliance with ASTM C39 in order to determine if the addition of titanium dioxide produces an increase or decrease of its resistant capacity.

Likewise, the ASTM C 231 standard was applied with the purpose to evaluate if the mix in fresh state with substitution of Titanium Dioxide allows the reduction of voids inside.

Finally, it was determined that the samples studied did not have hydrophobicity characteristics with the addition of Titanium Dioxide, however, it did become waterproof, since the water was able to penetrate inside maximum 16 mm. In addition, it was obtained that the addition of TiO<sub>2</sub> allowed the reduction of vacuum inside, and the increase of its resistance when it is subjected to a compression.



# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE  $F'c = 240 \frac{KG}{CM^2}$  CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( $TiO_2$ )

### 1.2 ANTECEDENTES

En la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Teknologi MARA, se desarrolló un tema cuyo objetivo fue elaborar un recubrimiento superhidrófobo mediante la dispersión de ceniza de cáscara de arroz en una solución etanólica que contenía silano fluoroalquilo, 1H, 1H, 2H, 2H-trietoxi silano perfluorodecilo (2 vol.%) [1].

De acuerdo con esta investigación, se concluyó que se formó satisfactoriamente la superficie superhidrofóbica, ya que la superficie del hormigón formó un ángulo de contacto con el agua de  $152,3 \pm 0,5^\circ$  lo que ocasionaba la repulsión del agua tal y como lo hace la hoja de loto. Además, la presión de agua en el hormigón fue reducida de 500 kPa, pero no se previno totalmente. No se afectó significativamente la dureza superficial ni la resistencia a la compresión con el recubrimiento realizado. Asimismo, se permitió una mayor velocidad ultrasónica debido a que se redujo la porosidad superficial [1].

Por otra parte, en el Laboratorio Estatal de Materiales de la Universidad de Tecnología de Wuhan, se ejecutó una investigación, cuyo objetivo fue utilizar la técnica Nanocasting para transferir la microestructura de la hoja de loto

sobre la superficie de cemento. Esto se logró por medio de la replicación de la plantilla en litografía blanda, uno fue jerárquico estructura y el otro era la estructura de la torre. Tanto el diámetro como la altura de las micro papilas fue de 10 mm. Finalmente, la medición del ángulo de contacto confirmó la superhidrofobicidad en el cemento y la autolimpieza fue comprobada mediante el experimento marcador “T” [2].

Asimismo, en el Departamento de Ingeniería Civil, Construcción e Ingeniería Ambiental de la Universidad del Estado de Iowa, se desarrolló un tema que consistió en realizar revestimientos super-hidrofóbicos sobre superficies de hormigón de cemento Portland. El objetivo fue sintetizar, caracterizar y evaluar en el hormigón de cemento Portland (PCC), los recubrimientos basados en nanomateriales superhidrofóbicos [3].

Dicha investigación fue lograda con la utilización de la técnica de deposición por deposición por pulverización Layer-by-layer (LBL), la cual fue utilizada por primera vez para crear un PCC para aplicarlo en pavimentos rígidos a fin de lograr una superficie sin hielo y sin nieve. Además, se texturizó la superficie de PCC y se logró mejorar la resistencia a la derrapada en el agua/hielo, y la resistencia al deslizamiento [3].

Por otro lado, en la Universidad Autónoma de Querétaro [4] una tesis consistió en la elaboración de superficies auto-limpiantes para la industria de la construcción a base de  $TiO_2$  dopado con  $Fe$  y  $S$  mediante el método de Sol-Gel asistido por microondas. Con dicha investigación se logró concluir su alta efectividad y obtener otras propiedades adicionales a las estimadas como una mayor área superficial en las partículas de polvo, además de un aspecto más natural y estético cuando fue aplicado a las muestras de concreto.

También en la Universidad Nacional de Colombia [5] se desarrolló un tema que consistió en la evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio. Se estudió la actividad fotocatalítica del  $TiO_2$  en pastas de cemento Portland, las propiedades fueron evaluadas a dos edades de curado (65 horas y 28 días)

con la medición de la degradación producida por el colorante orgánico Rodamina B y la degradación de óxidos de nitrógeno. Por lo que los resultados mostraron que la actividad fotocatalítica se reducía con el paso del tiempo de curado de las probetas, además se descubrió que la degradación fotocatalítica dependía del tamaño de la molécula a degradar.

Finalmente, en la Universidad del Bío-Bío [6] se realizó un proyecto de investigación que consistió en una evaluación técnico ambiental del titanio ( $TiO_2$ ) en los morteros de cemento chilenos, con ello se logró concluir que al aumentar la cantidad en peso de  $TiO_2$ , se muestra un mortero poco trabajable, más seco y en lo que respecta a las propiedades mecánicas, sus valores permanecen estables, por lo que no baja ni mejora sus cualidades.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Actualmente, todas las construcciones se ven afectadas por el agua, ya que a pesar de que representa un componente dentro de la mezcla es el principal enemigo tanto superficial como interno del hormigón, por esta razón se desea realizar este proyecto de investigación con la finalidad de evitar la acción destructora del agua en cimentaciones, muros y pantallas, estructuras enterradas, depósitos de agua, y otras obras de hormigón que estén en contacto con el agua.

El interés por el desarrollo del presente tema surgió como resultado de investigaciones previas acerca de las propiedades de la hoja de loto, la cual posee características de autolimpieza que son el resultado de una alta repelencia al agua, es decir que la gota de agua que se desliza por su superficie no se rompe, permanece esférica; este fenómeno se conoce como super-hidrofobicidad, además las partículas de polvo u otras impurezas no se adhieren lo suficiente a la superficie y son eliminadas por el arrastre de agua sin empapar la hoja, por tal motivo se desea estudiar de qué forma la adición

de  $TiO_2$  reacciona con el cemento para producir las características antes mencionadas.

Asimismo, representa de gran utilidad puesto que podría ser empleado para cimentaciones, muros de sótanos, fachadas y elaboración de hormigones vistos.

Si se obtienen las propiedades de hidrofobicidad, se producirá un gran impacto en el desarrollo de nuevos materiales, beneficiando a la construcción de nuevas edificaciones repelentes al agua, evitando pérdidas de resistencia por deterioro tanto del hormigón como del acero de refuerzo en el caso del hormigón armado.

Además, será factible realizar la experimentación, ya que se cuenta con el apoyo profesional en el área de materiales e instrumentos de laboratorios necesarios para llevarla a cabo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar la hidrofobicidad del hormigón con adición de Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) en diferentes dosificaciones.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la influencia del Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) en las propiedades del hormigón fresco y en las propiedades específicas del hormigón endurecido (Hidrofobicidad y resistencia a la compresión).
- Determinar la influencia del Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) en la cantidad de aire atrapado en el hormigón fresco.
- Sugerir una dosificación óptima de Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) que desarrolle las mejores características de hidrofobicidad en el hormigón.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Actualmente, en el ámbito de la construcción se torna difícil encontrar materiales que aprovechen los avances en temas de control de mojabilidad, autolimpieza y durabilidad, debido al desconocimiento, precio o simplemente inexistencia en el mercado. Hoy en día, las investigaciones han aportado en la creación de tratamientos superficiales que proporcionan propiedades de autolimpieza e hidrofobicidad sobre las superficies en donde son aplicadas, los cuales se fundamentan en el efecto loto en donde la gota de agua no se rompe al desplazarse sobre la superficie (super-hidrofobicidad) y las partículas de polvo no quedan adheridas, siendo desplazadas por el agua (autolimpieza).

En efecto, la presente investigación busca lograr estas características en el hormigón por medio de la utilización de Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ), para ello será necesario fundamentar las cualidades que se pretenden y las propiedades y mecanismos de acción del material empleado.

##### **2.1.1 Efecto Loto, Mojabilidad, Autolimpieza**

La hoja de la flor de loto es considerada símbolo de pureza para diferentes culturas asiáticas debido a su estado de limpieza y tersura, dicha planta posee características que hacen posible ese estado en ambientes húmedos y pantanosos. La interacción entre el agua y la superficie permite que una gota se desplace con facilidad y arrastre las partículas que se encuentran en la superficie. La gota tiene una forma cuasi esférica, por lo que la combinación de composición química, arquitectura o topografía de la superficie hace que

no se moje la superficie, y que la gota de agua sea repelida, demostrando de esta manera un comportamiento hidrofóbico [7].

Este fenómeno puede ser explicado mediante un estudio detallado de la superficie de la planta, en donde se juegan dos características complementarias: en primer lugar, por la existencia de un revestimiento, es decir una membrana extracelular, cuya función es servir de barrera ante la transpiración, proporcionar estabilidad estructural a toda la superficie, reflejar la luz y formar pequeñas protuberancias de aire, a fin de controlar la temperatura de la hoja. En segundo lugar, una micro estructura particular de protuberancias entre 5 y 10 micrómetros de diámetro, formadas por un entrelazado de fibras de cera cristalizada de 200 nm de diámetro aproximadamente.

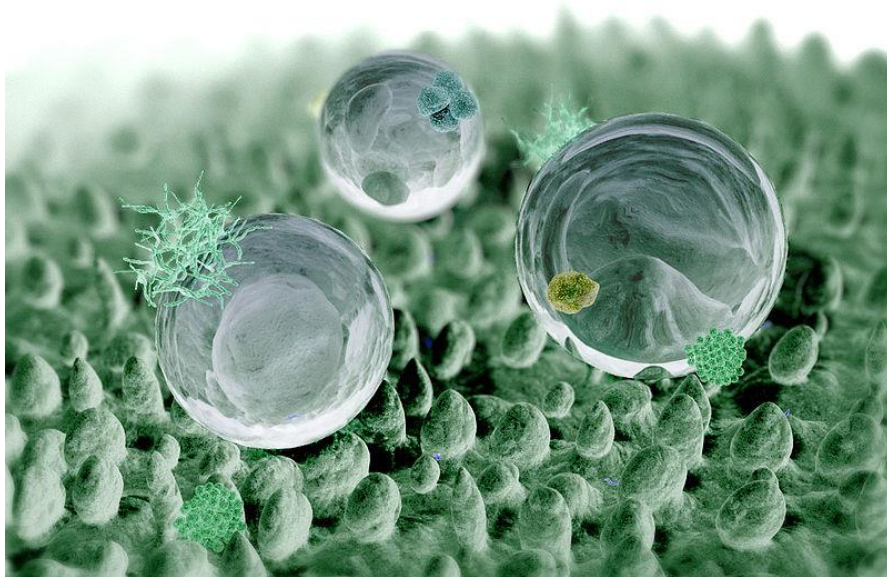


Fig. 1. Protuberancias observadas microscópicamente en la hoja de la flor de loto

Finalmente, al tener un ángulo de contacto superior a  $150^\circ$  se logra repeler totalmente el agua y se obtienen superficies auto limpiantes, antihumedad, anti adhesión, anticorrosión, resistentes a las manchas y a la proliferación de organismos.

### 2.1.1.1 Hidrofobicidad

Se define la hidrofobicidad como una propiedad que poseen ciertos materiales cuando repelen el agua o no pueden mezclarse con ella.

Actualmente, muchas investigaciones se han centrado en obtener superficies sólidas de carácter hidrófobo, cuyo diseño se ha basado en reproducir las características auto limpiantes de muchas especies vegetales, tal es el caso de la hoja de loto. Este comportamiento se logra debido a que las gotas de agua en contacto con dichas superficies adquieren una forma esférica.

En lo que respecta a superficies hidrofóbicas, se establece que estas pueden verse afectadas por la naturaleza química de la superficie, así como por la rugosidad. Es por ello, que es necesario inducir una rugosidad a escala micro o nanométrica la cual puede ser obtenida de diversas maneras.



(A)



(B)

Fig. 2. (A) y (B) Comparación entre una superficie hidrófuga y una normal

## 2.1.2 Dióxido de Titanio

El titanio es muy abundante en la naturaleza, sin embargo, no puede encontrarse en estado puro sino como óxidos, tal es el caso del dióxido de titanio y la ilmenita, por lo que puede distinguirse dentro del dióxido de titanio tres modificaciones cristalinas como el rutilo (tetragonal), anatasa (tetragonal), y brookita (ortorómbica). De acuerdo con estas tres clases, el rutilo representa el más estable, sin embargo, la anatasa y brookita pueden convertirse en rutilo cuando están bajo calentamiento.

### 2.1.2.1 Aplicaciones

El Dióxido de Titanio posee múltiples aplicaciones debido a que descompone productos tóxicos y contaminantes a productos no peligrosos [8] y sus aplicaciones se han dividido según la presentación de las partículas, sean estas que se encuentren suspendidas o inmovilizadas sobre una matriz, es decir que el  $TiO_2$  queda inmovilizado en la mezcla de mortero en la etapa de fraguado, dando lugar a una pasta rígida.

Mediante la fotocatalisis, entendiéndose por esto al proceso químico que utiliza la luz UV-A de la luz solar para descomponer los contaminantes orgánicos e inorgánicos del ambiente, el dióxido de titanio como catalizador es capaz de degradar los fenoles que son causantes de otorgarle al agua un sabor desagradable incluso a muy bajas concentraciones. Además, permite tratar varios compuestos orgánicos clorados volátiles, incluso polímeros producto de plantas de producción de PVC.

El  $TiO_2$  ha demostrado efectividad en la degradación de aguas residuales provenientes de la producción de antibióticos y otros fármacos que no pueden ser tratados mediante sistemas biológicos. Asimismo, grandes cantidades de aguas contaminadas son generadas por procesos de limpieza de tanques, los cuales son utilizados para la recepción, almacenamiento y distribución de productos químicos, por lo que luego pueden ser limpiados o tratados mediante fotocatalisis, cuando van a ser llenados por una sustancia diferente.



Actualmente, es posible la desinfección del agua a través del cloro, debido a su capacidad para inactivar bacterias y virus. Sin embargo, se pueden generar subproductos no deseados, tales como halometanos y otros productos cancerígenos, por la presencia de impurezas orgánicas en el agua; por esta razón, se está estudiando la radiación ultravioleta, mediante lámparas para la desinfección del agua. El proceso de fotocátalisis es mucho menos activo como germicida, utilizando luz solar. Sin embargo, produce un efecto antibacteriano, el cual ha sido demostrado en varios microorganismos y también ha permitido la desinfección de virus.

Por otra parte, el tratamiento de atmósferas interiores que contienen bajos niveles de contaminantes es posible mediante fotocátalisis heterogénea. Se ha utilizado técnicas de absorción de contaminantes sobre carbón activo, el cual consiste en un proceso en donde los contaminantes se acumulan en la superficie del absorbente hasta agotarlo, por lo tanto, es necesario regenerarlos periódicamente, obteniéndose una nueva fase contaminada que necesita un posterior tratamiento.

