



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIRÍA CIVIL**

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

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL  
HORMIGÓN ELABORADO CON AGREGADOS DE PINTAG Y CON ADICIÓN  
DE UN INCLUSOR DE AIRE”**

**TUTOR**

**ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA**

**AUTORAS**

**DIANA VANESSA ÁLVAREZ ESPITIA**

**KAMILA NICOLE ORELLANA MOYA**

**QUITO, 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios y la Virgen María por permitirme poder llegar a cumplir esta etapa importante en mi vida. A mi madre por su esfuerzo que me dio la oportunidad de estudiar una carrera universitaria. A mi familia y amigos en especial a Mavel y Steven por ser quienes me apoyaron en todo momento dentro y fuera de las aulas.

Un agradecimiento especial al Ing. Lauro Lara director de este trabajo por estar siempre dedicado y pendiente de mi persona a lo largo de mi carrera en la universidad, por impartirme sus conocimientos y brindarme su apoyo. A los lectores Ing. Gustavo Yáñez e Ing. Paúl Enríquez por brindarme su tiempo, conocimiento y paciencia en el desarrollo de este trabajo.

Finalmente a mi compañera de tesis Kami por estar ahí en las buenas y malas, gracias por ser un apoyo en mi vida profesional y personal.

**Diana Álvarez E.**

Agradezco a Dios y a mis padres por haberme guiado paso a paso en esta trayectoria en mi vida, fueron momentos de altibajos y sin embargo no me dejaron sola, y mucho menos permitieron que me rinda. Plasmaron en mí que; el cielo es mi único límite.

A mi madre, por haberme forjado con buenos valores, y no está demás destacar uno de ellos que fue la paciencia y perseverancia, ella fue mi símbolo de luz en todo mi camino.

A mi padre, que inculcó en mí el esfuerzo y trabajo duro día a día, quien me enseñó que por más golpes me daba la vida, me hacía más fuerte y sobre todo que podía alcanzar a conseguir todo lo que quería.

Agradezco a mi tutor de tesis, al Ing. Lauro Lara quién me impartió de grandes conocimientos e historias de vida durante la formación en mi carrera universitaria, un hombre que con astucia y sencillez logró fomentar en mí que no existe un “No puedo”.

A mi compañera de tesis, Diana Álvarez quién me tuvo fe y paciencia en todo este proceso, ella que no dudó y estuvo segura de que podía confiar en mí en toda esta trayectoria.

Agradezco a mis grandes amistades Mavel N, Kathryn C y Stiven O, quienes estuvieron constantemente apoyándome sin importar las circunstancias, ni el tiempo, permanecieron allí.

***Kamila Nicole Orellana Moya***

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado especialmente a mi esposo Ricardo, por ser quien me apoyo en todo momento por su paciencia, perseverancia y motivación, sin ti no hubiera llegado a culminar esta etapa. A mis hijos Joaquín e Isabela gracias por ser mi razón diaria, mi oxígeno para siempre seguir hacia adelante.

Lo dedico a mi madre Evelin por ser mi ejemplo durante toda mi vida, a mi padre Carlos que desde el cielo siempre me bendice. A mi mami Orfita a ti por ser mi confidente, mi guía hacia lo correcto.

A todos ustedes, por sembrar en mí perseverancia, disciplina y ganas de seguir adelante.

**Diana Álvarez E.**

Les dedico este trabajo a mis padres, Juan Orellana y Silvia Moya quienes me enseñaron que, para llegar a la cima no se llega superando a los demás, sino superándome a mí misma, me demostraron que su apoyo siempre iba a ser incondicional y su amor infinito.

A su vez agradezco a mi hermano Stiven Orellana, que fue mi ejemplo y motor de superación y fortaleza.

***Kamila Nicole Orellana Moya***

## RESUMEN

Se realizó un estudio de investigación, con la finalidad de determinar mediante un análisis las propiedades físicas mecánicas del hormigón con aire incluido. Se logró establecer mediante ensayos de laboratorio específicos los parámetros más importantes que permitan analizar el comportamiento del hormigón al incorporar aire de manera artificial en la mezcla mediante el uso de un aditivo.

En esta investigación su aspecto más importante es la elaboración de un hormigón con inclusor de aire mediante un aditivo, que, una vez establecida su dosificación y los parámetros de diseño como son: el asentamiento, contenido de aire y resistencia característica esperada, nos permita determinar sus propiedades mecánicas.

La primera fase consiste en analizar y determinar una correcta selección de los componentes para la elaboración de las mezclas de hormigón, estos incluye los agregados finos y gruesos, cemento y aditivo. Los mismos que fueron sometidos a ensayos de laboratorio de caracterización y así se obtuvo los resultados para una correcta dosificación de los mismos dentro de la mezcla de hormigón. Los diferentes diseños de hormigón con distintos porcentajes de aditivo fueron elaborados con agregados de Pintag, cemento Holcim Tipo GU y el uso del aditivo inclusor de aire Airberton de la marca Aditec, con el fin de que el hormigón alcance las resistencias esperadas y así poder establecer las ventajas de dicho hormigón con respecto al hormigón sin aditivo.

Las resistencias a la compresión características esperadas que se definió fueron de  $f'c=210$  y  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de elaboradas las mezclas de hormigón con las diferentes dosificaciones de aditivo inclusor de aire, las probetas que se realizaron fueron cilindros y viguetas que finalmente se sometieron a los ensayos de compresión simple a los 7 y 28 días, compresión con módulo de elasticidad, y flexión.

Este es un tema antes no desarrollado dentro de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por lo que al desarrollarlo queda abierta una puerta para seguir indagando en este tema pues con los resultados obtenidos en el presente trabajo, queda demostrado las ventajas que se tiene de usar un hormigón con aire incluido dentro de las diferentes áreas de la ingeniería civil que se consideran realmente aceptables.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
1.4 ANTECEDENTES .....	3
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	4
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	4
2.2.1 Hormigón.....	4
2.2.1.1 Definición .....	5
2.2.1.2 Características de los materiales componentes.....	5
2.2.2 Hormigón con aire incluido.....	6
2.2.2.1 Definición .....	6
2.2.2.2 Características y propiedades .....	7
2.2.2.3 Aplicaciones .....	10
2.2.3 Propiedades físico mecánicas del hormigón.....	10
2.2.3.1 Resistencia a la compresión.....	10
2.2.3.2 Resistencia a la tracción .....	12
2.2.3.3 Resistencia a la flexión .....	13
2.2.3.4 Módulo de elasticidad.....	14
2.3 Método ACI 211.1 modificado, para diseño de mezclas de hormigón .....	16

2.4 Ensayos.....	26
2.4.1 Ensayo de contenido de aire por el método volumétrico.....	26
2.4.2 Ensayo a la compresión .....	32
2.4.3 Ensayo a la compresión por módulo de elasticidad.....	35
2.4.4 Ensayo a la flexotracción.....	37

### **CAPITULO III: PARÁMETROS DE DISEÑO A EMPLEARSE EN EL ESTUDIO42**

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....	42
3.1.1 Agregados fino y grueso.....	42
3.1.1.1 Agregado fino.....	42
□ Análisis granulométrico.....	42
□ Módulo de finura .....	45
□ Contenido orgánico .....	45
□ Gravedad específica y absorción .....	47
□ Humedad natural.....	51
□ Porcentaje de material fino que pasa por el tamiz #200 .....	53
3.1.1.2 Agregado grueso.....	55
□ Granulometría.....	56
□ Abrasión en la máquina de los Ángeles .....	59
□ Gravedad específica y porcentaje de absorción.....	63
□ Humedad natural.....	65
3.1.2 Cemento.....	67
3.1.3 Aditivo inclusor de aire .....	68
3.2 DETERMINACIÓN DE DOSIFICACIONES A REALIZARSE EN EL ESTUDIO .....	70
3.2.1 Relación agua – cemento .....	70

3.2.2	Dosificación de la mezcla de hormigón .....	71
3.2.2.1	Para dosificación sin aditivo y una resistencia esperada de $f'c=210$ .....	71
3.2.2.2	Para dosificación sin aditivo y una resistencia esperada de $f'c=280$ .....	74
3.2.3	Aplicación del aditivo inductor de aire en el diseño de las mezclas de hormigón.....	77
3.2.3.1	Diseño de mezcla para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.04% de aditivo .....	77
3.2.3.2	Diseño de mezcla para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.07% de aditivo .....	80
3.2.3.3	Diseño de mezcla para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.10% de aditivo .....	82
3.2.3.4	Diseño de mezcla para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.04% de aditivo .....	85
3.2.3.5	Diseño de mezcla para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.07% de aditivo .....	88
3.2.3.6	Diseño de mezcla para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.10% de aditivo .....	91
3.3	ENSAYOS DE LABORATORIO DE HORMIGÓN .....	94
3.3.1	Ensayo a la compresión simple a los 7 y 28 días.....	94
3.3.1.1	Compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 y 28 días .....	94
3.3.1.2	Compresión simple de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 y 28 días .....	98
3.3.2	Ensayo de flexión en vigas .....	101
3.3.2.1	Flexión de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días .....	101
3.3.2.2	Flexión de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días .....	104
3.3.3	Ensayo a la compresión con módulo de elasticidad .....	106
3.4	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS .....	139
3.3.1	Contenido de aire.....	139
3.3.2	Resistencia a la compresión.....	140
3.3.3	Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad .....	141
3.3.4	Resistencia a la flexión .....	142
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>143</b>

<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>153</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	153
5.2 RECOMENDACIONES .....	159
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>163</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Revenimiento recomendado para varios tipos de construcción.....	17
<b>Tabla 2.2.</b> Requerimientos de agua de mezclado y aire incluido para diferentes revenimientos y tamaño máximo de agregado .....	19
<b>Tabla 2.3.</b> Dependencia de la relación agua - material cementante y la resistencia a la compresión del hormigón .....	20
<b>Tabla 2.4.</b> Corrección del efecto del alcohol isopropílico en la lectura del medidor de aire C173/C173M .....	32
<b>Tabla 3.1.</b> Límites para la granulometría del agregado fino.....	43
<b>Tabla 3.2.</b> Granulometría obtenida del agregado fino .....	44
<b>Tabla 3.3.</b> Valores obtenidos para el cálculo del módulo de finura .....	45
<b>Tabla 3.4.</b> Requisitos de granulometría para los agregados gruesos .....	57
<b>Tabla 3.5</b> .Granulometría obtenida del agregado grueso.....	58
<b>Tabla 3.6.</b> Especificaciones para la carga de ensayo de máquina de Los Ángeles.....	60
<b>Tabla 3.7.</b> Gradación de las muestras de ensayo a la abrasión máquina de Los Ángeles ..	61
<b>Tabla 3.8.</b> Datos técnicos del cemento Holcim fuerte tupo GU .....	68
<b>Tabla 3.9.</b> Relación agua cemento por el método ACI 211 .....	70
<b>Tabla 3.10.</b> Tabla de interpolación para el diseño de $f'c=210$ .....	71
<b>Tabla 3.11.</b> Tabla de interpolación para diseño de $f'c=280$ .....	71
<b>Tabla 3.12.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón sin aditivo para un $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	73
<b>Tabla 3.13.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón sin aditivo para un $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .....	76
<b>Tabla 3.14.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.04% de aditivo para un $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	79