### **2.1.2.2 Creación de Materiales de Construcción**

La característica de autolimpieza o eliminación de contaminantes y olores en el aire, ha sido un tema ampliamente tratado en la obtención de nuevos materiales, como ejemplo de ello se encuentran los vidrios, baldosas, fachadas, pavimentos, mobiliario urbano, entre otros, los cuales han sido impregnados de  $TiO_2$ , con la finalidad de ser utilizados tanto en interiores como en exteriores.

En lo que respecta a los pavimentos bituminosos de tipo fotocatalítico, entendiéndose por estos, aquellos destinados al tráfico rodado y al peatonal, se han aplicado diversas tecnologías dirigidas a dos grandes grupos, uno a los asfálticos, que generalmente son utilizados para tráfico vehicular y otros de hormigón cuyo uso principal es peatonal [7].

Por otra parte, se han realizado varios estudios de aplicación de recubrimientos monocapa de una suspensión en base acuosa de Dióxido de titanio en los materiales de piedra, evaluando su eficacia y compatibilidad. En efecto, las propiedades de auto-limpieza y descontaminación son evidentes, por lo que resultaría apropiada para mejorar el aire, y sobre todo para fachadas expuestas a la intemperie.

En lo que respecta a los pavimentos de hormigón, se ha utilizado  $TiO_2$  para crear pavimentos fotocatalíticos, pues su versatilidad, costo racional y sus posibilidades de aplicación en el cemento/hormigón lo ha convertido en un material importante y popular. Además, estudios han demostrado que su combinación con distintos materiales de construcción cementicios permiten obtener efectos sinérgicos.

En Japón y Europa ya están en curso varias aplicaciones de pavimentos con  $TiO_2$  y en Estados Unidos se han iniciado recientemente colocación de recubrimientos de  $TiO_2$  a las carreteras y barreras de sonido.

A pesar de que existe varios estudios acerca del tema, representa un reto comparar los resultados obtenidos, ya que influyen diferentes variables, métodos de prueba y métodos de información [8].

### **2.1.2.3 Efecto auto limpiante**

Es común que la exposición a la atmosfera de todas las superficies experimenta depósitos de compuestos orgánicos como gases originados de los tubos de escape de los vehículos, contaminantes procedentes de actividades industriales y domésticas, moho entre otros, los cuales son responsables del manchado de los elementos sobre los cuales se depositan, por lo tanto, estudios han demostrado que la acción fotocatalítica del  $TiO_2$  elimina las moléculas orgánicas colorantes y de manera indirecta permite la reducción de partículas sólidas inorgánicas como la suciedad producida por el polvo común. La limpieza de las superficies consiste en la degradación de

la capa orgánica, seguida de la remoción de las partículas restantes por medio de agua producto de las precipitaciones [9].

#### **2.1.2.4 Efecto descontaminante**

Este efecto se produce cuando los contaminantes son atrapados en la superficie de los hormigones y morteros modificados con  $TiO_2$ , ya que la reacción de oxidación- reducción producto de la fotocatalisis convierte los óxidos de nitrógeno en sales solubles de nitrato de calcio que se eliminan con el agua de precipitaciones o de riego y los compuestos orgánicos volátiles se convierten en agua y dióxido de carbono {Abella Rodríguez, 2015, Mejora de las propiedades de materiales a base de cemento que contienen  $TiO_2$ : propiedades autolimpiantes [9].

#### **2.1.2.5 Efecto antibacteriano**

Este efecto tiene relación con el crecimiento microbiano sobre los materiales elaborados a base de cemento, sumado a las condiciones ambientales que se presentan como alta humedad y exposición al sol, lo que trae como resultado la propagación de microorganismos tales como hongos, cianobacterias y algas, los cuales son fenómenos comunes debido a la alta porosidad, rugosidad y rica composición mineral de los materiales a base de cemento.

En lo que respecta a las algas, estas causan manchas sobre la superficie, producen cambios químicos y disminuyen su durabilidad. Por lo tanto, el dióxido de titanio permite descomponer los compuestos orgánicos, y es por ello por lo que ha sido utilizado para eliminar la bacteria *E. Coli* en el tratamiento de aguas y para foto degradar el alga *Cladophora* [9].

#### **2.1.2.6 Efecto Hidrófugo**

El Dióxido de Titanio ha sido ampliamente estudiado debido a sus beneficiosos efectos como lo son la autolimpieza, la descontaminación y su efecto para combatir las bacterias, sin embargo, se ha propuesto en la

presente investigación determinar la influencia del compuesto dentro de la mezcla de cemento, todo se ha promovido debido a que la hidrofobicidad puede ser lograda mediante la implementación de una rugosidad nanométrica dentro de la superficie.

Además, se ha optado por el  $\text{TiO}_2$  teniendo en consideración su efecto auto limpiante, el cual representa una característica fundamental de una superficie hidrófuga, ya que permite la descomposición de la suciedad la cual puede ser eliminada posteriormente por la acción de la lluvia.

Por lo tanto, se considera, que al ser el Dióxido de titanio un nanomaterial permitiría la reducción de poros dentro de la matriz y a su vez promovería la formación de la rugosidad, que evitaría la penetración del agua dentro del hormigón. Tales afirmaciones se esperan ser comprobadas con el desarrollo de la presente investigación.

### **2.1.3 Hormigones elaborados con $\text{TiO}_2$**

El dióxido de titanio puede ser adicionado directamente al cemento que forma parte de la mezcla. Por lo tanto, con este cemento se pueden realizar pastas, morteros y hormigones. Por lo que dependiendo al uso que se le vaya a dar, sea este de autolimpieza, descontaminante o bactericida puede ser aplicado sobre un determinado tipo de elemento constructivo, convirtiéndose el hormigón en el más requerido.

En estructuras horizontales, ha sido empleado para la construcción de pavimentos de hormigón, pavimentos de adoquines prefabricados, revestimientos de pavimentos y calles, losas de cemento, pinturas para las señales de tráfico, tejas de hormigón.

En lo que respecta a estructuras verticales, se ha utilizado en la elaboración de morteros de revestimientos, pinturas de cemento, paneles prefabricados, barreras anti ruido y de seguridad para calles y carreteras.

En relación con túneles, se han elaborado pinturas de cemento, paneles de hormigón y pavimentos de hormigón.

Por todo lo anterior, el dióxido de titanio puede ser aplicado sobre cualquier tipo de hormigón, ya que no afecta a sus propiedades resistentes. El hormigón con  $TiO_2$  no se diferencia mucho del hormigón convencional debido a que la fabricación y puesta en obra de este, no se condiciona por la presencia del químico. A diferencia de un hormigón blanco en donde se debe tener consideraciones especiales, ya que en su fabricación no se adicionan ciertos componentes como el humo de sílice, debido a que este le otorgaría color al hormigón.

## **2.1.4 Hormigón**

### **2.1.4.1 Resistencia a compresión**

La resistencia a compresión es un ensayo que se realiza al hormigón en estado endurecido mediante la compresión axial de cilindros con medidas estándares de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro, tal propiedad depende y va en función de la edad del hormigón, ya que esta va aumentando a medida que alcanza una edad de 28 días.

Así pues, son varios los factores que modifican la resistencia, tales como el tipo de cemento, tamaño y calidad de los agregados, cantidad de agua (relación agua/cemento), aditivos, proporciones, condiciones de curado, velocidad de aplicación de las cargas, fatiga, influencias de las altas temperaturas, normativas de ensayo, entre otras [10].

## **2.1.5 Dosificación**

### **2.1.5.1 Método de la Densidad Óptima**

El diseño de un hormigón se lo puede realizar mediante el método desarrollado por la Universidad Central del Ecuador denominado Método de la Densidad Óptima, el cual consiste en determinar la densidad óptima de la mezcla de agregados y la cantidad de pasta y agua necesaria para rellenar los espacios vacíos que existen y dejan los agregados. Por lo tanto, el objetivo será determinar la pasta necesaria para recubrir cada partícula de agregado constituyendo enlaces entre ellas, y así lograr un hormigón con la resistencia deseada.

Para poder aplicar este método es necesario establecer la resistencia a compresión que se desea obtener a los 28 días de edad y el asentamiento, además es importante realizar ensayos a los materiales que serán utilizados para la mezcla, los cuales serán los siguientes:

- Densidad real del cemento DRC
- Densidad real de arena DRA
- Densidad real del ripio DRR
- Densidad aparente suelta de arena DSA
- Densidad aparente suelta del ripio DSR
- Densidad aparente compactada de arena DCA
- Densidad aparente compactada del ripio DCR
- Porcentaje óptimo de arena POA
- Módulo de Finura de arena MFA
- Porcentaje óptimo de ripio POR:

- Densidad óptima de la mezcla DOM
- Capacidad de absorción de arena CAA
- Capacidad de absorción del ripio CAR
- Contenido de humedad de arena CHA
- Contenido de humedad del ripio CHR

De acuerdo con lo anterior, para la realización del diseño serán necesarios la consecución de los siguientes pasos:

Definición de relación agua/cemento: w/c

Tabla 1. Relación agua / cemento

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

2) Cálculo de Densidad real de la mezcla: DRM

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

3) Cálculo de Porcentaje óptimo de vacíos: POV

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

4) Cálculo de cantidad de pasta en porcentaje: CP% en función del asentamiento

Tabla 2. Cantidad de Pasta

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
<b>0-3</b>	POV + 2% + 3% (POV)
<b>3-6</b>	POV + 2% + 6% (POV)
<b>6-9</b>	POV + 2% + 8% (POV)
<b>9-12</b>	POV + 2% + 11% (POV)
<b>12-15</b>	POV + 2% + 13% (POV)

5) Cálculo de cantidad de pasta por 1m<sup>3</sup> de hormigón

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

6) Cálculo de cantidad de cemento en 1m<sup>3</sup> de hormigón

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

7) Cálculo de cantidad de agua en 1m<sup>3</sup> de hormigón

$$W = \frac{W}{C} * C$$

8) Cálculo de cantidad de arena en 1m<sup>3</sup> de hormigón

$$A = (1000 \text{ dm}^3 - CP) * DRA * POA/100$$

9) Cálculo de cantidad de ripio en 1m<sup>3</sup> de hormigón

$$R = (1000 \text{ dm}^3 - CP) * DRR * POR/100$$



## **2.2 HIPÓTESIS**

La adición del Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) otorga características de Hidrofobicidad al hormigón.

## **2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1 Variable Independiente**

Dióxido de titanio ( $TiO_2$ )

### **2.3.2 Variable Dependiente**

Hidrofobicidad del hormigón

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 Exploratorio**

Se aplicará el nivel de investigación exploratorio a fin de indagar, recopilar y organizar información acerca del tema tratado, con el propósito de obtener evidencias respecto a su entorno y así conocer las características de este.

##### **3.1.2 Descriptivo**

Se llevará a cabo la investigación con el nivel descriptivo, con la finalidad de direccionar cada etapa de la investigación para la toma de decisiones. Adicionalmente, será descriptiva, ya que se recolectará información de los ensayos para establecer análisis comparativos y modelos de comportamientos del hormigón con la adición de Dióxido de titanio ( $TiO_2$ ).

Asimismo, permitirá describir claramente el comportamiento del hormigón durante la experimentación y la situación de las muestras luego de la obtención de los resultados.

##### **3.1.3 Comparativo**

El nivel comparativo será necesario para correlacionar las variables planteadas en la presente investigación, a fin de determinar el grado de incidencia de estas, para poder establecer los resultados del estudio.

## **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1 Población**

Todo tipo de estructura y edificación en contacto con el agua y que necesiten hidrofobicidad.

### **3.2.2 Muestra**

Se realizarán 6 probetas de hormigón de  $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$  por cada porcentaje de  $TiO_2$  (del 5%, 10% y 15%) en función de la cantidad de cemento, y también 6 probetas adicionales sin agregar el compuesto. Esto será realizado tomando como base lo dispuesto en la norma NTE INEN 1573, en donde se señala un número mínimo de 3 probetas para confiabilidad de las muestras ensayadas.

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1 Variable Independiente

Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ )

Tabla 3. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnicas, instrumentos y población
El dióxido de titanio puede ser adicionado directamente al cemento que forma parte de la mezcla de hormigón. El hormigón con $TiO_2$ no se diferencia mucho del hormigón convencional debido a que la fabricación y puesta en obra de este, no se condiciona por la presencia del químico.	Hormigón	Cantidad	¿Cuál es la cantidad de dióxido de titanio necesaria para $1 m^3$ de hormigón?	Observación Dosificación de laboratorio
		Resistencia	¿De qué manera influye la adición de $TiO_2$ en la resistencia del hormigón?	Encuesta Ensayo de compresión
	Fabricación	Consistencia	¿De qué manera influye la adición de $TiO_2$ en la consistencia del hormigón en estado fresco?	Observación
		Trabajabilidad	¿Cómo es la trabajabilidad de un hormigón con adición de $TiO_2$ ?	Observación Escala estimativa

### 3.3.2 Variable Dependiente

#### Hidrofobicidad del hormigón

Tabla 4. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Categoría Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnicas, instrumentos y población
La permeabilidad se define como el grado de oposición que ofrece el hormigón a que algún tipo de fluido, como por ejemplo el agua penetre en su interior, la cual está ligada a la porosidad del material, mientras que la hidrofobicidad se entiende como aquella propiedad que poseen ciertos materiales cuando son capaces de repeler el agua, por lo que el agua no es capaz de penetrar en su interior.	Hormigón	Resistencia	¿De qué manera varía la resistencia del hormigón cuando es hidrófugo?	Observación Ensayo de compresión
		Textura	¿Cuál es la textura que deberá tener un hormigón para ser hidrófugo?	Observación Investigación bibliográfica
	Permeabilidad	Porosidad	¿Cuál es el porcentaje de vacíos presente en la mezcla fresca de hormigón?	Observación Escala de valores
		Absorción	¿Cuál es la altura de penetración de agua en el cilindro de hormigón?	Observación

### 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 5. Plan de recolección de información

Preguntas básicas	Explicación
¿Para qué?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la influencia del Dióxido de Titanio (<math>TiO_2</math>) en las propiedades del hormigón fresco y en las propiedades específicas del hormigón endurecido (Hidrofobicidad y resistencia a la compresión).</li> <li>• Determinar la influencia del Dióxido de Titanio (<math>TiO_2</math>) en la cantidad de aire atrapado en el hormigón fresco.</li> <li>• Sugerir una dosificación óptima de Dióxido de Titanio (<math>TiO_2</math>) que desarrolle las mejores características de hidrofobicidad en el hormigón.</li> </ul>
¿De qué personas u objetivos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probetas de hormigón cilíndricas de 15 cm x 30 cm, fabricadas con adición de dióxido de titanio.</li> </ul>
¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación de los materiales que componen la mezcla de hormigón según la dosificación estudiada.</li> <li>• Influencia del dióxido de titanio en las propiedades y elaboración del hormigón.</li> </ul>
¿Quién?	El investigador
¿Dónde?	Laboratorios de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
¿Cómo?	Por medio de ensayos específicos de laboratorio para permeabilidad y compresión del hormigón.