<b>Tabla 3.15.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.07% de aditivo para un $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	82
<b>Tabla 3.16.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.10% de aditivo para un $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	85
<b>Tabla 3.17.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.04% de aditivo para un $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .....	88
<b>Tabla 3.18.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.07% de aditivo para un $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .....	91
<b>Tabla 3.19.</b> Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.10% de aditivo para un $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .....	94
<b>Tabla 3.20.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 días hormigón sin aditivo .....	94
<b>Tabla 3.21.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días hormigón sin aditivo .....	95
<b>Tabla 3.22.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 días hormigón con 0.04% aditivo inclusor de aire .....	95
<b>Tabla 3.23.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días hormigón con 0.04% aditivo inclusor de aire .....	95
<b>Tabla 3.24.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 días hormigón con 0.07% aditivo inclusor de aire .....	95
<b>Tabla 3.25.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días hormigón con 0.07% aditivo inclusor de aire .....	95
<b>Tabla 3.26.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 días hormigón con 0.10% aditivo inclusor de aire .....	96

<b>Tabla 3.27.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.10% aditivo inclusor de aire .....	96
<b>Tabla 3.28.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón sin aditivo .....	96
<b>Tabla 3.29.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón sin aditivo .....	97
<b>Tabla 3.30.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.04% aditivo.....	97
<b>Tabla 3.31.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.04% aditivo.....	97
<b>Tabla 3.32.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.07% aditivo.....	97
<b>Tabla 3.33.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.07% aditivo.....	97
<b>Tabla 3.34.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.10% aditivo.....	98
<b>Tabla 3.35.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.10% aditivo.....	98
<b>Tabla 3.36.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días hormigón sin aditivo .....	98
<b>Tabla 3.37.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días hormigón sin aditivo .....	98
<b>Tabla 3.38.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón sin aditivo .....	99

<b>Tabla 3.39.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón sin aditivo .....	99
<b>Tabla 3.40.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.04% de aditivo.....	99
<b>Tabla 3.41.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.04% de aditivo.....	99
<b>Tabla 3.42.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.04% de aditivo .....	99
<b>Tabla 3.43.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.04% de aditivo .....	100
<b>Tabla 3.44.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.07% de aditivo.....	100
<b>Tabla 3.45.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.07% de aditivo.....	100
<b>Tabla 3.46.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.07% de aditivo .....	100
<b>Tabla 3.47.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.07% de aditivo .....	100
<b>Tabla 3.48.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.10% de aditivo.....	101
<b>Tabla 3.49.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.10% de aditivo.....	101
<b>Tabla 3.50.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.10% de aditivo .....	101

<b>Tabla 3.51.</b> Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de $f'c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.10% de aditivo .....	101
<b>Tabla 3.52.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo.....	102
<b>Tabla 3.53.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo .....	102
<b>Tabla 3.54.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo .....	102
<b>Tabla 3.55.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo .....	103
<b>Tabla 3.56.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo .....	103
<b>Tabla 3.57.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo .....	104
<b>Tabla 3.58.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo .....	104
<b>Tabla 3.59.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo .....	104
<b>Tabla 3.60.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo.....	104
<b>Tabla 3.61.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo .....	105
<b>Tabla 3.62.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo .....	105

<b>Tabla 3.63.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=280$ Kg/cm2 a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo .....	105
<b>Tabla 3.64.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=280$ Kg/cm2 a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo .....	105
<b>Tabla 3.65.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=280$ Kg/cm2 a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo .....	105
<b>Tabla 3.66.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de $f'c=280$ Kg/cm2 a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo .....	106
<b>Tabla 3.67.</b> Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de $f'c=280$ Kg/cm2 a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo .....	106
<b>Tabla 3.68.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f'c=210$ Kg/cm2 a los 28 días de hormigón sin aditivo .....	107
<b>Tabla 3.69.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f'c=280$ Kg/cm2 a los 28 días de hormigón sin aditivo .....	107
<b>Tabla 3.70.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f'c=210$ Kg/cm2 a los 28 días de Hormigón con el 0.04% de Aditivo de inclusor de aire .....	107
<b>Tabla 3.71.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f'c=280$ Kg/cm2 a los 28 días de Hormigón con el 0.04% de Aditivo de inclusor de aire .....	107
<b>Tabla 3.72.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f'c=210$ Kg/cm2 a los 28 días de Hormigón con el 0.07% de Aditivo de inclusor de aire .....	107

<b>Tabla 3.73.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.07% de Aditivo de inclusor de aire .....	108
<b>Tabla 3.74.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.10% de Aditivo de inclusor de aire .....	108
<b>Tabla 3.75.</b> Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.10% de Aditivo de inclusor de aire .....	108
<b>Tabla 3.76.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo.....	109
<b>Tabla 3.77.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo.....	112
<b>Tabla 3.78.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo inclusor de aire.....	117
<b>Tabla 3.79.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo inclusor de aire.....	121
<b>Tabla 3.80.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo inclusor de aire.....	125
<b>Tabla 3.81.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f^c=280$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo inclusor de aire.....	128

<b>Tabla 3.82.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo inclusor de aire.....	132
<b>Tabla 3.83.</b> Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo inclusor de aire.....	136
<b>Tabla 3.84.</b> Resultados del contenido de aire en el hormigón .....	139
<b>Tabla 3.85.</b> Resultados de la resistencia a la compresión simple .....	140
<b>Tabla 3.86.</b> Resultados de la resistencia a la compresión simple por módulo de elasticidad .....	141
<b>Tabla 3.87.</b> Resultado del módulo de elasticidad obtenido en los ensayos .....	141
<b>Tabla 3.88.</b> Resultados de la resistencia a flexión .....	142
<b>Tabla 4.1.</b> Propiedades físico mecánicas del hormigón afectadas por la adición del aditivo inclusor de aire.....	144
<b>Tabla 5.1.</b> Resultados de las características del agregado fino de acuerdo a la normativa INEN.....	153
<b>Tabla 5.2.</b> Resultados de las características del agregado grueso de acuerdo a la normativa INEN.....	153
<b>Tabla 5.3.</b> Valores de alfa promedio para el cálculo de la resistencia a la compresión por módulo de elasticidad a los 28 días para una relación agua – cemento de 0.54.....	157
<b>Tabla 5.4.</b> Valores de alfa promedio para el cálculo de la resistencia a la compresión por módulo de elasticidad a los 28 días para una relación agua – cemento de 0.43.....	157

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 2.1</b> Cálculo de la resistencia característica del hormigón ( $f'c$ ) .....	11
<b>Ecuación 2.2.</b> Expresión aproximada de la resistencia a la tracción del hormigón.....	12
<b>Ecuación 2.3.</b> Expresión aproximada de la resistencia a la tracción del hormigón.....	13
<b>Ecuación 2.4.</b> Expresión para el cálculo del módulo de ruptura del hormigón .....	14
<b>Ecuación 2.5.</b> Ecuación para el cálculo de módulo de elasticidad para hormigones con un peso específico entre 1440 y 2480 Kg/m <sup>3</sup> .....	16
<b>Ecuación 2.6.</b> Ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad de hormigones de peso normal.....	16
<b>Ecuación 2.7.</b> Cálculo de la resistencia de diseño para la mezcla de hormigón.....	21
<b>Ecuación 2.8.</b> Ecuación para determinar la cantidad de cemento para la mezcla de hormigón.....	21
<b>Ecuación 2.9.</b> Ecuación para el cálculo del peso unitario del hormigón .....	22
<b>Ecuación 2.10.</b> Cálculo de la cantidad de agregados en la mezcla en estado superficie seca saturada.....	22
<b>Ecuación 2.11.</b> Expresión para el cálculo de la cantidad de agregado fino y grueso SSS respectivamente .....	23
<b>Ecuación 2.12.</b> Cálculo del peso en seco de los agregados. ....	23
<b>Ecuación 2.13.</b> Cálculo del peso natural de los agregados. ....	23
<b>Ecuación 2.14.</b> Cálculo del agua de mezcla para la fabricación del hormigón. Fuente: (Lara, 2022) .....	24
<b>Ecuación 2.15.</b> Factor de corrección de la mezcla de hormigón .....	25
<b>Ecuación 2.16.</b> Reestimación del agua neta de la mezcla.....	25
<b>Ecuación 2.17.</b> Ecuación para el cálculo del contenido de aire en el hormigón fresco.....	32
<b>Ecuación 2.18.</b> Ecuación para el cálculo de la resistencia a la compresión del hormigón.	34

<b>Ecuación 2.19.</b> Ecuación para el cálculo de módulo de elasticidad .....	37
<b>Ecuación 2.20.</b> Fórmula para el cálculo de la resistencia a flexión del hormigón cuando la rotura se produce dentro del tercio medio .....	40
<b>Ecuación 2.21.</b> Fórmula para el cálculo de la resistencia a flexión del hormigón cuando la rotura se produce fuera del tercio medio .....	40
<b>Ecuación 3.1.</b> Cálculo de la gravedad específica del agregado fino.....	50
<b>Ecuación 3.2.</b> Cálculo del porcentaje de absorción agregado fino .....	51
<b>Ecuación 3.3.</b> Fórmula de la humedad natural del agregado .....	52
<b>Ecuación 3.4.</b> Expresión para el cálculo del porcentaje de material fino que pasa el tamiz #200 .....	54
<b>Ecuación 3.5.</b> Ecuación para el cálculo del porcentaje de desgaste del agregado grueso por el método de la máquina de Los Ángeles .....	62
<b>Ecuación 3.6.</b> Fórmula por el cálculo del volumen desalojado por el agregado grueso.....	64
<b>Ecuación 3.7.</b> Fórmula para el cálculo del porcentaje de absorción del agregado grueso .	65
<b>Ecuación 3.8.</b> Fórmulas para el cálculo de la gravedad específica del agregado grueso ...	65
<b>Ecuación 3.9.</b> Fórmula para el cálculo del contenido de humedad el agregado grueso .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Sección pulida de un hormigón con aire incluido, como se ve a través del microscopio .....	7
<b>Figura 2.2.</b> Efectos del contenido de aire sobre la durabilidad, la resistencia a la compresión y el contenido requerido de agua del hormigón.....	8
<b>Figura 2.3.</b> Influencia del aire incluido sobre la resistencia del Hormigón con distintos contenidos de cemento.....	9
<b>Figura 2.4.</b> Curva de distribución de la resistencia de hormigones.....	11
<b>Figura 2.5.</b> Rango elástico (tramo 1) e inelástico (tramo 2) de hormigones de diferentes resistencias.....	15
<b>Figura 2.6.</b> Aparato para medir el contenido de aire del hormigón fresco por el método volumétrico.....	27
<b>Figura 2.7.</b> Detalle del plato superior y la probeta .....	34
<b>Figura 2.8.</b> Colocación del Compresómetro de manera adecuada para el ensayo. ....	35
<b>Figura 2.9.</b> Método de ensayo de flexotracción con carga aplicada a los tercios.....	39
<b>Figura 3.1</b> .Ensayo de granulometría agregado fino.....	43
<b>Figura 3.2.</b> Curva granulométrica obtenida.....	44
<b>Figura 3.3.</b> Ensayo de contenido orgánico .....	46
<b>Figura 3.4.</b> Ensayo de gravedad específica del agregado fino .....	49
<b>Figura 3.5.</b> Colocación del material en el matraz para ensayo.....	50
<b>Figura 3.6.</b> Ensayo de contenido de humedad del agregado fino.....	52
<b>Figura 3.7.</b> Ensayo del porcentaje de material fino que pasa el tamiz #200 .....	54
<b>Figura 3.8.</b> Ensayo de granulometría del ripio realizado .....	58
<b>Figura 3.9.</b> Curva granulométrica del agregado grueso obtenida.....	59
<b>Figura 3.10.</b> Máquina de Los Ángeles .....	60