### **3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

- Transportar, tamizar y clasificar el agregado grueso y el agregado fino.
- Secar el agregado grueso y el agregado fino.
- Determinar la densidad real del cemento Holcim mediante el método que utiliza el frasco volumétrico o picnómetro.
- Determinar la densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.
- Determinar la densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.
- Determinar la densidad aparente suelta y compactada del agregado fino y grueso.
- Determinar la densidad aparente compactada de la mezcla.
- Realizar la granulometría del agregado fino y del agregado grueso.
- Realizar la dosificación del hormigón.
- Elaborar los cilindros de hormigón de tamaño 15 cm x 30 cm, con adición del 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio, para lo cual se empleará la dosificación calculada.
- Dejar fraguar las probetas de hormigón.
- Realizar el ensayo de compresión.
- Realizar el ensayo de permeabilidad.
- Tabular de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión y permeabilidad.
- Graficar los resultados obtenidos de los ensayos de compresión y permeabilidad.

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos relacionándolos con lo observado y con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación, se despliegan los datos obtenidos de los ensayos de agregados finos, agregados gruesos y del cemento a fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas, los cuales serán utilizados para realizar la dosificación y posteriormente las probetas para el objeto de estudio, agregándose para ello, en su composición, dióxido de titanio.

Asimismo, se establecerá un análisis y discusión comparativa de los resultados obtenidos de las distintas muestras, cuyo objetivo será caracterizar el efecto que tiene el  $TiO_2$  sobre la resistencia y permeabilidad de cada tipo de muestra fabricada para el estudio.

##### 4.1.1 Datos Informativos

En la presente investigación se desarrollaron todos los procedimientos necesarios para la ejecución de cada ensayo en función de cada una de las normas vigentes, con la finalidad de obtener las características de todos los materiales utilizados para la elaboración de las probetas. Por lo tanto, a continuación, se enumeran cada uno de los ensayos realizados, de acuerdo al tipo de material:

- **Agregado fino:** Análisis granulométrico, densidad aparente suelta, densidad aparente compactada, densidad real y capacidad de absorción.
- **Agregado grueso:** Análisis granulométrico, densidad aparente suelta, densidad aparente compactada, densidad real y capacidad de absorción.

- **Mezcla de agregados fino y grueso:** Densidad aparente compactada de la mezcla.
- **Cemento:** Densidad real del cemento.
- **Hormigón:** contenido de vacíos de la mezcla de hormigón en estado fresco, propiedades en estado fresco.
- **Probetas de Hormigón de 15 cm x 30 cm:** Ensayo a compresión, ensayo de permeabilidad, ensayo de tracción indirecta.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados:

## 4.1.2 Ensayos realizados en los Agregados

### 4.1.2.1 Granulometría del Agregado Fino

Tabla 6. Análisis Granulométrico del Agregado Fino



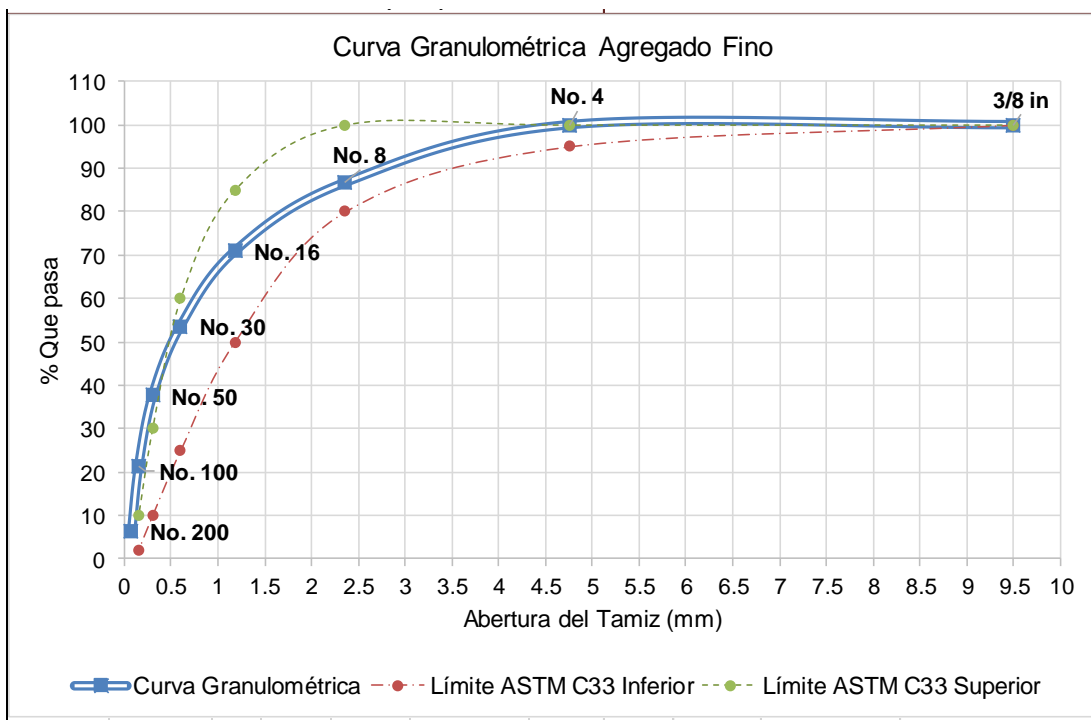
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>TEMA</b>		"ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO <sub>2</sub> )"					
<b>ORIGEN:</b>		Constructora Alvarado					
<b>ENSAYADO POR:</b>		Dubraska Chacón			<b>FECHA:</b>		17/11/2016
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 0696					
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO</b>							
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>			1000	<b>PÉRDIDA MUESTRA (%):</b>			0.01
Abertura Tamiz	Abertura Tamiz	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límites ASTM C33 % que pasa	
3/8 in	9.5 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
No.4	4.75 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	95 - 100	
No.8	2.36 mm	132.89	132.89	13.30	86.70	80 - 100	
No.16	1.18 mm	158.20	291.09	29.13	70.87	50 - 85	
No.30	0.60 mm	172.20	463.29	46.36	53.64	25 - 60	
No.50	0.30 mm	160.00	623.29	62.37	37.63	10 - 30	
No.100	0.15 mm	163.80	787.09	78.76	21.24	2 - 10	
No.200	0.075 mm	149.00	936.09	93.67	6.33	-	
BANDEJA		63.20	999.29	99.99	-	-	
<b>MÓDULO DE FINURA (M.F.) =</b>				<b>2.30</b>			

Gráfico 1. Curva granulométrica del agregado fino

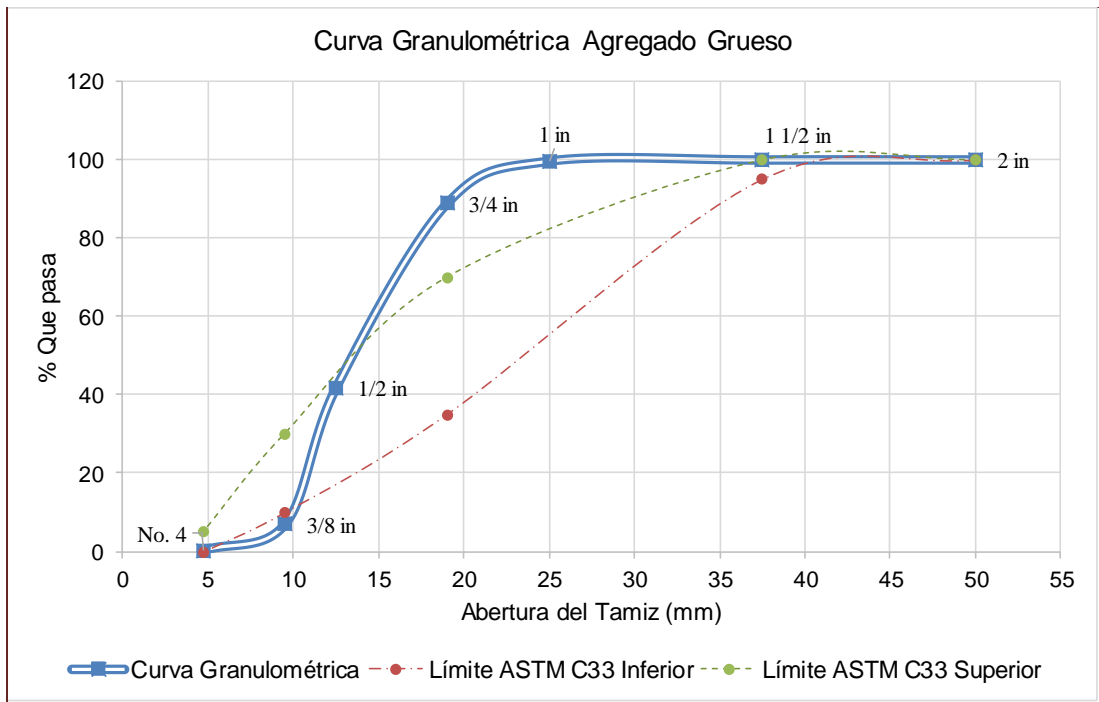


#### 4.1.2.2 Granulometría del Agregado Grueso

Tabla 7. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
TEMA		"ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO <sub>2</sub> )"				
ORIGEN:		Constructora Alvarado				
ENSAYADO POR:		Dubraska Chacón		FECHA: 17/11/2016		
NORMA:		NTE INEN 0696				
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO</b>						
PESO DE LA MUESTRA (gr):		10000		PÉRDIDA MUESTRA (%): 0.10		
Abertura Tamiz	Abertura Tamiz	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límites ASTM C33 % que pasa
2 in	50 mm	0	0	0	100	100
1 1/2 in	37.5 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	95 - 100
1 in	25 mm	31.00	31.0	0.31	99.69	-
<b>3/4 in</b>	19 mm	1087.00	1118.0	11.18	88.82	35 - 70
1/2 in	12.5 mm	4692.00	5810.0	<b>58.10</b>	41.90	-
3/8 in	9.5 mm	3491.00	9301.0	93.01	6.99	10 - 30
No.4	4.75 mm	666.00	9967.0	99.67	0.33	0 - 5
BANDEJA		23.00	9990.0	99.90	-	-
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (T.N.M.) =</b>				<b>3/4 in</b>		

Gráfico 2. Granulometría del agregado grueso





### 4.1.2.3 Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

Tabla 8. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>			
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Dubraska Chacón	<b>FECHA:</b>	28/11/2017	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 0856			
<b>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO</b>				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
<b>M1</b>	Masa del picnómetro	gr	163.70	
<b>M2</b>	Masa del picnómetro + muestra S.S.S.	gr	514.50	
<b>M3</b>	Masa del picnómetro + muestra S.S.S. + agua	gr	879.60	
<b>M4 = M3 - M2</b>	Masa de agua añadida	gr	365.10	
<b>M5</b>	Masa del picnómetro + 500 cm <sup>3</sup> de agua	gr	662.10	
<b>M6 = M5 - M1</b>	Masa de 500 cm <sup>3</sup> de agua	gr	498.40	
<b>DA = M6 / 500 cm<sup>3</sup></b>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.0	
<b>M7 = M6 - M4</b>	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	133.30	
<b>Msss = M2 - M1</b>	Masa de la muestra S.S.S.	gr	350.80	
<b>Vsss = M7 / DA</b>	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	133.73	
<b>DRA = Msss / Vsss</b>	Densidad real de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.623</b>	
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>				
Datos	Designación	Unidad	Valor 1	Valor 2
<b>M8</b>	Masa del recipiente	gr	33.84	33.86
<b>M9</b>	Masa del recipiente + muestra S.S.S.	gr	296.73	273.25
<b>M10 = M9 - M8</b>	Masa de la muestra S.S.S.	gr	262.89	239.39
<b>M11</b>	Masa del recipiente + muestra seca	gr	293.92	270.83
<b>M12 = M11 - M8</b>	Masa de la muestra seca	gr	260.08	236.97
<b>CA = ((M10 - M12) / M12)*100</b>	Capacidad de absorción	%	1.08	1.02
<b>CAp = (CA1 + CA2) / 2</b>	Capacidad de absorción promedio	%	<b>1.05</b>	

#### 4.1.2.4 Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

Tabla 9. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		<b>FICM</b>		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>			
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Dubraska Chacón	<b>FECHA:</b>	27/11/2017	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 0857			
<b>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO</b>				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1258.00	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1094.00	
M3	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el aire	gr	4868.00	
M4	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el agua	gr	3345.00	
DA	Densidad real del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.0	
M5 = M3 - M1	Masa de la muestra S.S.S. en el aire	gr	3610.00	
M6 = M4 - M2	Masa de la muestra S.S.S. en el agua	gr	2251.00	
VR = (M5 - M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm <sup>3</sup>	1359.00	
DRR = M5 / VR	Densidad real del ripio	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.656</b>	
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>				
Datos	Designación	Unidad	Valor 1	Valor 2
M7	Masa del recipiente	gr	34.35	33.39
M8	Masa del recipiente + muestra S.S.S.	gr	254.50	248.50
M9 = M8 - M7	Masa de la muestra S.S.S.	gr	220.15	215.11
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	253.08	247.15
M11 = M10 - M7	Masa de la muestra seca	gr	218.73	213.76
CA = ((M9 - M11) / M11)*100	Capacidad de absorción	%	0.65	0.63
Ap = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de absorción promedio	%	<b>0.64</b>	

#### 4.1.2.5 Densidad Aparente Suelta y Compactada

Tabla 10. Densidad Aparente Suelta 1 del Agregado Grueso y Fino




 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> 																							
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																							
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>																						
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado																						
<b>ENSAYADO POR:</b>	Dubraska Chacón																						
<b>FECHA:</b>	21/11/2017																						
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 0858																						
<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO</b>																							
<b>Datos iniciales:</b>	<b>Masa recipiente:</b> 9.90 Kg																						
	<b>Volumen recipiente:</b> 20.23 dm <sup>3</sup>																						
<b>Agregado</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Agregado + Recipiente (kg)</th> <th style="width: 20%;">Agregado (kg)</th> <th style="width: 20%;">Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</th> <th style="width: 40%;">Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRUESO</td> <td>37.60</td> <td>27.70</td> <td>1.369</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; color: red;"><b>1.367</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td>37.50</td> <td>27.60</td> <td>1.365</td> </tr> <tr> <td>FINO</td> <td>37.20</td> <td>27.30</td> <td>1.350</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; color: red;"><b>1.352</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td>37.30</td> <td>27.40</td> <td>1.355</td> </tr> </tbody> </table>	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm <sup>3</sup> )	Peso Unitario Promedio (kg/dm <sup>3</sup> )	GRUESO	37.60	27.70	1.369	<b>1.367</b>		37.50	27.60	1.365	FINO	37.20	27.30	1.350	<b>1.352</b>		37.30	27.40	1.355
Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm <sup>3</sup> )	Peso Unitario Promedio (kg/dm <sup>3</sup> )																				
GRUESO	37.60	27.70	1.369	<b>1.367</b>																			
	37.50	27.60	1.365																				
FINO	37.20	27.30	1.350	<b>1.352</b>																			
	37.30	27.40	1.355																				