<b>Figura 3.11.</b> Muestra obtenida después del ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles .....	62
<b>Figura 3.12.</b> Resultado del peso seco de la muestra para el ensayo de gravedad específica del agregado grueso .....	64
<b>Figura 3.13.</b> Muestras para el ensayo de compresión de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días .....	94
<b>Figura 3.14.</b> Rotura del cilindro en la prensa de ensayo. ....	96
<b>Figura 3.15.</b> Muestras para el ensayo de flexión de $f'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días.....	102
<b>Figura 3.16.</b> Rotura de la vigueta en la prensa de ensayo. ....	103
<b>Figura 3.17.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindros (1) $f'c = 210$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón sin aditivo .....	111
<b>Figura 3.18.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 210$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón sin aditivo .....	111
<b>Figura 3.19.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 210$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón sin aditivo .....	112
<b>Figura 3.20.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1) $f'c = 280$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón sin aditivo .....	115
<b>Figura 3.21.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 280$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón sin aditivo .....	116
<b>Figura 3.22.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 280$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón sin aditivo .....	116
<b>Figura 3.23.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1) $f'c = 210$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón con 0.04% de aditivo .....	119
<b>Figura 3.24.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 210$ Kg/cm <sup>2</sup> de hormigón con 0.04% de aditivo .....	120

<b>Figura 3.25.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.04% de aditivo .....	120
<b>Figura 3.26.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.04% de aditivo .....	123
<b>Figura 3.27.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.04% de aditivo .....	124
<b>Figura 3.28.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.04% de aditivo .....	124
<b>Figura 3.29.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1) $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.07% de aditivo .....	126
<b>Figura 3.30.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.07% de aditivo .....	127
<b>Figura 3.31.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.07% de aditivo .....	127
<b>Figura 3.32.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.07% de aditivo .....	130
<b>Figura 3.33.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.07% de aditivo .....	131
<b>Figura 3.34.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.07% de aditivo .....	131
<b>Figura 3.35.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1) $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.10% de aditivo .....	134
<b>Figura 3.36.</b> Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.10% de aditivo .....	135

<b>Figura 3.37</b> .Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.10% de aditivo .....	135
<b>Figura 3.38</b> . Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.10% de aditivo .....	138
<b>Figura 3.39</b> . Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.10% de aditivo .....	138
<b>Figura 3.40</b> . Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3) $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ de hormigón con 0.10% de aditivo .....	139
<b>Figura 4.1</b> . Curva de la resistencia promedio y característica a los 7 días para una relación agua cemento de 0.54 con varios porcentajes de aditivo.....	145
<b>Figura 4.2</b> . Curva de la resistencia promedio y característica a los 28 días para una relación agua cemento de 0.54 con varios porcentajes de aditivo.....	145
<b>Figura 4.3</b> . Curva de la resistencia promedio y característica a los 7 días para una relación agua cemento de 0.43 con varios porcentajes de aditivo.....	146
<b>Figura 4.4</b> . Curva de la resistencia promedio y característica a los 28 días para una relación agua cemento de 0.43 con varios porcentajes de aditivo.....	146
<b>Figura 4.5</b> . Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 7 días para una relación A/C de 0.54 con varios porcentajes de aditivo .....	147
<b>Figura 4.6</b> . Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 28 días para una relación A/C de 0.54 con varios porcentajes de aditivo .....	148
<b>Figura 4.7</b> . Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 7 días para una relación A/C de 0.43 con varios porcentajes de aditivo .....	148

<b>Figura 4.8.</b> Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 28 días para una relación A/C de 0.43 con varios porcentajes de aditivo .....	149
<b>Figura 4.9.</b> Curva de la resistencia a flexión promedio y característica del hormigón a los 28 días con una relación A/C de 0.54 con diferentes porcentajes de aditivo .....	150
<b>Figura 4.10.</b> Curva de la resistencia a flexión promedio y característica del hormigón a los 28 días con una relación A/C de 0.43 con diferentes porcentajes de aditivo .....	150
<b>Figura 4.11.</b> Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a flexión a los 28 días del hormigón con una relación A/C de 0.54 con varios porcentajes de aditivo .....	151
<b>Figura 4.12.</b> Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a flexión a los 28 días del hormigón con una relación A/C de 0.43 con varios porcentajes de aditivo .....	152
<b>Figura 5.1.</b> Curva de decrecimiento del valor de alfa promedio para el cálculo del módulo de elasticidad para una relación agua - cemento de 0.54.....	158
<b>Figura 5.2.</b> Curva de decrecimiento del valor de alfa promedio para el cálculo del módulo de elasticidad para una relación agua - cemento de 0.43.....	158

# 1      **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

En algunas zonas en los Estados Unidos se pudo observar en varias zonas de carreteras que el hormigón estaba fracturado y con una estructura frágil, lo cual fue generado por un proceso de desintegración que produce congelamiento y descongelamiento del agua, por lo que, se dio paso a realizar una investigación acerca de los hormigones con aire incluido. Esto en la actualidad se conoce como una técnica de fabricación de hormigón con aire incorporado, y es uno de los más empleados, ya que proporciona una cualidad de suma importancia: la durabilidad. (CARLOS ARCOS d'HAINAUT, 1976).

El hormigón con aire incorporado es utilizado en pavimentos de carreteras y aeropistas, obras viales, marítimas e industriales (aparte de considerar la acción química), hidráulicas y edificación en general. Su empleo es particularmente recomendable en todos los casos en que el hormigón va a estar sometido a la acción de la intemperie o climas fríos con temperatura extrema inferior a 4° C. (CARLOS ARCOS d'HAINAUT, 1976)

El aire en el hormigón es un componente adicional a los básicos cemento, agua y áridos. Este aire puede encontrarse como elemento accidental —aire atrapado— o como acción intencional —aire incorporado. (CARLOS ARCOS d'HAINAUT, 1976)

El aire adicionado intencionalmente participa en el hormigón como otro elemento de la mezcla, el mismo que cambia las características tanto del hormigón fresco como del hormigón endurecido. (CARLOS ARCOS d'HAINAUT, 1976)

Al realizar esta técnica se debe considerar añadir el aditivo adecuado durante la fabricación del hormigón, para que el hormigón tenga la resistencia requerida y con la cantidad de aire prevista, con el fin de que se cumpla los requerimientos del diseño.

## **1.1 Justificación**

En el campo de la construcción uno de los materiales más utilizados, es sin duda el hormigón, este a lo largo del tiempo se ha modificado tanto en su composición como en su elaboración, transporte y colocación.

Por este motivo, hoy en día con la ayuda de los avances tecnológicos en su proceso de fabricación, se desarrollan ya otros tipos de hormigón que pueden presentarse como mejores alternativas a los nuevos retos de la construcción.

El fabricar un hormigón con aire incluido puede presentar soluciones a problemas actuales del hormigón tradicional, entre los que sobresale el ciclo de congelamiento y descongelamiento, así también cuando las estructuras están expuestas a la acción de los sulfatos.

Es por estas razones que se torna importante la realización de este trabajo previo a la obtención del título de ingeniero civil, se analiza las propiedades mecánicas del hormigón con aire incluido y se determina los parámetros más importantes que permitan la aplicación de este, en las diferentes áreas de la ingeniería civil utilizando materiales de nuestro medio. En base a la investigación y pruebas de laboratorio respectivas, se pretende establecer las ventajas de dicho hormigón con respecto al hormigón normal.

También cabe mencionar, que es tema no se ha desarrollado dentro de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por lo que servirá de base para futuros estudios de diseño y fabricación de nuevos tipos de hormigón que puedan ser incorporados en el campo de la construcción en nuestro país.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El aspecto más importante dentro de esta investigación, es la fabricación de un hormigón con inclusor de aire, que una vez establecida su dosificación y fabricación, nos permita determinar sus propiedades mecánicas, es decir la capacidad que tendrá dicho hormigón para resistir las cargas que se le aplique y las acciones de externas de materiales que puedan ser perjudiciales y afecten a sus condiciones de durabilidad.

Los aspectos que se analizarán y que complementan la investigación son: la selección de los agregados (finos y gruesos) para someterlos a ensayos de laboratorio de caracterización que nos permitan determinar sus propiedades, igualmente se escogió el cemento portland modificado de Holcim y el aditivo inclusor de aire provisto por Aditec Airberton, se deberá definió para resistencias de  $f'c=210$  y  $f'c=280$  la dosificación de las mezclas de concreto, se elaboró muestras que fueran sometidas a los diferentes ensayos de

compresión, tracción y flexión; y con dichos resultados, se analizó el comportamiento de los hormigones y en base a ello se establecieron las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

### **1.3 Objetivos generales y específicos**

#### *1.3.1 Objetivo general*

Establecer el comportamiento del hormigón con la adición de un inclusor de aire y determinar las propiedades físicas y mecánicas del mismo.

#### *1.3.2 Objetivos específicos*

- Determinar las propiedades y características de los materiales, para establecer la dosificación adecuada con la que se obtenga un hormigón con aire incluido, que pueda alcanzar una resistencia específica.
- Recopilar toda la información de los ensayos de laboratorio a realizarse para obtener un registro del comportamiento del hormigón con aire incluido.
- Analizar los resultados obtenidos de las diferentes dosificaciones de hormigón, sea este normal y con aditivo de inclusor de aire, para verificar si cumple con la resistencia especificada.
- Comparar el comportamiento del hormigón con aire incluido con los hormigones normales.

### **1.4 Antecedentes**

Es importante mencionar que tanto en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador como en otras Universidades del país, no se han desarrollado tesis similares a esta, por tal motivo es un tema innovador cuya información será sustentada en la disertación y que servirá de base para futuras investigaciones dentro del área de los Hormigones.

## **2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Marco Teórico**

El hormigón con aire incorporado en la actualidad es un tipo de hormigón el cual se ha investigado y desarrollado las técnicas para su fabricación, además de poder determinar los factores que influyen en su comportamiento y los efectos que producen en su aplicación.