Tabla 11. Densidad Aparente Suelta 2 del Agregado Grueso y Fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> 																							
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>																							
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>																						
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado																						
<b>ENSAYADO POR:</b>	Dubraska Chacón																						
<b>FECHA:</b>	21/11/2017																						
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 0858																						
<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO</b>																							
<b>Datos iniciales:</b>	<b>Masa recipiente:</b> 9.90 Kg																						
	<b>Volumen recipiente:</b> 20.23 dm <sup>3</sup>																						
<b>Agregado</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Agregado + Recipiente (kg)</th> <th style="width: 20%;">Agregado (kg)</th> <th style="width: 20%;">Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</th> <th style="width: 40%;">Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRUESO</td> <td>40.20</td> <td>30.30</td> <td>1.498</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; color: red;"><b>1.496</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40.10</td> <td>30.20</td> <td>1.493</td> </tr> <tr> <td>FINO</td> <td>39.80</td> <td>29.90</td> <td>1.478</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; color: red;"><b>1.481</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td>39.90</td> <td>30.00</td> <td>1.483</td> </tr> </tbody> </table>	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm <sup>3</sup> )	Peso Unitario Promedio (kg/dm <sup>3</sup> )	GRUESO	40.20	30.30	1.498	<b>1.496</b>		40.10	30.20	1.493	FINO	39.80	29.90	1.478	<b>1.481</b>		39.90	30.00	1.483
Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm <sup>3</sup> )	Peso Unitario Promedio (kg/dm <sup>3</sup> )																				
GRUESO	40.20	30.30	1.498	<b>1.496</b>																			
	40.10	30.20	1.493																				
FINO	39.80	29.90	1.478	<b>1.481</b>																			
	39.90	30.00	1.483																				



#### 4.1.2.6 Densidad Aparente Compactada de la Mezcla

Tabla 12. Densidad Aparente Compactada de la Mezcla



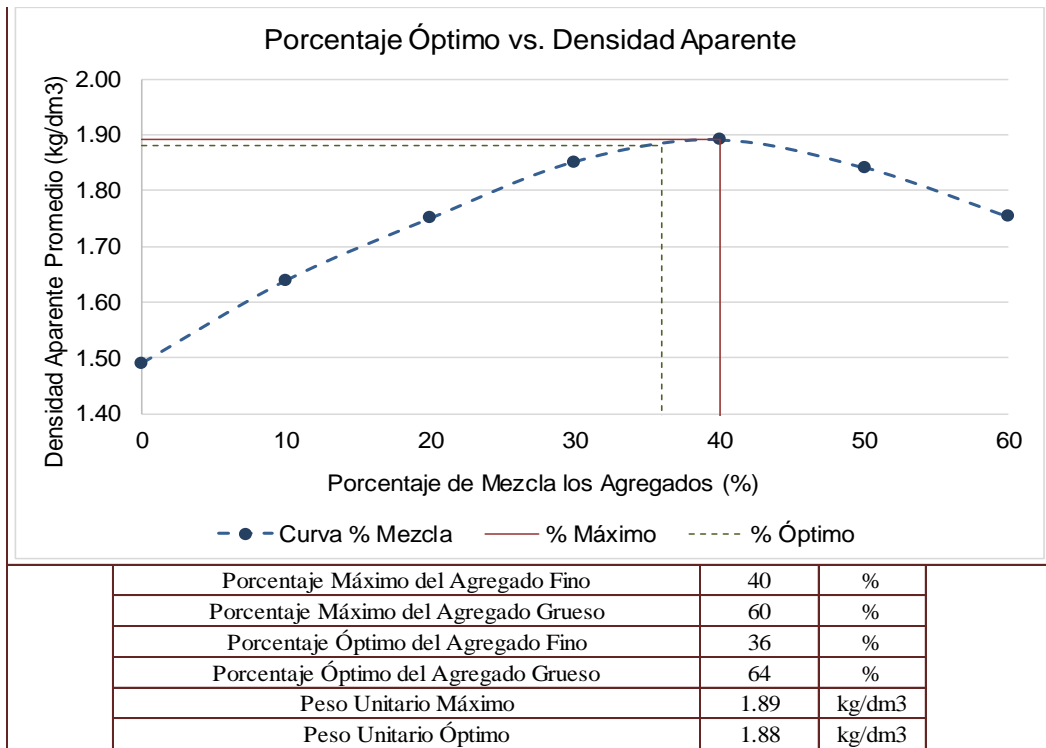


 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>								
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		<b>FICM</b>						
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>							
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado							
<b>ENSAYADO POR:</b>	Dubraska Chacón	<b>FECHA:</b>	21/11/2017					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 0858							
<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA</b>								
<b>Datos iniciales:</b>	<b>Masa recipiente:</b>		9.90	Kg				
	<b>Volumen recipiente:</b>		20.23	dm <sup>3</sup>				
<b>% Mezcla</b>		<b>Cantidad (kg)</b>		<b>Añadido (kg)</b>	<b>Agregado + Recipiente</b>	<b>Agregado (kg)</b>	<b>Peso Unitario Mezcla</b>	<b>Peso Unitario Promedio</b>
Gruoso	Fino	Gruoso	Fino	Fino	Agregado Fino + Gruoso			
100	0	40.00	0.00	0.00	40.00	30.10	1.49	<b>1.49</b>
					40.10	30.20	1.49	
90	10	40.00	4.44	4.44	43.00	33.10	1.64	<b>1.64</b>
					43.10	33.20	1.64	
80	20	40.00	10.00	5.56	45.20	35.30	1.75	<b>1.75</b>
					45.40	35.50	1.76	
70	30	40.00	17.14	7.14	47.30	37.40	1.85	<b>1.85</b>
					47.40	37.50	1.85	
60	40	40.00	26.67	9.52	48.20	38.30	1.89	<b>1.89</b>
					48.10	38.20	1.89	
50	50	40.00	40.00	13.33	47.20	37.30	1.84	<b>1.84</b>
					47.10	37.20	1.84	
40	60	40.00	60.00	20.00	45.40	35.50	1.76	<b>1.75</b>
					45.30	35.40	1.75	

Gráfico 3. Análisis Granulométrico del Agregado Fino



#### 4.1.2.7 Contenido de humedad de los materiales



Tabla 13. Contenido de Humedad del Ripio y de la Arena

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		<b>FICM</b>	
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DÍOXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>		
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Dubraska Chacón	<b>FECHA:</b>	11/12/2017
<b>NORMA:</b>	Método de la Universidad Central del Ecuador		
<b>CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RIPIO</b>			
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>M7</b>	Masa del recipiente	gr	30.60    23.80
<b>M8</b>	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	139.60    132.50
<b>M9=M8-M7</b>	Masa de la muestra SSS	gr	109.00    108.70
<b>M10</b>	Masa del recipiente + muestra seca	gr	139.10    131.80
<b>M11=M10-M7</b>	Masa de la muestra seca	gr	108.50    108.00
<b>CA=((M9-M11)/M11)*100</b>	Capacidad de absorción	%	0.46    0.65
<b>P2=(CA1+CA2)/2</b>	Capacidad de absorción promedio	%	0.55
<b>CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA</b>			
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>M7</b>	Masa del recipiente	gr	31.70    31.40
<b>M8</b>	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	219.20    221.90
<b>M9=M8-M7</b>	Masa de la muestra SSS	gr	187.50    190.50
<b>M10</b>	Masa del recipiente + muestra seca	gr	218.50    221.01
<b>M11=M10-M7</b>	Masa de la muestra seca	gr	186.80    189.61
<b>CA=((M9-M11)/M11)*100</b>	Capacidad de absorción	%	0.37    0.47
<b>P2=(CA1+CA2)/2</b>	Capacidad de absorción promedio	%	0.42

### 4.1.3 Ensayos realizados en el Cemento

#### 4.1.3.1 Densidad Real del Cemento Holcim

Tabla 14. 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>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>		
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Dubraska Chacón		
<b>FECHA:</b>	29/11/2017		
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 0156		
<b>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</b>			
<b>Datos</b>	<b>Designación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>M1</b>	Masa del picnómetro	gr	163.66
<b>M2</b>	Masa del picnómetro + muestra cemento	gr	327.89
<b>M3</b>	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	gr	652.52
<b>M4 = M3 - M2</b>	Masa de gasolina añadida	gr	324.63
<b>M5</b>	Masa del picnómetro + 500 cm <sup>3</sup> de gasolina	gr	529.57
<b>M6 = M5 - M1</b>	Masa de 500 cm <sup>3</sup> de gasolina	gr	365.91
<b>DG = M6 / 500 cm<sup>3</sup></b>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0.73
<b>M7 = M6 - M4</b>	Masa de gasolina desalojada por el cemento	gr	41.28
<b>MC = M2 - M1</b>	Masa del cemento	gr	164.23
<b>VG = M7 / DG</b>	Volumen de gasolina desalojada	cm <sup>3</sup>	56.41
<b>DRC = MC / VG</b>	Densidad real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.912</b>

## 4.1.4 Cálculo de la dosificación



### 4.1.4.1 Dosificación de los materiales al peso

Tabla 15. Dosificación de los materiales

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>		
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado		
<b>ENSAYADO POR</b>	Dubraska Chacón	<b>FECHA:</b>	11/12/2017
<b>NORMA:</b>	Método de la Universidad Central del Ecuador		
<b>DATOS DE TABLAS</b>			
<b>Relación agua/cemento</b>	<b>W/C =</b>	<b>0.56</b>	
<b>Cantidad de Pasta</b>	<b>CP =</b>	<b>POV + 2% + 8% (POV)</b>	
<b>DATOS DE ENSAYOS</b>			
<b>Resistencia de diseño</b>	<b>240</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>Asentamiento</b>	<b>6 - 9</b>	<b>cm</b>	
Densidad Real del Cemento	DRC =	2.912	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Real de la Arena	DRA =	2.623	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Real del Ripio	DRR =	2.656	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente de la Arena	DSA =	1.352	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente del Ripio	DSR =	1.367	gr/cm <sup>3</sup>
Porcentaje Óptimo de la Arena	POA =	36	%
Porcentaje Óptimo del Ripio	POR =	64	%
Densidad Óptima de la Mezcla	DOM =	1.88	kg/dm <sup>3</sup>
<b>CÁLCULOS</b>			
Densidad Real de la Mezcla	DRM =	2.644	kg/dm <sup>3</sup>
Porcentaje de Vacíos/Volumen	POV =	28.91	%
Cantidad de Pasta	CP =	332.20	dm <sup>3</sup>
Cantidad de Cemento para 1m <sup>3</sup> de H.	C =	367.70	kg
Cantidad de Agua de la Mezcla	W =	205.91	ltrs
Cantidad de Agregado Fino	A =	630.65	kg
Cantidad de Agregado Grueso	R =	1135.31	kg
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD EN KG POR CADA M<sup>3</sup> DE HORMIGÓN</b>	<b>DOSIFICACIÓN AL PESO</b>	<b>CANTIDAD EN KG POR SACO DE CEMENTO DE 50 kg</b>
W =	205.91	0.56	28
C =	367.70	1	50
A =	630.65	1.72	85.76
R =	1135.31	3.09	154.38
<b>TOTAL =</b>	<b>2339.56</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Densidad del Hormigón</b>

#### 4.1.4.2 Dosificación de los materiales por cilindros

Tabla 16. Dosificación de los materiales por cilindros

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>					
		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>					
		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>						
<b>ORIGEN:</b>	Constructora Alvarado						
<b>REALIZADO POR:</b>	Dubraska Chacón			<b>FECHA:</b>	11/12/2017		
<b>CANTIDAD EN KG POR CILINDROS</b>							
<b>DATOS DE ENTRADA</b>							
<b>Diámetro (m)</b>	0.15	m	<b>N° de cilindros</b>		6		
<b>Altura (m)</b>	0.3	m	<b>Volumen</b>		0.032		
<b>CANTIDADES EN KG DE MATERIALES PARA N° DE CILINDROS</b>							
Cantidad de agua		W =		6.55	Kg		
Cantidad de Cemento		C =		11.70	Kg		
Cantidad de Arena		A =		20.06	Kg		
Cantidad de Ripio		R =		36.11	Kg		
<b>CORRECCIÓN POR HUMEDAD</b>							
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>C.A</b>	<b>C.H</b>	<b>CORRECCIÓN</b>	<b>CORRECCIÓN</b>	<b>CANTIDADES FINALES</b>	
	kg	%	%	%	kg	Kg	
W	6.55					6.71	
A	20.06	1.05	0.42	0.63	0.13	19.93	
R	36.11	0.64	0.55	0.09	0.03	36.08	
<b>CANTIDADES EN KG DE MATERIALES CON ADICIÓN DE TIO<sub>2</sub></b>							
<b>% TIO<sub>2</sub></b>		<b>TIO<sub>2</sub></b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>ARENA</b>	<b>RIPIO</b>	
0%		0	6.71	11.70	19.93	36.08	
5%		0.58	6.71	11.11	19.93	36.08	
10%		1.17	6.71	10.53	19.93	36.08	
15%		1.75	6.71	9.94	19.93	36.08	

#### 4.1.5 Propiedades del Hormigón en Estado Fresco

Tabla 17. Propiedades del Hormigón Fresco sin adición de TiO<sub>2</sub>



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
TEMA		“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO <sub>2</sub> )”									
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS SIN ADICIÓN DE TIO2											
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón Kg	Masa de Hormigón Kg	Volumen del recipiente m <sup>3</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Densidad promedio Kg/m <sup>3</sup>	Trabajabilidad	Asentamiento cm	Homogeneidad	
ENSAYADO POR:		Dubraska Chacón				FECHA ELABORACIÓN:			11/12/2017		
1	0%	11.4	23.9	12.5	0.005301	2357.85	2354.70	Trabajable	5	Buena	
2		11.6	24.2	12.6	0.005301	2376.71					
3		11.5	24	12.5	0.005301	2357.85					
4		11.5	24.1	12.6	0.005301	2376.71					
5		11.4	23.8	12.4	0.005301	2338.98					
6		11.6	23.9	12.3	0.005301	2320.12					

Tabla 18. Propiedades del Hormigón Fresco con adición de 5% de TiO<sub>2</sub>


		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
TEMA		“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO <sub>2</sub> )”								
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS CON ADICIÓN DE 5% DE TIO2										
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón Kg	Masa de Hormigón Kg	Volumen del recipiente m <sup>3</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Densidad promedio Kg/m <sup>3</sup>	Trabajabilidad	Asentamiento cm	Homogeneidad
ENSAYADO POR:		Dubraska Chacón				FECHA ELABORACIÓN:			10/01/2018	
7	5%	11.6	24	12.4	0.005301	2338.98	2345.27	Poco trabajable	4	Buena
8		11.4	23.8	12.4	0.005301	2338.98				
9		11.4	24	12.6	0.005301	2376.71				
10		11.6	24	12.4	0.005301	2338.98				
11		11.7	24.1	12.4	0.005301	2338.98				
12		11.5	23.9	12.4	0.005301	2338.98				



Tabla 19. Propiedades del Hormigón Fresco con adición de 10% de TiO2


		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>								
		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>								
		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>TEMA</b>		<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>								
<b>PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS CON ADICIÓN DE 10% DE TIO2</b>										
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón Kg	Masa de Hormigón Kg	Volumen del recipiente m <sup>3</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Densidad promedio Kg/m <sup>3</sup>	Trabajabilidad	Asentamiento cm	Homogeneidad
<b>ENSAYADO POR:</b>		Dubraska Chacón				<b>FECHA ELABORACIÓN:</b>			17/01/2018	
13	10%	11.6	23.9	12.3	0.005301	2320.12	2351.56	Poco trabajable	3	Buena
14		11.4	23.9	12.5	0.005301	2357.85				
15		11.5	23.8	12.3	0.005301	2320.12				
16		11.6	24.1	12.5	0.005301	2357.85				
17		11.6	24.2	12.6	0.005301	2376.71				
18		11.4	24	12.6	0.005301	2376.71				

Tabla 20. Propiedades del Hormigón Fresco con adición de 15% de TiO<sub>2</sub>

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
TEMA		“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO <sub>2</sub> )”								
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE CILINDROS CON ADICIÓN DE 15% DE TIO <sub>2</sub>										
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Masa del Recipiente Kg	Masa del Recipiente + Hormigón Kg	Masa de Hormigón Kg	Volumen del recipiente m <sup>3</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Densidad promedio Kg/m <sup>3</sup>	Trabajabilidad	Asentamiento cm	Homogeneidad
ENSAYADO POR:		Dubraska Chacón				FECHA ELABORACIÓN:			24/01/2018	
19	15%	11.6	24.1	12.5	0.005301	2357.85	2348.41	Poco trabajable	3	Buena
20		11.5	24	12.5	0.005301	2357.85				
21		11.4	24.1	12.7	0.005301	2395.57				
22		11.6	23.8	12.2	0.005301	2301.26				
23		11.5	23.9	12.4	0.005301	2338.98				
24		11.6	24	12.4	0.005301	2338.98				

#### 4.1.6 Resultados del Contenido de Aire del Hormigón Fresco

Tabla 21. Contenido de Aire del Hormigón Fresco

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> 			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	Dubraska Chacón		
<b>NORMA:</b>	ASTM C 231 Y NTP 339.080		
<b>CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</b>			
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>% DE TIO<sub>2</sub></b>	<b>% DE VACÍOS</b>
11/12/2017	240 Kg/cm <sup>2</sup>	0%	<b>2.9</b>
10/01/2018		5%	<b>1.35</b>
17/01/2018		10%	<b>1.7</b>
24/01/2018		15%	<b>2.1</b>

#### 4.1.7 Resultados del Ensayo a Compresión

Tabla 22. Resistencia a la Compresión de cilindros sin adición de TiO2



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 												
TEMA		“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO <sub>2</sub> )”										
ENSAYADO POR:		Dubraska Chacón					FECHA DE ENSAYO:		08/01/2018			
NORMA:		INEN 1573					EDAD:		28 días			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS SIN ADICIÓN DE TiO <sub>2</sub>												
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Diámetro Ø	Altura h	Volumen (V)	Peso	Densidad	Densidad promedio	Carga	Lím Inferior	f’c	Lím Superior	f’c Promedio
		m	m	m <sup>3</sup>	kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	0%	0.15	0.3	0.005301	11.60	2188.08	2181.79	46704.08	228	264.29	252	267.60
2		0.15	0.3	0.005301	11.50	2169.22		48295.92		273.30		
3		0.15	0.3	0.005301	11.60	2188.08		46867.35		265.21		

Tabla 23. Resistencia a la Compresión de cilindros con adición de 5% de TiO<sub>2</sub>



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 												
TEMA		“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO <sub>2</sub> )”										
ENSAYADO POR:		Dubraska Chacón					FECHA DE ENSAYO:		08/01/2018			
NORMA:		INEN 1573					EDAD:		28 días			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS CON ADICIÓN DE 5% DE TIO <sub>2</sub>												
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Diámetro Ø	Altura h	Volumen (V)	Peso	Densidad	Densidad promedio	Carga	Lím Inferior	f'c	Lím Superior	f'c Promedio
		m	m	m <sup>3</sup>	kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
4	5%	0.15	0.3	0.005301	11.50	2169.22	2175.51	46010.20	228	260.36	252	268.77
5		0.15	0.3	0.005301	11.50	2169.22		27551.02		155.91		
6		0.15	0.3	0.005301	11.60	2188.08		48979.59		277.17		

Tabla 24. Resistencia a la Compresión de cilindros con adición de 10% de TiO2







 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 												
TEMA		“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO <sub>2</sub> )”										
ENSAYADO POR:		Dubraska Chacón					FECHA DE ENSAYO:		08/01/2018			
NORMA:		INEN 1573					EDAD:		28 días			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS CON ADICIÓN DE 10% DE TiO2												
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Diámetro Ø	Altura h	Volumen (V)	Peso	Densidad	Densidad promedio	Carga	Lím Inferior	f'c	Lím Superior	f'c Promedio
		m	m	m <sup>3</sup>	kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
7	10%	0.15	0.3	0.005301	11.60	2188.08	2181.79	43021.43	228	243.45	252	245.69
8		0.15	0.3	0.005301	11.60	2188.08		43352.04		245.32		
9		0.15	0.3	0.005301	11.50	2169.22		43876.53		248.29		

Tabla 25. Resistencia a la Compresión de cilindros con adición de 15% de TiO2

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>											
		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>											
		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>TEMA</b>		<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO<sub>2</sub>)”</b>											
<b>ENSAYADO POR:</b>		Dubraska Chacón					<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		08/01/2018				
<b>NORMA:</b>		INEN 1573					<b>EDAD:</b>		28 días				
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS CON ADICIÓN DE 15% DE TiO<sub>2</sub></b>													
Número	% de TiO <sub>2</sub>	Diámetro Ø	Altura h	Volumen (V)	Peso	Densidad	Densidad promedio	Carga	Lím Inferior	f'c	Lím Superior	f'c Promedio	
		m	m	m <sup>3</sup>	kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
10	15%	0.15	0.3	0.005301	11.60	2188.08	2175.51	42969.39	228	243.16	252	244.00	
11		0.15	0.3	0.005301	11.50	2169.22		42265.31		239.17			
12		0.15	0.3	0.005301	11.50	2169.22		44122.45		249.68			

#### 4.1.8 Resultados del Ensayo a Tracción Indirecta


Tabla 26. Ensayo de Tracción Indirecta de Cilindros de Hormigón

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> 					
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>TEMA</b>		<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>			
<b>REALIZADO POR:</b>		Dubraska Chacón			
<b>NORMA:</b>		ASTM C-496, UNE 83.306 e ISO 4108			
<b>DATOS</b>					
<b>Diámetro</b>	150	mm	<b>Altura :</b>	300	mm
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE HORMIGÓN</b>					
<b>Fecha</b>	<b>% de TiO<sub>2</sub></b>	<b>Máxima Fuerza</b>		<b>Resistencia a Tracción</b>	
		<b>KN</b>	<b>Kg</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
15/01/2018	0%	140.31	14317.04	1.98	20.25
		145.04	14800.10	2.05	20.94
		120.61	12307.45	1.71	17.41
19/02/2018	5%	200.57	20466.33	2.84	28.95
		192.53	19645.51	2.72	27.79
		163.52	16685.20	2.31	23.60
26/02/2018	10%	59.53	6074.78	0.84	8.59
		139.16	14199.80	1.97	20.09
		135.56	13832.65	1.92	19.57
05/03/2018	15%	160.56	16383.67	2.27	23.18
		120.88	12334.69	1.71	17.45
		129.58	13222.45	1.83	18.71



#### 4.1.9 Resultados de los Ensayos de permeabilidad

Tabla 27. Ensayo de Permeabilidad en muestras de Hormigón Endurecido

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>										
<b>TEMA</b>		<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>										
<b>ENSAYADO POR:</b>		Dubraska Chacón										
<b>NORMA:</b>		UNE - EN 12390 - 8	<b>RESISTENCIA:</b>	240	Kg/cm <sup>2</sup>							
<b>CURADO</b>		28 días	<b>PRESIÓN DE AGUA</b>	500 +/- 50	kPa							
<b>HORAS DE APLICACIÓN</b>		72 +/- 2 horas		72.5 +/- 7.25	Psi							
<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO</b>												
FECHA ENSAYO	HORA DE ENSAYO	% DE TIO <sub>2</sub>	DESCRIPCIÓN PROBETAS	DIRECCIÓN APLICACIÓN DEL AGUA A PRESIÓN	PROFUNDIDAD MÁXIMA	PROFUNDIDAD MEDIA						
					mm	mm						
15/01/2018	4:30	0%	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR A LA CARA INFERIOR DEL CILINDRO	80	76						
	4:50				72							
	5:30				75							
19/02/2018	9:35	5%			ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR A LA CARA INFERIOR DEL CILINDRO	8	8				
	10:17						8					
	10:45						7					
26/02/2018	2:30	10%					ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR A LA CARA INFERIOR DEL CILINDRO	12	13		
	3:15								15			
	3:45								11			
05/03/2018	8:30	15%							ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR A LA CARA INFERIOR DEL CILINDRO	15	16
	8:55										18	
	9:25										16	

## 4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tabla 28. Consistencia del Hormigón

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> 		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>	
<b>NORMA :</b>	UNE 83-313-90 UNE 83-300	
<b>CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN DE ACUERDO CON LA CANTIDAD DE TIO<sub>2</sub></b>		
<b>% de TiO<sub>2</sub></b>	<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento cm</b>
0%	Media	5
5%	Semi- seca	4
10%	Seca	3
15%	Seca	3

La tabla 28 muestra cada una de las consistencias obtenidas de los ensayos con diferentes porcentajes de adición de Dióxido de Titanio de acuerdo con el asentamiento resultante del Ensayo del Cono de Abrams para el hormigón fresco, pudiendo interpretarse que la adición de TiO<sub>2</sub> en el hormigón fresco le ocasiona que éste sea menos trabajable pues el químico hace que la mezcla necesite más agua de hidratación y por ende convierta a la mezcla en seca. Este parámetro es de gran importancia en la interpretación de resultados, ya que la relación de agua/cemento presente en la mezcla, será la responsable de otorgarle al hormigón mayor resistencia y menos porosidad en su interior, sin embargo, una mezcla muy seca, o seca ocasionará que sea mucho más difícil el amasado y el vibrado de los especímenes y por ende ocasione la reducción de sus propiedades mecánicas.

Tabla 29. Resumen de valores de Resistencia a Compresión



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>		
<b>RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN</b>			
CILINDRO	% DE TIO2	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	PROMEDIO
		Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	0%	264.29	<b>267.60</b>
2		273.30	
3		265.21	
4	5%	260.36	<b>268.77</b>
5		155.91	
6		277.17	
7	10%	243.45	<b>245.69</b>
8		245.32	
9		248.29	
10	15%	243.16	<b>244.00</b>
11		239.17	
12		249.68	

Gráfico 4. Resistencia a la Compresión

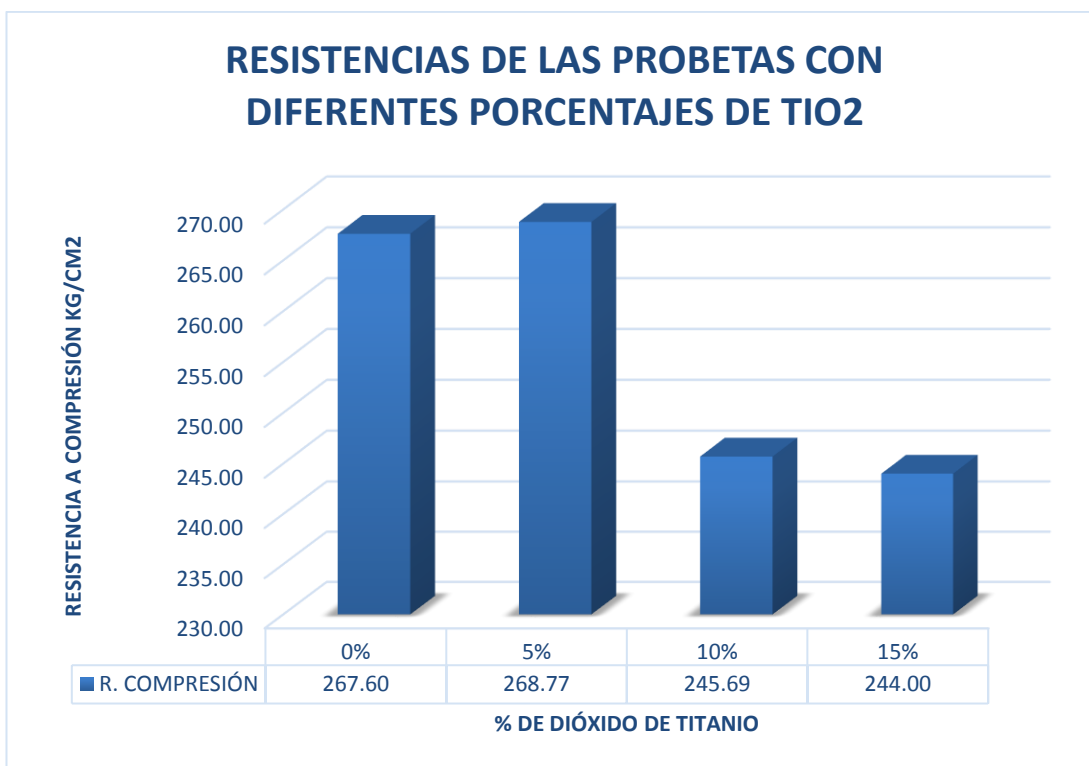
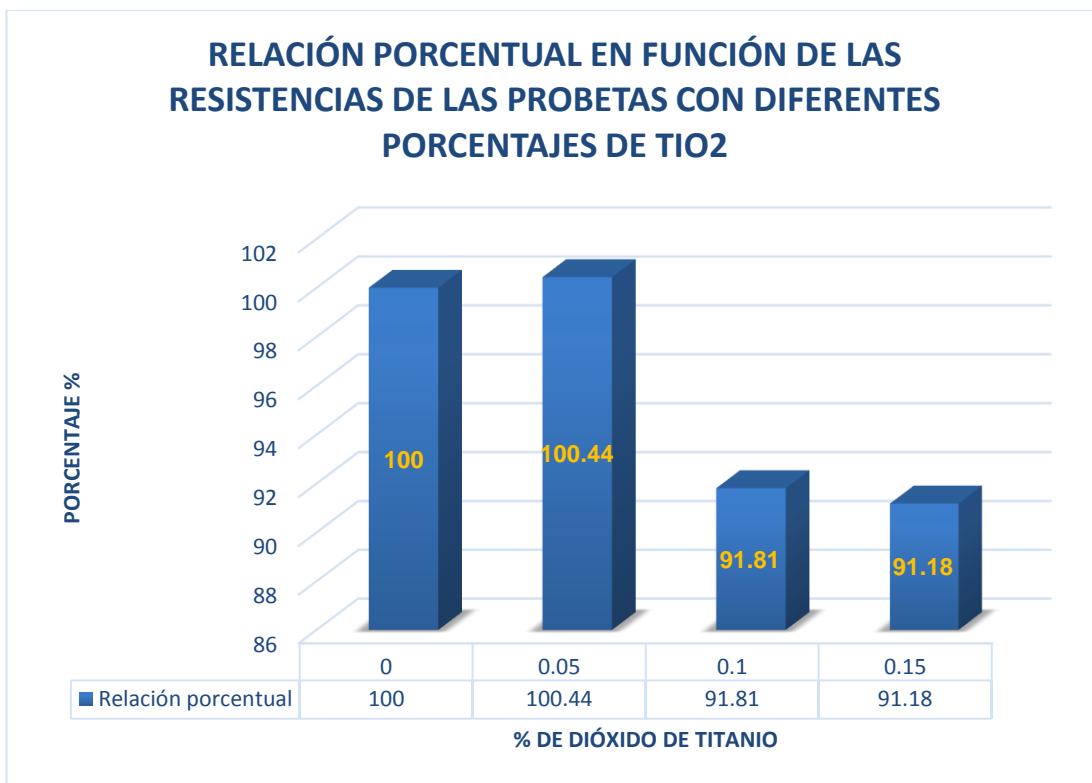