De los diferentes tipos de hormigón especiales que existen en la construcción, el hormigón con aire incorporado puede resultar ser uno de los que más se aplique en las diferentes áreas de la ingeniería civil, pues sus procesos de fabricación no varían de manera significativa con respecto a los hormigones tradicionales, lo que sí vale la pena recalcar es que al agregar el aditivo con aire al hormigón le provee una cualidad muy importante al mismo que es la durabilidad, adicionalmente los efectos del aire incorporado al hormigón son varios pero los principales son la docilidad, durabilidad y resistencia.

Cuando el aire es incluido en el hormigón de manera intencional, es decir con el uso de un aditivo, este pasa a ser parte de la mezcla como un agregado más que sin duda cambia las características del hormigón tanto en su estado fresco como endurecido, y es por eso que en esta disertación se pretende determinar las propiedades física mecánicas de este tipo de hormigón con aire incluido.

Los factores que van a influir para determinar la cantidad de aire incorporado a la mezcla de hormigón serán sin duda principalmente el aditivo inclusor de aire, el cemento, los áridos y la relación agua – cemento que se vaya a usar en las diferentes dosificaciones diseñadas para alcanzar una resistencia específica.

Las bases referenciales en la que se sustentarán el diseño y la evaluación de los materiales y de las mezclas de hormigón son las que se encuentran en las “Norma Técnica Ecuatoriana INEN” que se especifican más adelante a detalle en el desarrollo de este plan en la metodología y el Manual ACI de la práctica del Hormigón, parte 1.

### **2.2 Marco Conceptual**

#### **2.2.1 Hormigón**

### *2.2.1.1 Definición*

El hormigón es conocido como una piedra artificial que se forma a partir de la mezcla adecuada de cemento, agua y agregados (finos y gruesos). En base a estos cuatro componentes básicos del hormigón se puede determinar las diferentes propiedades del mismo, es necesario mencionar que las propiedades se ven afectadas tanto por las proporciones de los materiales como por su calidad y la humedad de los mismos, adicionalmente estas dependen de las condiciones en la que se fabrique el hormigón y de su proceso de fraguado.

Para determinar propiedades especiales o mejorarlas como por ejemplo obtener una mejor trabajabilidad del hormigón, mayor resistencia, etc., se considera el añadir otros componentes como son los aditivos o también se puede considerar el modificar a los componentes básicos con otros de características especiales.

### *2.2.1.2 Características de los materiales componentes*

- **Cemento**

Es un material aglomerante que cuenta con propiedades de adherencia y cohesión que sirven para unir fragmentos de material mineral dando como resultado una masa sólida que cumple con los requerimientos técnicos establecidos de resistencia y durabilidad.

Para fabricar hormigón estructural se utilizan únicamente los cementos hidráulicos (utilizan agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante los procesos de endurecimiento inicial y fraguado). Entre los diferentes cementos hidráulicos destaca, por su uso extendido, el cemento Portland. (Proaño, 2008)

- **Agregados**

Se clasifican en finos y gruesos, o también son conocidos como arena y grava respectivamente, se los diferencia de acuerdo al tamaño de su piedra y de acuerdo a la normativa se considera como finos aquellos que pasan el tamiz #4 y los gruesos los que no pasan el tamiz #4.

Dentro de la composición del hormigón los áridos conforman las tres cuartas partes de su volumen, por tal motivo es muy importante la granulometría, características físicas y mecánicas de estos y cuidar que estén libres de impurezas. Las características de los áridos determinan el nivel de compactación lo cual a su vez mejora la resistencia del hormigón.

- Agua

Este componente es muy importante debido a la función que desarrolla dentro del hormigón, el agua debe ser potable es decir de consumo humano, esto implica que esté libre de impurezas, materia orgánica o sales. Se puede distinguir dos tipos de agua que son conocidas como el agua de amasado y el agua de curado.

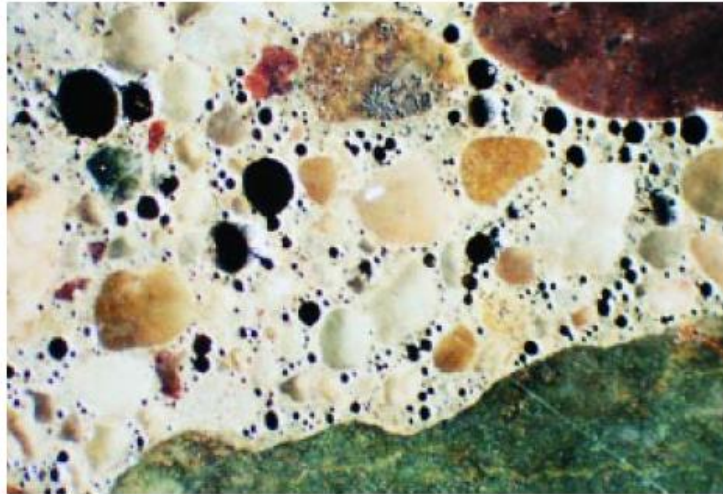
La primera hace referencia al agua que se ocupa para la fabricación del hormigón puesto que esta reacciona con el cemento y a su vez brinda la trabajabilidad necesaria del hormigón a usarse. Se debe tener un estricto cuidado con la cantidad de agua de amasado pues su exceso genera el fenómeno de la evaporación dejando como resultado una red de poros capilares lo que a su vez produce que la resistencia del hormigón se reduzca.

El agua de curado en cambio es aquella que se usa durante la etapa de fraguado y sirve principalmente para evitar la deshidratación del cemento lo cual previene que se genere una retracción prematura. De igual manera se debe tener mucho cuidado con el agua de curado puesto que esta interviene por más tiempo dentro del proceso de endurecimiento del hormigón.

## **2.2.2 Hormigón con aire incluido**

### *2.2.2.1 Definición*

El hormigón con aire incluido es parte del grupo de los considerados hormigones especiales dentro de la Ingeniería Civil, este contiene millones de micro burbujas de aire con varios tamaños que van desde 10 a 100  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Estas burbujas están presentes dentro de la pasta cementante del hormigón de manera separada y uniforme, se las puede encontrar tanto en su estado fresco como endurecido. Sus técnicas de elaboración son muy similares a las del hormigón normal.



**Figura 2.1** Sección pulida de un hormigón con aire incluido, como se ve a través del microscopio

Fuente: (Portland Cement Association PCA, 2004)

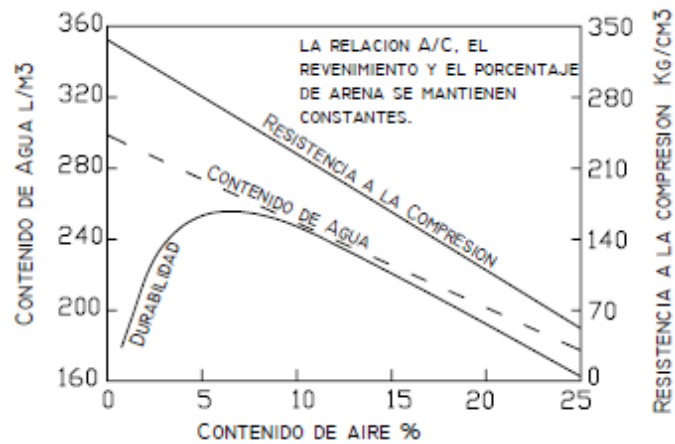
La adición artificial del aire en el hormigón se lo puede realizar de tres maneras una por medio de un aditivo inclusor de aire, un cemento con inclusor de aire o con la combinación de los dos. Como resultado se tiene un hormigón que demuestra tener más ventajas que desventajas, puesto que el aire se vuelve parte de sus componentes básicos y al ser introducido de manera artificial genera un cambio positivo en características del hormigón otorgándole una característica muy importante como es la durabilidad.

#### 2.2.2.2 Características y propiedades

Las características del hormigón con aire incluido son varias tanto en estado fresco como fraguado, sin embargo las consideradas como principales son las siguientes:

1. Mejora la durabilidad del hormigón cuando este se encuentra expuesto a cambios de temperatura drásticos como es el congelamiento y el deshielo produciendo pérdidas de humedad.
2. Aumenta la resistencia del hormigón al desgaste de su superficie evitando el descascaramiento ante la presencia de sulfatos.
3. En el estado fresco del hormigón sin duda la incorporación del aire mejora la trabajabilidad del mismo y reduce de manera significativa incluso puede llegar a eliminar la segregación y el sangrado.

Las propiedades del hormigón que presentan cambios al incluir aire son trabajabilidad, durabilidad y resistencia. A continuación se muestra una gráfica en donde se puede observar el comportamiento del hormigón con aire incluido y los efectos en sus propiedades.



**Figura 2.2.** Efectos del contenido de aire sobre la durabilidad, la resistencia a la compresión y el contenido requerido de agua del hormigón.

Fuente: (Lucas, 2006)

### 1. Trabajabilidad.

El hormigón con inductor de aire en esta fresco tiene una mejor trabajabilidad, debido a que las burbujas de aire funcionan como parte de los áridos del volumen del hormigón, estas reemplazan a los granos de arena muy finos, permitiendo incluso usar dentro de la mezcla agregados finos con mala granulometría. El uso del inductor de aire reduce la cantidad de arena y por ende absorbe menos agua, es decir para obtener la misma trabajabilidad se debe reducir el agua de mezcla entre el 2 y el 4% del aire incluido.

### 2. Durabilidad.

La durabilidad se puede decir que es la propiedad más importante de los hormigones con aire incluido, está comprobado que mejora el comportamiento ante la acción de los cambios drásticos de temperatura que se producen en el hielo y deshielo y a la acción de aguas agresivas es decir ante la presencia de sulfatos.

Estos hormigones tiene una relación agua/cemento baja, la cual reduce la permeabilidad, puesto que al distribirse de manera uniforme las burbujas de aire cortan

la red de poros capilares actuando como cámaras de expansión y canales que permiten que el agua pueda congelarse sin producir tensiones internas en el hormigón.

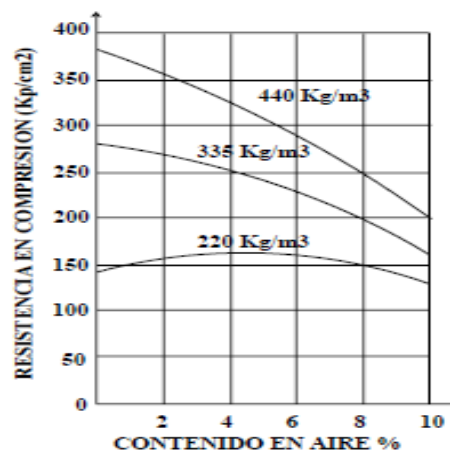
Por lo tanto de un 4 a 7% de aire incluido en relación al volumen de hormigón a elaborar se podrá obtener una durabilidad óptima. (Lucas, 2006)

### 3. Resistencia

En los hormigones con inductor de aire se presenta una disminución de la resistencia, las razones son que se origina una sección real menor debido a la presencia de las burbujas de aire por lo que genera una concentración de tensiones, la forma de las burbujas también inciden en la reducción de la resistencia. Este efecto se ve compensado puesto que al incluir el aire se genera un aumento de la durabilidad.