Gráfico 5. Relación porcentual de resistencias a compresión



De acuerdo con el gráfico 4 y 5, relacionados con la resistencia a compresión de los cilindros ensayados para una misma edad de curado (28 días), se observa que la muestra con el 5% de TiO<sub>2</sub> alcanza una resistencia superior a un cilindro común, es decir que aumenta su resistencia en un 0.44%, lo que no sucede con las demás probetas en donde el porcentaje de TiO<sub>2</sub> es mayor y la resistencia se ve afectada por la presencia de más químico en sustitución del cemento, pues disminuye entre un 8% y 9%.

En otras palabras, se observa que el TiO<sub>2</sub> mejora la resistencia a compresión de los cilindros pero esto se considera posible solo hasta cierto punto, en donde solo se sustituye el 5% de cemento, lo cual se traduce a que el nanocompuesto permite la reducción de poros y el aumento de su resistencia, sin embargo a partir de un porcentaje superior al 5% desarrolla propiedades mecánicas desfavorables, ya que la trabajabilidad de la mezcla es mala y no permite un buen vibrado, por lo tanto la porosidad aumenta y la resistencia a compresión disminuye.

Tabla 30. Resumen de valores obtenidos de penetración de agua



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> 			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
TEMA	“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F’C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO <sub>2</sub> )”		
RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DE PENETRACIÓN DE AGUA			
CILINDRO	% DE TIO2	PROFUNDIDAD MÁXIMA	PROFUNDIDAD MEDIA
		mm	mm
1	0%	80	76
2		72	
3		75	
4	5%	8	7
5		5	
6		7	
7	10%	12	13
8		15	
9		11	
10	15%	15	16
11		18	
12		16	

Gráfico 6. Profundidades de Penetración de Agua

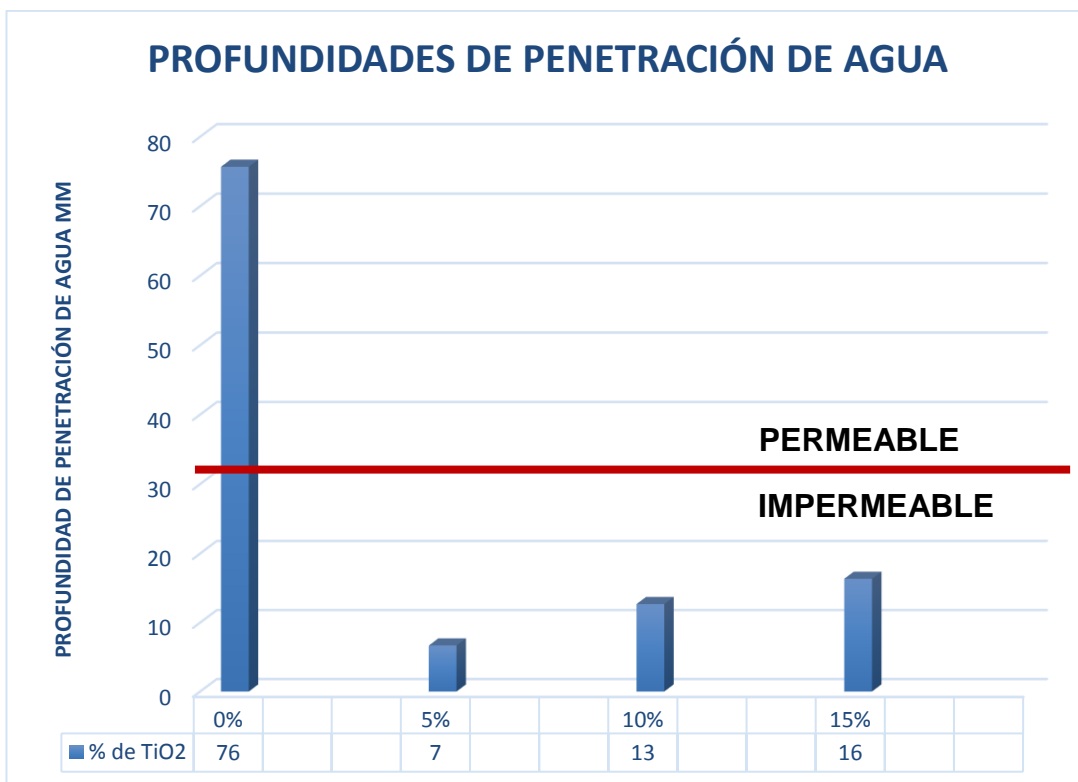
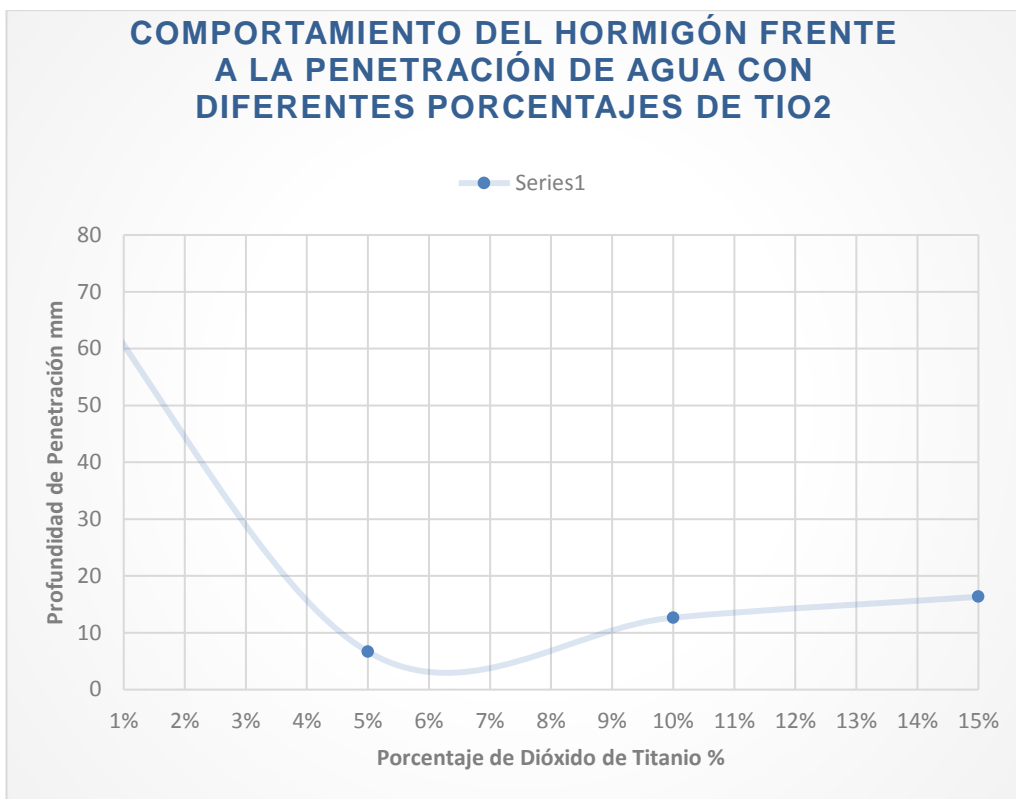


Gráfico 7. Comportamiento del hormigón frente a la penetración del agua



De acuerdo con la tabla 30 y el gráfico 6, se puede observar que los cilindros con sustitución parcial de cemento por dióxido de titanio reflejan valores muy pequeños de penetración de agua entre 7 mm y 16 mm, siendo la adición del 5% de  $TiO_2$  el que muestra mejores resultados en cuanto a penetración de agua. Por lo tanto, se concluye que, al ser la penetración de agua menor de 30 mm [11], tales muestras se definen como impermeables. Asimismo, se observa claramente que un hormigón tradicional sin adición de  $TiO_2$  muestra un valor de penetración bastante alto respecto a los demás especímenes con adición de  $TiO_2$ , el cual representa aproximadamente el 26% de la altura total de la probeta.

Tabla 31. Resumen de contenido de vacíos del Hormigón Fresco



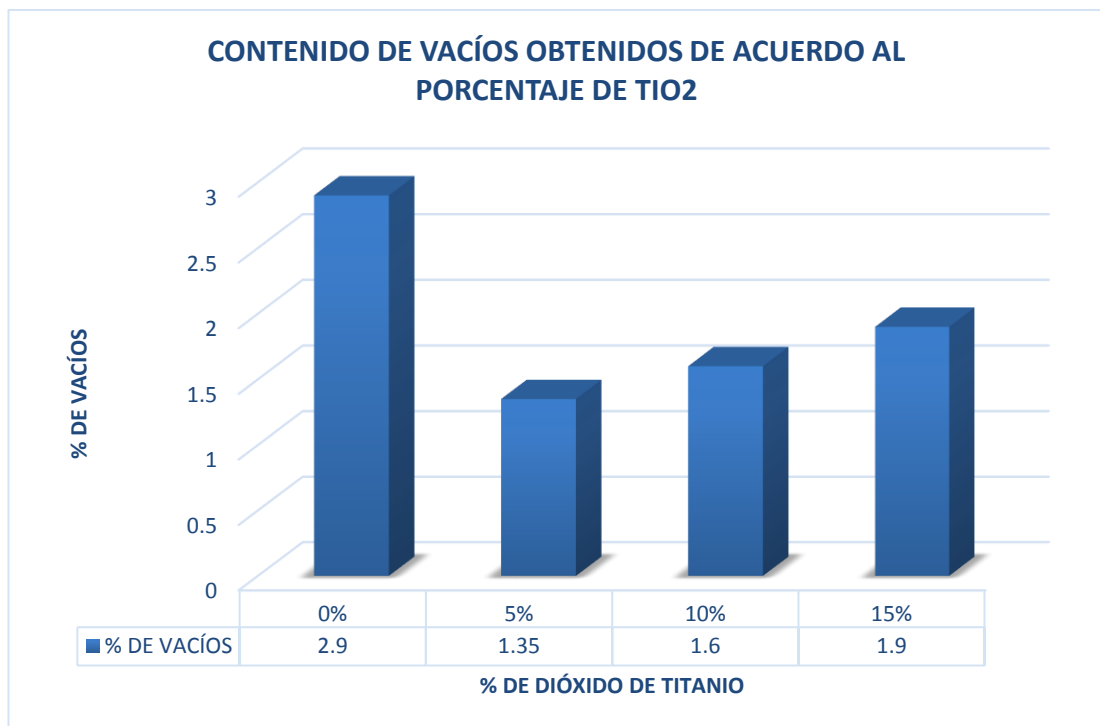
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO ( TiO<sub>2</sub>)”</b>	
<b>RESUMEN DE CONTENIDO DE VACÍOS OBTENIDOS DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE TIO<sub>2</sub></b>		
<b>RANGO DE VALORES</b>	<b>% DE TIO<sub>2</sub></b>	<b>% DE VACÍOS</b>
240 Kg/cm <sup>2</sup>	0%	<b>2.9</b>
	5%	<b>1.35</b>
	10%	<b>1.6</b>
	15%	<b>1.9</b>

Gráfico 8. Contenido de vacíos del Hormigón Fresco



De acuerdo con la tabla 31 y gráfico 8, se evidencia que una mezcla sin adición de TiO<sub>2</sub> arroja un valor de 2.9% de vacíos, porcentaje mucho mayor en comparación con los otros ensayos realizados con adición del

nanocompuesto. Por lo tanto, se puede concluir que esta reducción de vacíos se ve influenciada por la presencia del químico que permite un mejor acomodo de los agregados y por ende la reducción de poros. El porcentaje de vacíos se ve afectado en función del tamaño nominal máximo del agregado grueso, por ende, se establece que para el agregado grueso utilizado de tamaño  $\frac{3}{4}$  in, le correspondía un porcentaje de aire atrapado de 2%, por tal motivo se considera que las muestras con adición de  $TiO_2$  se encuentran dentro del rango, mientras que las muestras sin activar se salen del límite establecido. Finalmente, se concluye que el contenido de aire se ve afectado por la presencia. composición y fineza del  $TiO_2$ .

Tabla 32. Resumen de Resultados del Ensayo de Tracción Indirecta

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
<b>TEMA</b>	<b>“ESTUDIO DE LA HIDROFOBICIDAD DE HORMIGONES DE F'C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO<sub>2</sub>)”</b>	
<b>RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
% DE $TiO_2$	Máxima Fuerza	Resistencia a Tracción
	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>
0	14558.57	<b>20.60</b>
5	20055.92	<b>28.37</b>
10	14016.22	<b>19.83</b>
15	13980.27	<b>19.78</b>



Gráfico 9. Máxima Fuerza del Ensayo de Tracción Indirecta

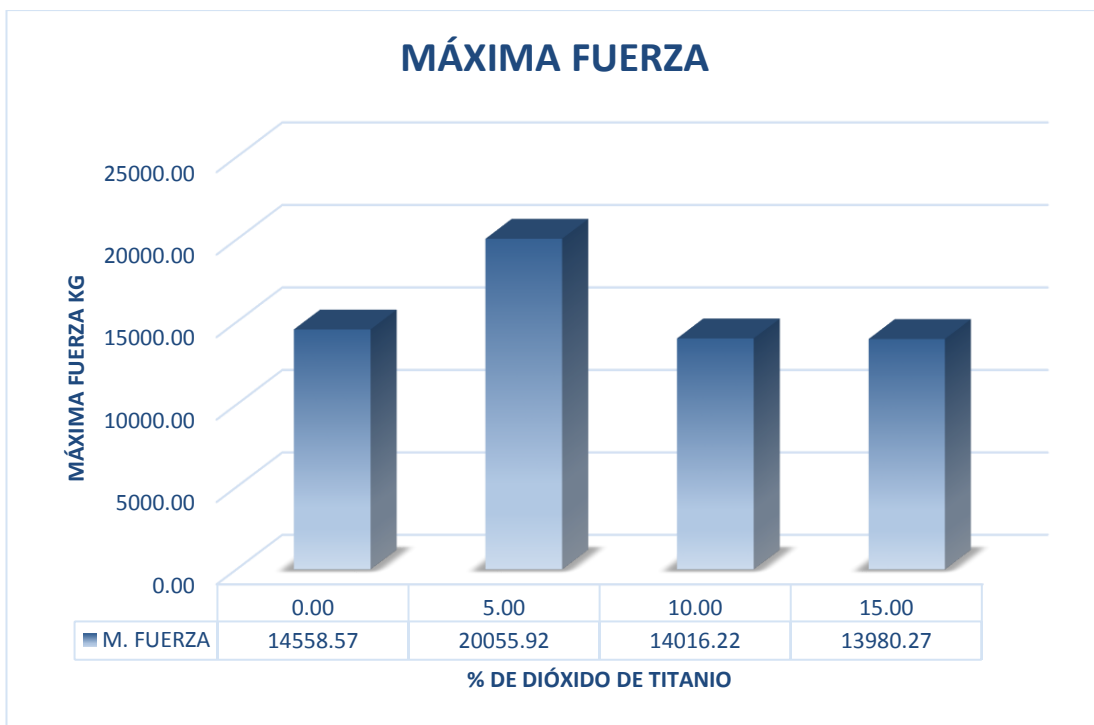
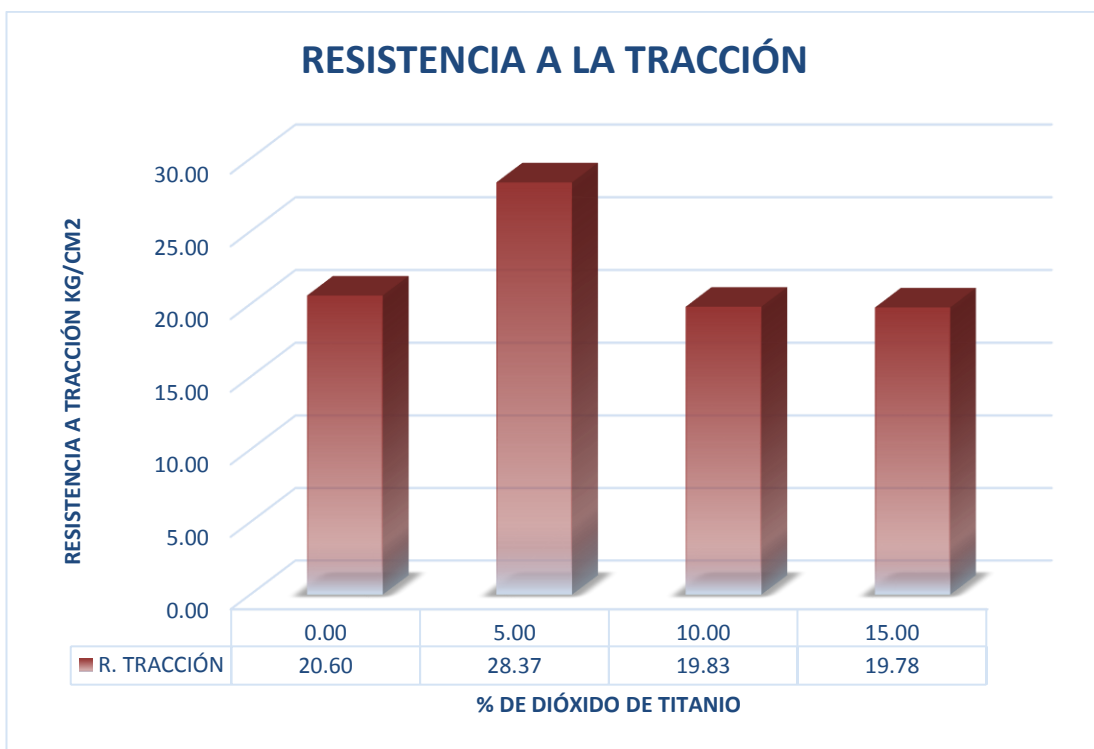


Gráfico 10. Resistencia a Tracción del Ensayo de Tracción Indirecta



Según el gráfico 9 y 10 se observa que para el 5% de adición de TiO<sub>2</sub>, existe un aumento considerable en la resistencia a la tracción y fuerza máxima a la rotura, pero por encima del mismo porcentaje, los valores disminuyen, por lo tanto, se evidencia el mismo comportamiento producido en el ensayo de compresión, en donde las características mecánicas aumentan cuando el porcentaje de TiO<sub>2</sub> no sobrepasa el 5%, y disminuyen cuando la adición del compuesto es superior. Es importante recalcar, que este ensayo ha sido realizado como complemento y parte del ensayo de permeabilidad, ya que de esta manera se logró dividir el cilindro en dos para observar la distancia de penetración de agua.

Finalmente, a pesar de la variación de la resistencia, se puede decir que no se observan variaciones significativas, por lo tanto, se asume que la adición de nano partículas de TiO<sub>2</sub> no afecta la resistencia a compresión del hormigón.

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

De acuerdo con los ensayos realizados a las probetas de hormigón con sustitución parcial del cemento por Dióxido de Titanio, se verificó que la hidrofobicidad, entendida por ésta, a la repulsión del agua, no se ha logrado, puesto que la gota de agua es absorbida por la superficie, sin embargo, la adición del compuesto permitió la reducción de poros en el interior y por lo tanto evitó la penetración directa del agua en el hormigón, lo que se traduce a que la superficie no desarrolló características de hidrofobicidad, pero sí de impermeabilidad.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Se determinó que:

- Los porcentajes del 5%, 10% y 15% de sustitución de cemento por dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), no se observaron características de hidrofobicidad, ya que el agua no fue repelida por la superficie con la cual estuvo en contacto, sin embargo, se logró obtener propiedades de impermeabilidad, debido a que el agua a presión no fue capaz de penetrar más allá de 30 mm, siendo el valor más bajo de 7 mm y el más alto de 16 mm, y cumpliendo con la Norma UNE-EN 12390-8.
- Los cilindros con el 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio ofrecen una gran resistencia a la penetración de agua que un hormigón tradicional, lo cual se convierte en beneficioso ya que se produce un refinamiento de los poros y se impide la entrada de cloruros, compuestos presentes en mayor medida en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje.
- La consistencia del hormigón se ve afectada por la presencia del Dióxido de Titanio, ya que para el 5% de  $\text{TiO}_2$  se obtuvo un valor de 4 cm, lo que se interpreta como una mezcla semi- seca, del mismo modo ocurrió con el 10% y 15% de adición, en donde se observaron valores de asentamiento de 3 cm, convirtiendo a la mezcla en seca y dificultando un poco la homogeneización, por lo tanto, se establece que mientras mayor sea el porcentaje del químico, mayor será la demanda de agua necesaria para la realización de la mezcla.

- La adición de nanopartículas de dióxido de titanio muestra un resultado positivo en el hormigón ya que permite la reducción de poros y permite un menor número de fisuras en la microestructura compacta.
- La resistencia a compresión del hormigón con adición de Dióxido de Titanio aumenta cuando el porcentaje adicionado de  $TiO_2$  es del 5%, ya que el nanocompuesto permite en gran medida la reducción de poros en el interior, sin embargo, el aumento gradual del químico a partir del mismo porcentaje, conlleva a la pérdida de resistencia, ya que aunque se reducen los poros con la adición, la mezcla se torna seca, lo que hace complicado el trabajo de vibrado y se forman más vacíos en el interior.
- La adición del 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio permite la reducción de la cantidad de aire atrapado en el hormigón fresco, ya que se obtuvieron valores entre 1.35% y 2.1%, valores inferiores a los obtenidos para un hormigón normal de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Aunque no se lograron las características de hidrofobicidad, si se logró la impermeabilidad, por lo tanto, el porcentaje óptimo de Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) que desarrolla las mejores características en el hormigón corresponde al 5% de adición como sustitución del cemento en la mezcla.
- Con el 5% de dióxido de titanio la resistencia a la tracción es acrecentada, sin embargo, cuando se adiciona en grandes cantidades la resistencia a la tracción llega a ser más baja que la de la muestra patrón.
- La consistencia obtenida de las mezclas en estado fresco fueron inferiores a la establecida para el diseño de la dosificación, es decir se obtuvo un valor entre 3 a 5 cm, a diferencia de la asumida de 7 cm, por lo tanto, se considera que tales resultados influyeron en la resistencia a compresión del hormigón, la cual fue mayor que la del diseño. Esto

se considera posible ya que la resistencia se ve claramente afectada por la relación agua/cemento utilizada y el asentamiento obtenido, ya que este último al ser menor, permite una mezcla más espesa aumentando de esta manera su resistencia.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Hacer pruebas experimentales con el uso de un superplastificante cuando se trabaje con adición de dióxido de titanio, debido a que se incrementa la demanda de agua y la mezcla se convierte en seca, por lo tanto, se dificulta la homogeneización y la trabajabilidad es mala para la elaboración de los cilindros de hormigón.
- Seleccionar un nuevo ensayo o un método de prueba relacionado con la medición de la permeabilidad para poder establecer un análisis comparativo con la presente investigación.
- Realizar una investigación que contemple la adición de dióxido de titanio por debajo del 5%, a fin de comparar y evidenciar si las propiedades del hormigón mejoran o disminuyen y en qué medida.
- Desarrollar una investigación con el mismo objetivo y tema pero que involucre un nuevo material que desarrolle características superficiales rugosas nanométricas, a fin de obtener la fórmula exacta para el desarrollo de superficies hidrófugas.
- Verificar cualquier tipo de fuga presente en las conexiones a tuberías y anillos de caucho de la máquina de permeabilidad, antes de iniciar el registro y conteo de horas para la realización del ensayo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Husni *et al.*, "Superhydrophobic rice husk ash coating on concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 144, no. Supplement C, pp. 385-391, 2017/07/30/ 2017.
- [2] P. Liu *et al.*, "Superhydrophobic and self-cleaning behavior of Portland cement with lotus-leaf-like microstructure," *Journal of Cleaner Production*, vol. 156, no. Supplement C, pp. 775-785, 2017/07/10/ 2017.
- [3] A. Arabzadeh *et al.*, "Superhydrophobic coatings on Portland cement concrete surfaces," *Construction and Building Materials*, vol. 141, no. Supplement C, pp. 393-401, 2017/06/15/ 2017.
- [4] A. R. Zamudio Méndez, "Desarrollo de superficies auto-limpiables para la industria de la construcción a base de TiO<sub>2</sub> dopado con Fe y S mediante el método de sol-gel asistido por microondas," 2014.
- [5] C. Cárdenas Ramírez, "Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio," Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2012.
- [6] A. Ana, "Evaluación técnico ambiental del Dióxido de Titanio en los morteros de cemento chilenos," Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío Bío, Concepción, 2013.
- [7] A. Fernández Cañete and G. Garcia Alonso, "Estudio de la hidrofobicidad y autolimpieza en materiales con nanotratamientos superficiales," 2013.
- [8] A. Elgoro Ugarteburu, "Optimización de la aplicación de nanopartículas fotocatalíticas en morteros," Universitat Politècnica de Catalunya, 2013.
- [9] G. Abella Rodríguez, "Mejora de las propiedades de materiales a base de cemento que contienen TiO<sub>2</sub>: propiedades autolimpiantes," Caminos, 2015.

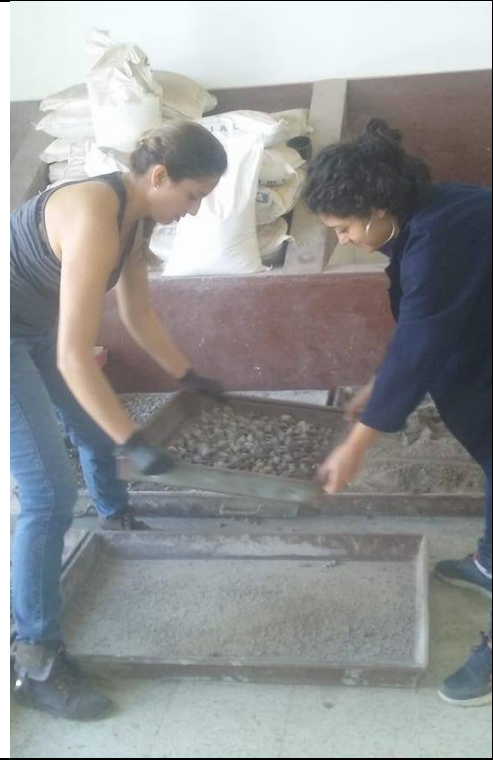
- [10] S. I. Rodríguez Villacís, "Estudio de hormigones impermeables, según el origen local de materiales y la adición de aditivo impermeabilizante," Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil, 2016.
- [11] A. E. d. N. y Certificación, "Testing Hardened Concrete—Part. 8: Depth of Penetration of Water under Pressure," *UNE-EN*, pp. 12390-8, 2009.