Cabe mencionar que el hormigón con inductor de aire presenta una relación inversa entre la resistencia y la relación agua/cemento, es decir cuando la mezcla de hormigón tiene una baja relación de agua/cemento al incluir el aire de manera artificial aumenta la resistencia del mismo, y cuando la mezcla presenta relaciones altas de agua/cemento este funciona de manera inversa.

Se presenta a continuación una gráfica donde se explica mejor esta relación y donde se puede determinar aproximadamente que la resistencia disminuye en un 5% por cada 1% de burbujas de aire incluidas.



**Figura 2.3.** Influencia del aire incluido sobre la resistencia del Hormigón con distinto contenidos de cemento.

Fuente: (Lucas, 2006)

### *2.2.2.3 Aplicaciones*

La aplicación del hormigón con aire incluido puede hacerse en cualquier obra de Ingeniería Civil que contenga hormigón sean estas obras viales, hidráulicas y en edificaciones.

Sin embargo su aplicación más sobresaliente ha sido en el pavimento rígido, y en obras civiles cuando estas están sometidas a temperaturas extremas inferiores a 4°C o que estén expuestas a la acción de aguas agresivas con presencia de sulfatos.

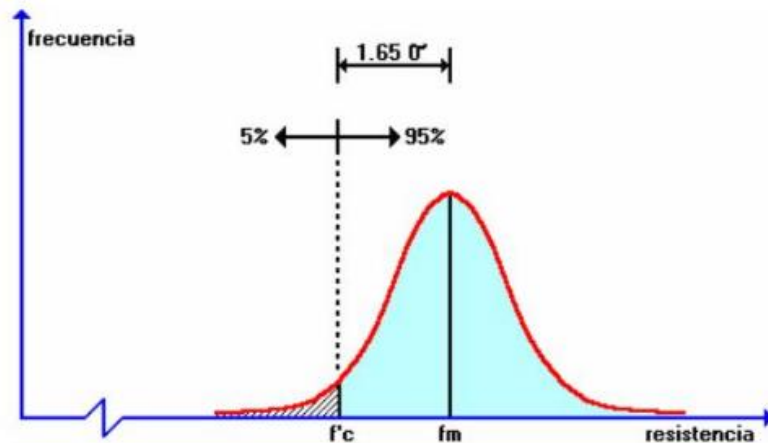
### **2.2.3 Propiedades físico mecánicas del hormigón**

El ingeniero realiza los cálculos necesarios para un correcto diseño de la estructura a partir de las siguientes propiedades mecánicas del hormigón que son consideradas las más importantes: Resistencia a la compresión, tracción y corte, módulo de elasticidad, ductilidad y flujo plástico. Es importante tomar en cuenta que estas propiedades se ven directamente afectados por el material a usarse en la fabricación del hormigón y posteriormente por las condiciones de la obra donde se colocará en el hormigón.

#### *2.2.3.1 Resistencia a la compresión*

La determinación de la resistencia a la compresión resulta ser la propiedad mecánica más importante del hormigón. Para la medición de la resistencia a la compresión se realiza mediante un ensayo que dura pocos minutos en el cual se somete al menos dos probetas de hormigón que tienen un tamaño estandarizado de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, estas reciben cargas que van incrementando de manera rápida hasta llevar a la probeta a su rotura. Para realizar este ensayo las probetas debieron estar bajo condiciones húmedas controladas, la medición de la resistencia se la debe hacer a los 28 días, sin embargo se puede ensayar con una menor edad de días siempre y cuando se especifique el número de días a las que se está realizando el ensayo.

Para el cálculo estructural se utiliza la conocida resistencia característica o específica ( $f'c$ ) a la compresión, es medida utilizando conceptos estadísticos en donde se toma la resistencia media de todas las probetas la cual deberá estar igual o sobre la resistencia característica y únicamente un porcentaje menor de estas no mayor al 5% puedan tener su resistencia menor a la específica.



**Figura 2.4.** Curva de distribución de la resistencia de hormigones

Fuente: (Proaño, 2008)

Si como resultado de la rotura de los cilindros se obtiene una distribución normalizada, la resistencia característica puede ser calculada a partir de la resistencia media y la desviación estándar por medio de la siguiente ecuación:

$$f'c = fm - 1.34 * \sigma \rightarrow [Kgf/cm^2]$$

**Ecuación 2.1** Cálculo de la resistencia característica del hormigón ( $f'c$ )

Fuente: (American Concrete Institute, 2011)

Donde:

$f_m$ : es la resistencia promedio de las probetas de hormigón ensayadas

$\sigma$ : desviación estándar

Igualmente es importante que la resistencia especificada del hormigón cumpla con la sección 19.2.1 del código ACI 318-19, en la cual se menciona condicionamientos que se debe tomar en cuenta para aceptar el valor de la resistencia obtenida en los ensayos.

Existen ciertos parámetros que afectan directamente a la resistencia a la compresión del hormigón cuando se trata de resistencias normales, cabe mencionar que se considera normal aquellas resistencias que están en el rango de 210 hasta 350 Kg/cm<sup>2</sup> de acuerdo al código ACI 318-19. Los parámetros que predominan son la relación agua/cemento, la cantidad de cemento utilizado en la mezcla, la granulometría de los

agregados y el nivel de compactación, puesto que entre mayor y mejor sean estos parámetros mayor será la resistencia a la compresión del hormigón.

### 2.2.3.2 Resistencia a la tracción

Se conoce que el hormigón no tiene mayor capacidad para resistir los esfuerzos de tracción, aproximadamente el hormigón tiene una resistencia a la tensión entre el 8 y el 15% de su resistencia a la compresión, y por lo tanto de manera general se suele despreciar estos esfuerzos al momento de diseñar, sin embargo cuando se produce una limitación de las contracciones y se da el efecto de agrietamiento esta resistencia a la tracción si es importante.

Para entender mejor la resistencia a la tracción del hormigón se puede explicar de la siguiente manera, cuando las grietas por tensión se han presentado, el concreto ya no tiene más resistencia a la tensión, estas grietas son afectadas por los esfuerzos a tensión en su tamaño y extensión. La razón es que el hormigón se agrieta bajo deformaciones unitarias de tensión muy pequeñas. Además la resistencia a la tracción del hormigón genera una reducción de sus deflexiones.

La resistencia a la tracción del concreto no es proporcional a su resistencia a la compresión, pero se puede considerar que varía aproximadamente en proporción a la raíz cuadrada de esta resistencia  $f'c$ . (RUSSELL, 2017)

De manera teórica conforme a las investigaciones realizadas se ha podido sugerir que se utilicen ciertas ecuaciones que permitan de cierta manera obtener un valor de la resistencia a la tracción como por ejemplo:

$$f_t = 1.5\sqrt{f'c} \rightarrow [Kgf/cm^2]$$

**Ecuación 2.2.** Expresión aproximada de la resistencia a la tracción del hormigón.

Fuente: (Proaño, 2008)

Donde:

$f_t$ : Resistencia a la tracción

$f'c$ : Resistencia a la compresión

$$f_t = 2.0\sqrt{f'_c} \rightarrow [Kgf/cm^2]$$

**Ecuación 2.3.** *Expresión aproximada de la resistencia a la tracción del hormigón.*

Fuente: (American Concrete Institute, 2011)

Donde:

$f_t$ : Resistencia a la tracción

$f'_c$ : Resistencia a la compresión

Finalmente es necesario tomar en cuenta que resulta complicado la medición de esta resistencia en laboratorio mediante la aplicación de cargas axiales de tensión directa, pues se presentan varios problemas como de agarre y concentración de esfuerzos por una mala alineación de las cargas. Sin embargo se ha desarrollado métodos indirectos para medir la resistencia a la tracción las cuales son: la prueba del módulo de ruptura y la prueba radial de cilindro. Los resultados obtenidos en cada ensayo suelen ser dispersos entre sí es por ello se recomienda tener precaución al momento de compararlos.

### 2.2.3.3 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión del hormigón, parte del análisis de la resistencia a la tensión. Esta resistencia del hormigón es muy importante al diseñar vigas pues considera las grietas y deflexiones generadas por efecto de los esfuerzos de tracción en el hormigón.

El ensayo que permite medir esta resistencia y que se ha practicado durante mucho tiempo es el conocido como módulo de ruptura. Este ensayo arroja resultados de las resistencias del hormigón a la tracción por efecto de la flexión. Se lo realiza sobre probetas en forma rectangular de concreto simple es decir sin la presencia de acero de refuerzo, las medidas estándar de estas probetas son de 15 cm x 15 cm x 75 cm y se lo realiza de acuerdo con el método ASTM C78.18

El módulo de ruptura  $f_r$  se determina entonces de acuerdo a lo obtenido en cientos de pruebas, y según el código ACI 318-14 que proporciona una expresión para el cálculo de manera teórica que es la siguiente:

$$f_r = 2 * \lambda * \sqrt{f'c} \rightarrow [Kgf/cm^2]$$

*Ecuación 2.4. Expresión para el cálculo del módulo de ruptura del hormigón*

Fuente: (American Concrete Institute, 2019)

Donde:

$f_r$ : módulo de ruptura

$f'c$ : Resistencia a la compresión

Se debe tomar en cuenta que el término  $\lambda$  es un factor de reducción cuando en la mezcla se usan agregados ligeros.

#### 2.2.3.4 Módulo de elasticidad

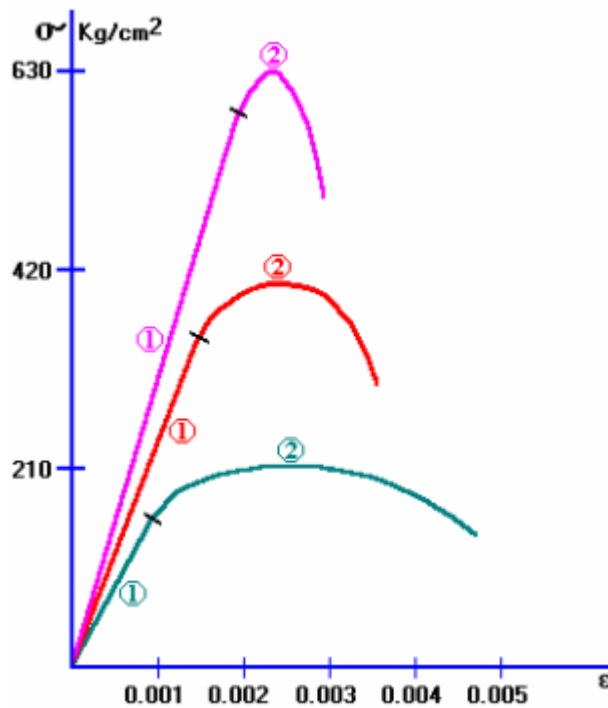
El módulo de elasticidad del hormigón es considerado como la resistencia del hormigón a la deformación, en relación a esto se puede deducir que el hormigón no tiene un módulo de elasticidad definido sino que este va a depender de varios parámetros como son la resistencia a la compresión, la edad que tenga el hormigón al momento del ensayo, y la calidad y cantidad de los componentes básicos de la mezcla fabricada.