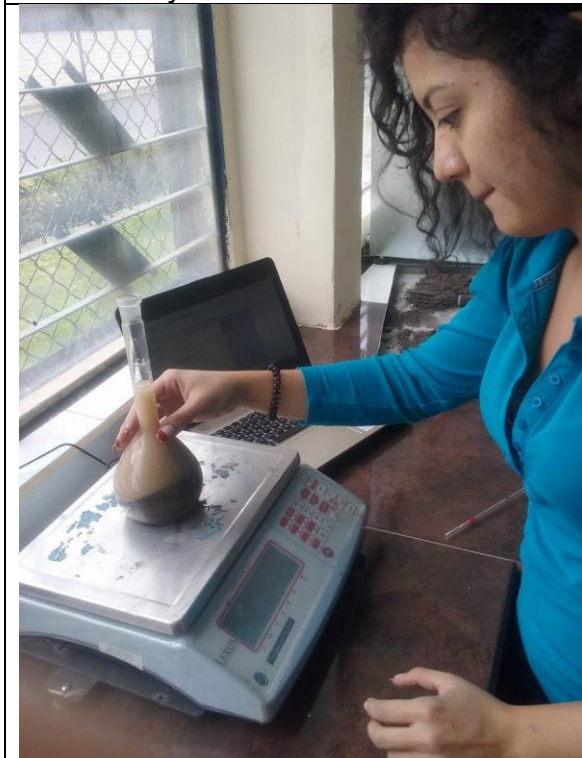
## ANEXOS



Selección y acarreo del material



Tamizado del agregado grueso



Determinación de pesos para el ensayo de densidad real de la arena



Colocación de la arena al sol para obtener la superficie en estado SSS



Determinación de la densidad aparente del agregado fino



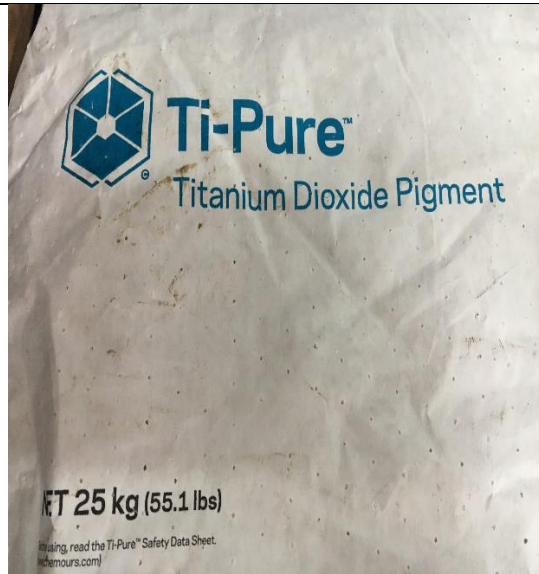
Determinación de la densidad aparente del agregado grueso



Determinación de la densidad aparente de la mezcla



Secado del agregado grueso para obtener la superficie en estado SSS



Identificación de funda utilizada de Dióxido de Titanio

Preparación y secado de materiales para la mezcla



Elaboración de cilindros de hormigón con el 10% de  $\text{TiO}_2$

Elaboración de ensayo para la determinación de porcentajes de vacíos en el hormigón fresco



Observación de porcentajes de vacíos



Observación de porosidades de cilindros con adición de dióxido de titanio



Elaboración de ensayo de permeabilidad de los cilindros



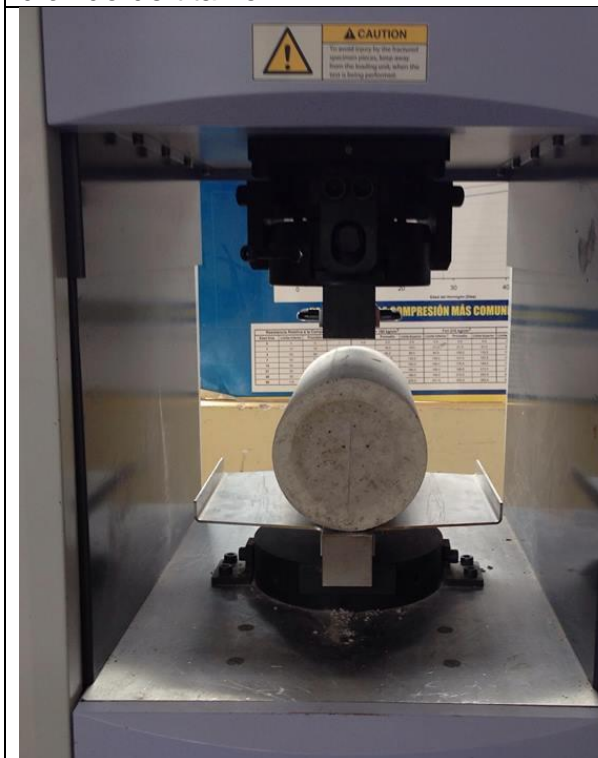
Realización de ensayo de permeabilidad para cilindros sin adición de  $TiO_2$



Observación de penetración de agua de un cilindro con adición del 5% de dióxido de titanio



Elaboración de ensayo a compresión



Elaboración de ensayo de tracción indirecta



Observación de penetración de agua para cilindros sin adición de  $TiO_2$



Observación de penetración de agua para cilindros sin adición de  $\text{TiO}_2$



Observación de penetración de agua para cilindros con el 5% de  $\text{TiO}_2$



Observación de penetración de agua para cilindros con el 10% de  $\text{TiO}_2$



Observación de penetración de agua para cilindros con el 15% de  $\text{TiO}_2$

# norma española

UNE-EN 12390-8

Junio 2001

## TÍTULO

**Ensayos de hormigón endurecido**

**Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión**

*Testing hardened concrete. Part 8: Depth of penetration of water under pressure.*

*Essai pour béton durci. Partie 8: Profondeur de pénétration d'eau sous pression.*

## CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12390-8 de octubre 2000.

## OBSERVACIONES

Esta norma anulará y sustituirá a la Norma UNE 83309 EX de junio 1990 antes de 2004-01-01.

## ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 83 *Hormigón* cuya Secretaría desempeña ANEFHOP.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 26597:2001

© AENOR 2001  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00  
Fax 91 310 40 32

8 Páginas

**Grupo 8**

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DA CORUÑA

Versión en español

**Ensayos de hormigón endurecido**  
**Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión**

**Testing hardened concrete.**  
**Part 8: Depth of penetration of water**  
**under pressure.**

**Essai pour béton durci.**  
**Partie 8: Profondeur de pénétration**  
**d'eau sous pression.**

**Prüfung von Festbeton.**  
**Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2000-02-18. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

© 2000 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

**AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DA CORUÑA**



## ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES .....	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....	6
2 FUNDAMENTO .....	6
3 APARATOS .....	6
4 PROBETAS DE ENSAYO.....	6
5 PROCEDIMIENTO .....	6
6 RESULTADO DEL ENSAYO .....	7
7 INFORME DEL ENSAYO .....	7
8 PRECISIÓN.....	7
Figura 1 – Ejemplo de dispositivo de ensayo .....	8

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DA CORUÑA

## ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 104 "Hormigón: prestaciones, producción, puesta en obra y criterios de conformidad", cuya Secretaría desempeña DIN.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de abril de 2001, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de diciembre de 2003.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

Esta norma pertenece a una serie de normas de métodos de ensayo del hormigón.

Está basada en el borrador de Norma Internacional ISO (DIS) 7031 – Ensayos de hormigón endurecido. Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión.

El uso de esta norma ha sido restringido a los ensayos sobre probetas curadas en agua.

Se han omitido las especificaciones contenidas en el original del proyecto de norma ISO relativas a la determinación de la profundidad media de penetración.

Un borrador de esta norma fue publicado en 1996 para encuesta CEN como prEN 12364. Pertenecía a una serie de normas destinadas al ensayo del hormigón fresco u hormigón endurecido que se numeraron individualmente. Ahora por conveniencia se ha decidido combinar estos proyectos de normas individuales en tres nuevas normas con partes independientes para cada método de ensayo, como se indica a continuación:

- Ensayos de hormigón fresco (EN 12350);
- Ensayos de hormigón endurecido (EN 12390);
- Ensayos del hormigón en estructuras (EN 12504).

Esta serie prEN 12390 incluye las partes siguientes, dándose entre paréntesis los números bajo los que estos métodos de ensayo se publicaron para encuesta CEN:

EN 12390 – Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 1: Forma, dimensiones y otros requisitos para probetas y moldes (anteriormente prEN 12356:1996).

Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia (anteriormente prEN 12379:1996).

Parte 3: Resistencia a compresión de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12394:1996).

Parte 4: Resistencia a compresión. Características de las máquinas de ensayo (anteriormente prEN 12390:1996).

Parte 5: Resistencia a flexión de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12359:1996).

Parte 6: Rotura por tracción indirecta de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12362:1996).

Parte 7: Densidad del hormigón endurecido (anteriormente prEN 12363:1996).

Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión (anteriormente prEN 12364:1996).

**AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DA CORUÑA**

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma especifica un método para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en hormigones endurecidos que han sido curados en agua.

## 2 FUNDAMENTO

El agua es aplicada bajo presión a la superficie del hormigón endurecido. A continuación se divide la probeta por rotura en dos mitades y se mide la profundidad de penetración del frente de agua.

## 3 APARATOS

### 3.1 Equipo de ensayo

El equipo consistirá en cualquier equipo en el que la probeta de ensayo, de dimensiones dadas, se pueda situar de tal manera que la presión del agua pueda actuar sobre la zona de ensayo y se visualice la presión aplicada de forma continua. Un ejemplo de un dispositivo de ensayo se muestra en la figura 1.

NOTA 1 – Es preferible que el aparato permita observar las otras caras de la probeta de ensayo.

NOTA 2 – La presión de agua se puede aplicar a la superficie de la probeta de ensayo ya sea por el fondo o por la parte superior.

Se debe realizar un sellado suficiente con caucho u otro material similar.

Las dimensiones de la zona de ensayo serán aproximadamente la mitad de la longitud del lado o del diámetro de la superficie de la cara de la probeta.

## 4 PROBETAS DE ENSAYO

Las probetas serán cúbicas, cilíndricas o prismáticas de longitud de lado, o diámetro, no menor de 150 mm.

## 5 PROCEDIMIENTO

### 5.1 Preparación de la probeta de ensayo

Inmediatamente después de desmoldar la probeta, se desbasta la superficie de la cara de la probeta que va a estar expuesta a la presión del agua, con un cepillo de púas metálicas

### 5.2 Aplicación del agua a presión

El ensayo debe comenzar cuando las probetas tengan al menos una edad de 28 días. No aplicar el agua a presión a la cara de acabado de la probeta. La probeta se coloca en el aparato de ensayo y se aplica al agua una presión de  $(500 \pm 50)$  kPa durante  $(72 \pm 2)$  h. Durante el ensayo, se observarán periódicamente el estado de las superficies de la probeta de ensayo no expuestas al agua a presión para observar la posible presencia de agua. Si se observaran filtraciones, se reconsiderará la validez del resultado y el hecho será anotado en el informe.

NOTA – El uso de agua de red se considera satisfactorio.

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DA CORUÑA

### **5.3 Examen de probeta**

Después de aplicar la presión durante el tiempo especificado, se retira la probeta del dispositivo de ensayo. Se limpia la cara a la que se aplicó la presión de agua para retirar el exceso de agua. Se rompe la probeta en dos mitades, perpendicularmente a la cara en la que se aplica la presión de agua. Cuando se rompa la probeta, y durante el examen, la cara de la probeta expuesta a la presión de agua se situará en el fondo. Tan pronto como la cara partida se ha secado de forma tal que se puede ver claramente la extensión del frente de penetración de agua, se marca en la probeta dicho frente de penetración. Se mide la profundidad máxima de penetración bajo la superficie de ensayo y se redondea al mm más próximo.

### **6 RESULTADO DEL ENSAYO**

El resultado del ensayo es la profundidad máxima de penetración, redondeada al mm más próximo.

### **7 INFORME DEL ENSAYO**

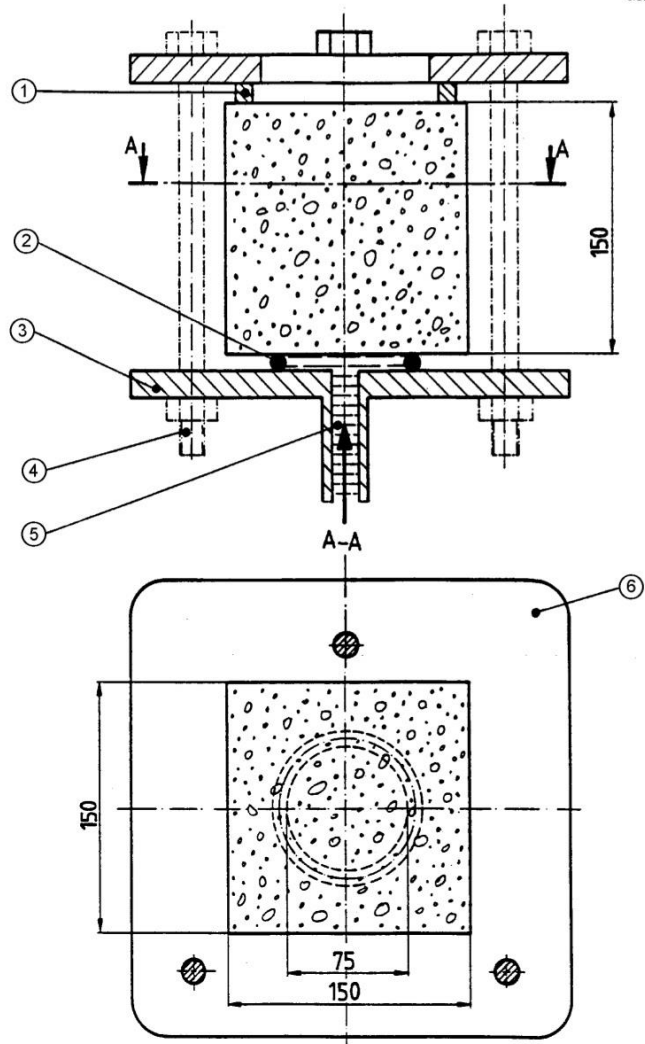
El informe debe incluir

- a) identificación de la probeta de ensayo;
- b) fecha y hora de realización del ensayo;
- c) descripción de la probeta;
- d) dirección de aplicación del agua a presión con relación a la dirección de hormigonado;
- e) profundidad de penetración máxima, en milímetros;
- f) cualquier filtración y consideración sobre la validez de los resultados, (si procede);
- g) cualquier desviación respecto al método de ensayo normalizado;
- h) una declaración de la persona técnicamente responsable de la realización del ensayo de que este fue realizado de acuerdo con esta norma, excepto lo anotado en el punto g).

### **8 PRECISIÓN**

No existen datos disponibles sobre la precisión.

Medidas en milímetros



- Leyenda  
 1 Soporte  
 2 Anillo de estanquidad  
 3 Placa atornillada  
 4 Soporte atornillado  
 5 Agua a presión  
 6 Placa atornillada

Fig. 1 – Ejemplo de dispositivo de ensayo

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DA CORUÑA

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

**AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DA CORUÑA**