Por su naturaleza el hormigón no se considera un material totalmente elástico, sin embargo, para poder medir el módulo de elasticidad se prepara probetas iguales a las de la resistencia a compresión, cuando estas hayan alcanzado su etapa de endurecimiento y son sometidas a sollicitaciones de carga axial moderada, estos presentan una curva de relación entre el esfuerzo de compresión y su deformación. Esta curva es similar para todos los hormigones y se dibuja de la siguiente manera:

1. El primer rango de comportamiento se considera relativamente lineal, es decir es lo más similar a una línea recta, y esta abarca el rango elástico del hormigón es decir cuando una vez que se deja de aplicar la carga este recupera su geometría inicial antes de aplicarse la carga.
2. El segundo tramo de igual manera se genera dentro del rango elástico, solo que se produce ante la presencia incremental de sollicitaciones de compresión, sin embargo se debe tomar en cuenta que estas cargas resultan ser

relativamente bajas aproximadamente son menores al 70% del valor de la carga de ruptura.

3. Finalmente se produce un tercer tramo, el cual se considera como el segundo rango de la curva el cual es inelástico, su comportamiento es no lineal, y se dibuja en forma de curva, este se produce cuando las cargas de deformación son altas.



**Figura 2.5.** Rango elástico (tramo 1) e inelástico (tramo 2) de hormigones de diferentes resistencias.

Fuente: (Proaño, 2008)

El Código ACI 318-19 en su sección 19.2.2.1 define dos ecuaciones con las cuales se puede realizar el cálculo del módulo de elasticidad de manera teórica, las cuales se presentan a continuación:

- Para hormigones que tengan un peso específico entre 1440 y 2560 Kg/m<sup>3</sup> se aplicará la siguiente ecuación:

$$E_c = w_c^{15} * 0.14\sqrt{f'c} \rightarrow [Kgf/cm^2]$$

**Ecuación 2.5.** Ecuación para el cálculo de módulo de elasticidad para hormigones con un peso específico entre 1440 y 2480 Kg/m<sup>3</sup>

Fuente: (American Concrete Institute, 2019)

Donde:

w<sub>c</sub>: Peso específico del hormigón en kilogramos por metro cúbico.

f'c: Resistencia a la compresión especificada a los 28 días Kg/cm<sup>2</sup>.

- Para hormigones de peso normal, el Código ACI 318-19 establece la siguiente expresión, la cual es una versión simplificada de la anterior y es la adoptada por el Código Ecuatoriano de la Construcción. La misma es obtenida de forma experimental, y se usa para un cálculo aproximado del módulo de elasticidad en función a la resistencia a la compresión del hormigón.

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \rightarrow [Kgf/cm^2]$$

**Ecuación 2.6.** Ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad de hormigones de peso normal.

Fuente: (American Concrete Institute, 2019)

### **2.3 Método ACI 211.1 modificado, para diseño de mezclas de hormigón**

El método teórico que se determine para el proporcionamiento de los diferentes componentes de la mezcla de hormigón, debe garantizar que las cantidades de estos sean las que cumplan con las características definidas, es decir que al usar cierto tipo de materiales se realice una correcta determinación de las cantidades a usarse, puesto que un hormigón cuando ha sido proporcionado de manera adecuada presenta las siguientes cualidades: trabajabilidad, durabilidad y economía. (Portland Cement Association PCA, 2004)

El método seleccionado es el del ACI 211.1 modificado, el cual es apto para proporcionar los componentes de un hormigón de peso normal. El mismo está constituido por nueve pasos que serán descritos a continuación:

## 1. Selección del revenimiento (asentamiento).

Se determina el asentamiento que se desea obtener con la mezcla de hormigón, si este no es especificado se puede tomar de acuerdo al uso que se vaya a dar al hormigón los siguientes valores referenciales siempre que el método de compactación sea mediante el uso de una vibradora:

*Tabla 2.1 Revenimiento recomendado para varios tipos de construcción*

Fuente: (American Concrete Institute, 2004)

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	REVENIMIENTOS (MM)	
	Máximo *	Mínimo
<b>CIMENTACIÓN: MUROS Y ZAPATAS CON REFUERZO</b>	75	25
<b>CIMENTACIÓN: MUROS Y ZAPATAS SIN REFUERZO</b>	75	25
<b>VIGAS Y MUROS REFORZADOS</b>	100	25
<b>COLUMNAS DE EDIFICIOS</b>	100	25
<b>PAVIMENTOS Y LOSAS</b>	75	25
<b>HORMIGÓN EN MASA</b>	75	25

\* Se puede incrementar en 25 mm para métodos de compactación diferentes al vibrado.

\* El revenimiento puede variar cuando se hace uso de aditivos.

## 2. Elección del tamaño máximo del agregado

La elección de los agregados tienen influencia en el proporcionamiento de la mezcla en especial existen dos características que son importantes pues afectan la trabajabilidad del hormigón: Granulometría y naturaleza de las partículas.

Por lo tanto el tamaño máximo del agregado grueso no debe exceder:

- Un quinto de la menor dimensión entre los lados del encofrado, es decir un quinto de la menor dimensión estructural.
- Tres cuartos la mínima distancia libre o separación mínima entre varillas individuales o paquetes de varillas.
- Tres cuartos del espacio libre entre el refuerzo y el encofrado.
- Un tercio del espesor de la losa que se encuentre en el terreno sin refuerzo.

Se recomienda por normativa que el tamaño máximo nominal del agregado debe estar en el rango de 9.5 mm a 25 mm (3/8 a 1 pulgada).

### **3. Estimación de la cantidad de agua neta y el contenido de aire.**

La cantidad de agua neta por cada unidad de volumen de hormigón se puede determinar a partir del revenimiento establecido para la dosificación de la mezcla, y el valor a determinarse depende de los siguientes parámetros: Tamaño máximo nominal del agregado, temperatura de la mezcla, el uso de un aditivo pues si estos son usados en volúmenes grandes se debe considerar como parte del agua de la mezcla y el contenido de aire incluido atrapado en la mezcla. A continuación se muestra una tabla con valores referenciales establecidos por el código ACI que sirven bastante bien para una primera estimación. (Lucas, 2006)

Cuando se diseña hormigones con aire incluido de manera artificial como es el caso de este trabajo se debe especificar que la cantidad de agua neta se ve afectada por el tipo de exposición a la que va a estar el hormigón, cuando no se tiene los datos necesarios se puede tomar los valores de la “exposición media”.

**Tabla 2.2.** Requerimientos de agua de mezclado y aire incluido para diferentes revenimientos y tamaño máximo de agregado

Fuente: (American Concrete Institute, 2004)

Agua, Kg/m <sup>3</sup> de hormigón según el tamaño máximo del agregado								
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
	(3/8")	(1/2")	(3/4")	(1")	(1 ½")	(2")	(3")	(6")
<b>Revenimiento</b>								
<b>Hormigón sin aire incluido</b>								
<b>Revenimiento</b> (mm)								
<b>25 a 50</b>	207	199	190	179	166	154	130	113
<b>75 a 100</b>	228	216	205	193	181	169	145	124
<b>150 a 175</b>	243	228	216	202	190	178	160	-
<b>Cantidad de aire</b>								
<b>aproximada en</b> <b>hormigón sin aire</b> <b>incluido (%)</b>	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Hormigón con aire incluido</b>								
<b>25 a 50</b>	181	175	168	160	150	142	122	107
<b>75 a 100</b>	202	193	184	175	165	157	133	119
<b>150 a 175</b>	216	205	197	184	174	166	154	-
<b>Contenido promedio de aire en porcentaje según el nivel de exposición</b>								
<b>Exposición suave</b>	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
<b>Exposición moderada</b>	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
<b>Exposición severa</b>	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

#### 4. Determinación de la relación agua/cemento.

La relación agua/cemento no es más que la relación entre las masas de agua y el componente cementante a usarse en la mezcla. El determinar este valor es muy importante porque es la base para la resistencia del hormigón y sirve como parámetro fundamental de la durabilidad del mismo.

Se toma como valores recomendados los establecidos en la siguiente tabla del código ACI, los valores que no se encuentren dentro de estos deberán ser interpolados.

*Tabla 2.3. Dependencia de la relación agua - material cementante y la resistencia a la compresión del hormigón*

Fuente: (Portland Cement Association PCA, 2004)

Resistencia a Compresión a los 28 días Kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
<b>450 (45)</b>	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
<b>400 (40)</b>	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
<b>350 (35)</b>	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
<b>300 (30)</b>	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
<b>250 (25)</b>	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
<b>200 (20)</b>	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
<b>150 (15)</b>	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia está basada en cilindros ensayados a los 28 días, de acuerdo con la norma ASTM C31 (AASHTO T23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm. Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

## 5. Determinación de la resistencia de diseño para la mezcla.

El Ing. Lauro Lara docente de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en base a su trayectoria como profesional y su larga experiencia en el tema de hormigones, determinó un valor de resistencia de diseño la cual está en función a la resistencia requerida o esperada y afectada por un factor de seguridad, este valor puede determinarse entre el 3 y 12 % de acuerdo a las condiciones del material, el lugar donde se realizará la dosificación.

De acuerdo a estos parámetros se determinó la siguiente expresión para el cálculo de la resistencia de diseño de la mezcla, la cual será mayor que la requerida.

$$f'c_{diseño} = f'c_{requerida} * \left(1 + \frac{\% \text{ factor de seguridad}}{100}\right) \rightarrow [Kg/cm^2]$$

*Ecuación 2.7. Cálculo de la resistencia de diseño para la mezcla de hormigón*

Fuente: (Lara, 2022)

## 6. Cálculo de la cantidad de cemento.

Para determinar la cantidad de cemento que se usará en la mezcla por unidad de volumen del hormigón se tomará en cuenta los valores calculados para la relación agua/cemento y la cantidad de agua neta. Puesto que de la relación agua/cemento se puede despejar la cantidad de cemento.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua neta } [Kg/m^3]}{\text{Relación A/C}} \rightarrow [Kg/m^3]$$

*Ecuación 2.8. Ecuación para determinar la cantidad de cemento para la mezcla de hormigón*

Fuente: (Lara, 2022)

## 7. Estimación del agregado fino y grueso.

En primera estancia como es una dosificación al volumen por metro cúbico de hormigón fresco y si se desea realizar un cálculo exacto del peso, se determina el peso unitario del hormigón mediante el uso de la siguiente fórmula. Se debe tomar en cuenta que para su aplicación se necesita datos previos sobre ciertas características de los

componentes como son: la gravedad específica de los agregados y el cemento, contenido de aire, cantidad de agua y cemento para la mezcla.

$$U_M = 10 * G_a(100 - A) + C_M \left(1 + \frac{G_a}{G_c}\right) - W_M(G_a - 1) \rightarrow [Kg/m^3]$$

**Ecuación 2.9.** Ecuación para el cálculo del peso unitario del hormigón

Fuente: (Portland Cement Association PCA, 2004)

Donde:

$U_M$ : Masa unitaria del hormigón fresco

$G_a$ : Gravedad específica del agregado fino y grueso combinados

$G_c$ : Gravedad específica del cemento

$A$ : Contenido de aire (%)

$W_M$ : Agua neta requerida

$C_M$ : Cemento requerido

Una vez conocido el peso del hormigón por unidad de volumen se procede al cálculo de la cantidad de los agregados en estado con superficie seca saturada, que es nada más que la diferencia en peso total del hormigón menos sus componentes.

$$Agregados_{SSS} = U_M - W_M - C_M \rightarrow [Kg/m^3]$$

**Ecuación 2.10.** Cálculo de la cantidad de agregados en la mezcla en estado superficie seca saturada

Fuente: (Lara, 2022)

Donde:

$U_M$ : Masa unitaria del hormigón fresco

$W_M$ : Agua neta requerida

$C_M$ : Cemento requerido

Para poder determinar el peso de cada agregado se debe determinar el porcentaje de participación de cada uno (la suma de los dos porcentajes debe ser el cien por ciento del peso de los agregados SSS), este parámetro a menudo es conocido de una manera razonable y coherente de acuerdo a experiencias anteriores con los materiales a usarse en la mezcla.

$$\text{Agregado fino}_{SSS} = \text{Agregados}_{SSS} * \frac{\% \text{ Agregado fino}}{100} \rightarrow [Kg/m^3]$$

$$\text{Agregado grueso}_{SSS} = \text{Agregados}_{SSS} * \frac{\% \text{ Agregado grueso}}{100} \rightarrow [Kg/m^3]$$

**Ecuación 2.11.** Expresión para el cálculo de la cantidad de agregado fino y grueso SSS respectivamente

Fuente: (Lara, 2022)

Es importante tomar en cuenta que las cantidades de agregados se va a pesar para realizar las mezcla de hormigón están en estado natural por lo que se debe hacer un ajuste en el peso de los mismos por humedad, es decir por lo general cuando están en estado natural los agregados suelen ser más húmedos, y el peso en seco calculado se verá afectado por el porcentaje de absorción que presente cada uno. Este parámetro tiene igual como efecto una reducción del agua de mezcla a usarse puesto que los agregados van a portar humedad superficial a la mezcla.

Para ello se determina la humedad natural del material y su porcentaje de absorción, y se realiza el respectivo ajuste por humedad en el peso del agregado.

$$\text{Peso del agregado}_{seco} = \frac{\text{Peso del agregado}_{SSS}}{1 + \frac{\% \text{ absorción}}{100}} \rightarrow [Kg/m^3]$$

**Ecuación 2.12.** Cálculo del peso en seco de los agregados.

Fuente: (Portland Cement Association PCA, 2004)

$$\text{Peso del agregado}_{natural} = \text{Peso del agregado}_{seco} * \left(1 + \frac{\% \text{ humedad}}{100}\right)$$

**Ecuación 2.13.** Cálculo del peso natural de los agregados.

Fuente: (Portland Cement Association PCA, 2004)

## 8. Determinación del agua de mezcla.

De acuerdo al paso anterior se realiza un ajuste en el peso de los agregados por metro cúbico de hormigón fresco debido a la humedad que presentan, por lo tanto este cambio directo que afecta uno de los componentes el hormigón como es el agua requerida para efectuar la mezcla de hormigón.

El nuevo valor de agua de mezcla se lo realiza de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Agua}_{mezcla} = & \text{Agua}_{neta} + \left( \text{Peso seco}_{fino} * \frac{\% \text{ absorción} - \% \text{ humedad}}{100} \right) \\ & + \left( \text{Peso seco}_{grueso} * \frac{\% \text{ absorción} - \% \text{ humedad}}{100} \right) \end{aligned}$$

*Ecuación 2.14. Cálculo del agua de mezcla para la fabricación del hormigón.*

Fuente: (Lara, 2022)

## 9. Ajustes de la mezcla.

Con los valores obtenidos de cemento, agregados en estado natural y agua se procede a la realizar la mezcla para elaborar el hormigón con las características definidas. Si se necesita el uso de algún tipo de aditivo la determinación de la cantidad del mismo se deberá en función a las características propias del aditivo y tomando en cuenta si su dosificación se la debe realizar por volumen o peso para poder integrarlo en la mezcla.

Las proporciones de cada material calculadas para la mezcla se deben comprobar que cumplan con las especificaciones de la misma de acuerdo a la humedad, porcentaje de absorción y gravedad específica por medio de ensayos de prueba preparados y realizados de acuerdo con la norma ASTM C192, y tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Solamente debe usarse la cantidad necesaria de agua calculada sin importar si la mezcla no presenta una trabajabilidad esperada.
- Se debe comprobar el revenimiento utilizado para el diseño de la mezcla de acuerdo a la norma ASTM C143, el peso unitario y el volumen del hormigón de acuerdo a la norma ASTM C 138 y el contenido de aire de

acuerdo a las normas ASTM C138, C173, o C231, la que aplique de acuerdo al tipo de ensayo a realizarse. (Lucas, 2006)

Al terminar de realizar la mezcla se debe realizar las comprobaciones mencionadas del hormigón en estado fresco, registrar los valores obtenidos para verificar si cumplen con los establecidos para el diseño de la mezcla. Igualmente, si se observa que el hormigón no presenta una trabajabilidad apropiada, o excesiva segregación, se procede hacer los ajustes necesarios en las cantidades de los materiales para las siguientes mezclas que puedan cumplir con los requisitos de diseño de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Se calcula un factor de corrección de la siguiente manera:

$$factor_{corrección} = \frac{\sum \text{Materiales usados en la mezcla}}{\text{Peso unitario del hormigón obtenido de la mezcla}}$$

**Ecuación 2.15.** Factor de corrección de la mezcla de hormigón

Fuente: (Lara, 2022)

2. Si el revenimiento de la mezcla de prueba no es el correcto, se deberá aumentar o disminuir la cantidad de agua neta estimada de la siguiente manera:

$$Agua_{neta} = \frac{Agua_{neta_{estimada}}}{factor_{corrección}} + 2 * (asent_{deseado} - asent_{obtenido})$$

**Ecuación 2.16.** Reestimación del agua neta de la mezcla

Fuente: (Lara, 2022)

3. Como la dosificación está basada en el peso unitario por metro cúbico de hormigón fresco, los nuevos valores de las proporciones de la mezcla tanto del cemento, como de los agregados y el agua de mezcla serán calculados de acuerdo a los pasos 6,7 y 8 del método, modificando le peso unitario del hormigón obtenido por el estimado.
4. Se realiza las reestimaciones necesarias hasta obtener un asentamiento aceptable y razonable de acuerdo a la norma ASTM C192, un peso unitario del hormigón deseado y una trabajabilidad apropiada.

## **2.4 Ensayos.**

En este capítulo se realizará una descripción sintetizada de los métodos que comprenden el alcance de este trabajo. Uno de ellos se lo realiza en el hormigón en estado fresco y tiene como finalidad el determinar el contenido de aire del hormigón pues al implementar un aditivo inclusor de aire como componente de la mezcla este valor es importante para determinar ciertas características del hormigón.

Los otros ensayos serán para cuando el hormigón este en estado endurecido, siendo el objetivo determinar sus propiedades fundamentalmente cuál será su resistencia a la compresión con la intervención del aditivo inclusor de aire.

Los métodos de ensayo utilizados para poder determinar las propiedades físicas mecánicas del hormigón con aire incluido se los realizó de acuerdo a la normativa INEN que hacen referencia a las normas ASTM, las mismas que se encuentran actualizadas para un correcto desarrollo de este trabajo.

### *2.4.1 Ensayo de contenido de aire por el método volumétrico*

Si se desea obtener un hormigón con ciertas características deseadas como son la trabajabilidad y durabilidad, la medición del contenido de aire incluido en el hormigón fresco es importante.

El método volumétrico se lo realiza de acuerdo a la norma ASTM C173 (Método de prueba estándar para Contenido de aire en el hormigón recién mezclado por el método volumétrico). Este ensayo es aplicado para el hormigón que contiene cualquier tipo de agregado y su principio fundamental radica en la determinación directa del aire por desplazamiento en agua.

Este ensayo mide el aire contenido en la porción de hormigón tomada de acuerdo al procedimiento establecido, pero no se afecta por el aire que puede estar presente en el interior de las partículas de los agregados porosos. (ASTM, 2016)

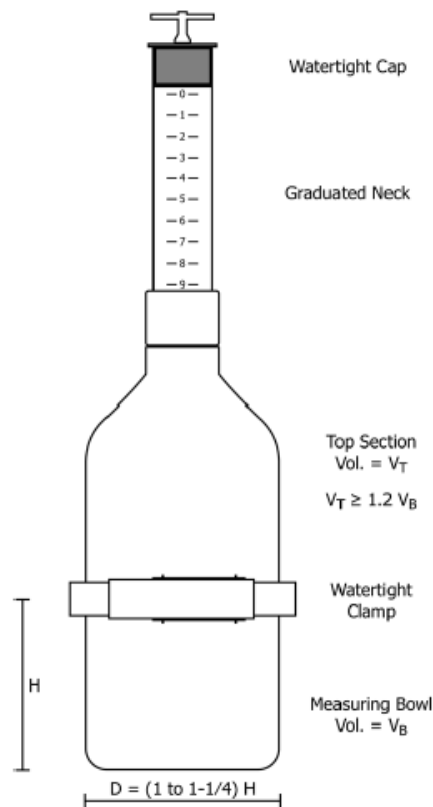
El método de prueba se lo realiza mediante la adición de alcohol isopropílico en la cantidad necesaria hasta llegar al medidor que inicialmente se llenó con agua. Posteriormente se realiza una primera o varias rodaduras hasta que en el cuello de la

sección superior del medidor se acumule poca o ninguna espuma. Si existe la presencia de espuma esta no deberá ser mayor al 2% de aire por encima del nivel de agua, caso contrario la prueba no es válida y deberá repetirse con una mayor cantidad de alcohol hasta obtener los resultados que sean razonables para ser aceptados. No es correcto adicionar más alcohol del que ya fue incorporado después del llenado inicial, es decir no se puede agregar alcohol entre rodaduras para disipar la cantidad la espuma que se va generando. (ASTM, 2016)

Es importante mencionar que la cantidad de hormigón fresco utilizado en la prueba debe ser desechada y no podrá usarse en ninguna otra prueba.

- **Equipos y aparatos**

1. Medidor de aire.- El medidor de aire consta de una cubeta o tazón de medición y una sección superior, se debe tomar en cuenta que cuando se fije la sección superior al tazón de medición se debe ajustar con un sello hermético.



**Figura 2.6.** Aparato para medir el contenido de aire del hormigón fresco por el método volumétrico

Fuente: (ASTM, 2016)

- a. Tazón de medición: deberá tener un diámetro igual a 1 o 1.25 veces la altura y su capacidad no será menor a 2.0 litros.
  - b. Sección superior: tendrá una capacidad de al menos un 20% que de la del recipiente de medición, aparte vendrá equipada con una escala transparente con mediciones no mayores a 0.5% que va desde el 0 al 9% como mínimo, con una precisión del 60.1% del volumen del recipiente de medición. En su extremo superior contará con un sello hermético que evitara la fuga del agua y el alcohol cuando se realice la prueba con el medidor al momento de invertirlo o rodarlo.
2. Embudo.- este embudo constará con un pico de tamaño suficiente para poder introducirlo en el cuello de la sección superior del medidor.
  3. Varilla de compactación.- la varilla deberá ser redonda, lisa y recta de material como el acero, polietileno u otro plástico de alta densidad o de mayor abrasión, de diámetro de 16 mm y una longitud mínima de 100 mm con un extremo redondeado.
  4. Barra alisadora.- la barra debe ser plana y recta de dimensiones 300 x 20 x 3 mm, de acero, polietileno u otro plástico de alta densidad o mayor abrasión.
  5. Vaso calibrado.- puede ser de metal o plástico con una capacidad de 0.04% del volumen del tazón de medición y con gradaciones del 1%. Sirve para añadir únicamente agua cuando el contenido de aire del hormigón supere el 9% o el rango de calibración.
  6. Recipiente de medición para el alcohol isopropílico.- este recipiente deberá tener una capacidad mínima de 500 ml con gradaciones no mayores a 100 ml.
  7. Jeringa de goma.- jeringa de goma con capacidad de 50 ml.
  8. Recipiente para verter agua.- el recipiente debe tener una capacidad aproximada de 1 litro.
  9. Pala.- una pala con el tamaño necesario como para tomar la muestra de hormigón fresco e introducirla en el recipiente de medición.

10. Alcohol isopropílico.- el alcohol isopropílico al 70% en volumen y en 65% aproximadamente en peso, el cual cumple con la función de agente dispersor de espuma.
11. Mazo de goma.- deberá tener una cabeza de goma o cuero crudo con una masa aproximada entre 200 a 600 gramos.

- **Procedimiento**

1. Enfriamiento y golpeo.- se debe humedecer el recipiente de medición evitando un exceso de agua, con la pala se coloca una primera capa de hormigón hasta la mitad del molde con el extremo redondeado de la varilla se procede a realizar 25 golpes de manera uniforme atravesando toda la capa sin golpear el fondo del recipiente, a continuación se debe dar entre 10 a 15 golpes con el mazo alrededor de todo el molde para cerrar los huecos dejados por la varilla en el proceso de compactación y así se logra liberar las burbujas grandes de aire que pueden quedar atrapadas.

Este proceso se repite con la segunda capa, al finalizar los golpes de la segunda capa se acepta por norma un exceso de hormigón más o menos de 3 mm, si hiciera falta se puede agregar la cantidad necesaria hasta llenar el molde de medición.

2. Eliminación de la capa.- Una vez terminado el proceso de compactación del hormigón se procede a eliminar el exceso con la barra alisadora, dejando el hormigón a ras del recipiente. Se debe limpiar los bordes del molde para poder garantizar el cierre hermético con la sección superior del aparato de medición.
3. Adición de agua y alcohol.- se humedece de igual manera el interior de la sección superior incluyendo la junta donde se une con el molde medidor, se procede a ajustar las dos partes del aparato. A continuación con la ayuda del embudo se llena al menos 0.5 litros de agua, y se completa con la cantidad de alcohol isopropílico seleccionada.

Se debe registrar la lectura de alcohol que se tiene en el tubo medidor y la cantidad de espuma que se genera por encima de la columna de agua.

4. Desplazamiento del volumen de aire de la muestra de hormigón.-
- a. Liberar el hormigón del recipiente de medición: Se invierte de manera rápida el medidor hasta la posición horizontal se lo agita y se lo vuelve a colocar de manera vertical, este proceso no debe durar más de 5 segundos para evitar que los agregados bajen y se almacenen en el cuello de la sección superior. Se repite este proceso durante 45 segundos hasta que el hormigón se haya liberado es decir que se escuche el movimiento de los agregados durante el proceso. Si durante este proceso se observa fuga de los líquidos se debe dar por inválida la prueba y repetir nuevamente.
  - b. Rodamiento: Se coloca el aparato de medición sobre una franela, una mano sostiene el cuello del recipiente y la otra esta sobre la brida de unión de las dos partes del mismo. Se gira  $45^\circ$  el recipiente y con la mano de la brida se procede hacer un giro entre  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{1}{4}$  de vuelta hacia delante y hacia atrás, después se gira todo el aparato un tercio y se repite el rodamiento, este proceso tiene la duración de 1 minuto y se debe oír el movimiento del agregado. Si durante este proceso se observa fuga de los líquidos se debe dar por inválida la prueba y repetir nuevamente.
  - c. Medición: Se coloca el aparato en forma vertical y se afloja el sello hermético superior para estabilizar la presión, de esta manera el aire ascenderá y el líquido igualmente se estabilizará, esto sucede cuando no cambia más del 0.25% de aire en un período de 2 minutos. Si después de transcurridos 6 minutos no existe la estabilización del líquido o si la cantidad de espuma es igual a 2 divisiones completas en la escala del tubo medidor del líquido el ensayo se considera inválido y se debe iniciar nuevamente con una mayor cantidad de alcohol. Sin embargo si el nivel se estabiliza dentro de los 2 minutos y no se ha generado excesiva espuma se procede a registrar la medición que se marca en el fondo del menisco con una precisión aproximada del 0.25%. Se debe considerar que si el contenido de aire es mayor al rango del 9% del volumen del medidor, se debe añadir la cantidad de

recipientes de agua calibrados para que el nivel del líquido este dentro del rango graduado. Se debe registrar el número de vasos de agua que se añadieron para la lectura final.

- d. Confirmación de la lectura: Si la medición cumple con lo especificado se procede a cerrar nuevamente el sello hermético superior del cuello y se repite el proceso de rodaje durante 1 minuto de igual manera y se espera que el líquido se estabilice y si cumple con los requisitos de medición y esta no varía más de 0.25% con la lectura anterior se toma esta como lectura final del ensayo. Caso contrario si presenta una variación de más de 0.25% con la primera se toma esta lectura como inicial y se repite otra vez el proceso si no cambia la tercera medición en 0.25% con la segunda se acepta esta como la lectura final pero si registra la variación más del 0.25% el ensayo no se considera aceptable y se deberá iniciar todo nuevamente.
- e. Desmontaje: Se procede sobre un recipiente separar las partes del aparato de medidor con mucho cuidado dejando que el líquido salga despacio hasta que el cuello de la sección superior se haya vaciado, se procede al desecho del material utilizado para el ensayo y al lavado respectivo del aparato de medición.

- **Cálculo**

Se debe tomar en cuenta que la cantidad de alcohol que sea utilizado para el llenado no debe exceder en 1.25 litros, caso contrario se debe usar un factor de corrección de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 2.4.** Corrección del efecto del alcohol isopropílico en la lectura del medidor de aire C173/C173M

Fuente: (ASTM, 2016)

Alcohol isopropílico al 70% usado			
Pintas	Fluido		Factor de corrección (%)
	Onzas	Litros	
≤2.0	≤32	≤1.0	0.0
3.0	48	1.25	0.25
4.0	64	2.0	0.50
5.0	80	2.5	0.75

El contenido de aire del hormigón en el recipiente de medición se lo realiza de acuerdo a la siguiente expresión, se debe registrar el valor con una precisión de 0.25%.

$$A = A_R - C + W$$

**Ecuación 2.17.** Ecuación para el cálculo del contenido de aire en el hormigón fresco

Fuente: (ASTM, 2016)

Donde:

A: Contenido de aire en el hormigón (%)

A<sub>R</sub>: Lectura final del ensayo (%)

C: Factor de corrección de la tabla 4 (%)

W: Número de vasos calibrados de agua añadidos.

#### 2.4.2 Ensayo a la compresión

Este es uno de los ensayos más importantes del hormigón endurecido porque su objetivo como indica su nombre es determinar la resistencia del hormigón fabricado a la compresión, se lo realiza de acuerdo a la norma ASTM C39. Para ello se utiliza probetas

cilíndricas donde la altura es el doble del diámetro de la base, generalmente son de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

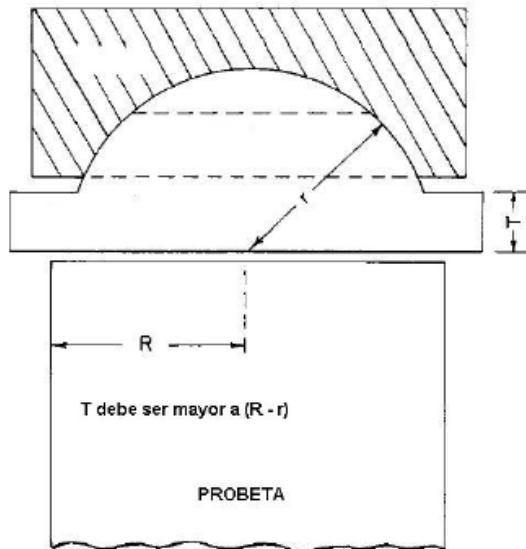
Las probetas deben haber sido tomadas y con un proceso de curado de acuerdo a la norma ASTM C31 y deben permanecer mojadas hasta el momento en que se vaya a realizar el ensayo.

- **Equipos**

1. Prensa de ensayo
2. Flexómetro
3. Balanza digital de al menos 25 kg de capacidad.

- **Procedimiento**

1. Se debe preparar las probetas antes de someterlas al ensayo, para ello se toma las siguientes medidas: dos diámetros perpendiculares entre sí (D1, D2) aproximadamente a media altura; y tres alturas de la probeta en direcciones opuestas (h1, h2 y h3), aproximando a 1mm cada una.
2. Determinar el peso del cilindro en la balanza digital, con una aproximación de 50 gramos, esto permitirá obtener el peso volumétrico del concreto.
3. En la prensa deben estar limpias las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta, posteriormente colocar la probeta en la máquina de ensayo de manera alineada y centrada.
4. Se debe colocar la placa superior de la máquina y asentarla sobre la probeta de modo de obtener un apoyo lo más uniforme posible y se debe asegurar con una canasta para evitar que los trozos de hormigón salgan volando.



**Figura 2.7.** Detalle del plato superior y la probeta

Fuente: (Lucas, 2006)

5. A continuación se procede con la aplicación de la carga axial en forma continua y sin choques de velocidad, es decir de manera uniforme cumpliendo las siguientes condiciones:
  - a. La rotura se debe dar en un tiempo igual o superior a 100 segundos.
  - b. La velocidad con la que se aplica la carga no debe superar los 3,5 kg/cm<sup>2</sup> por segundo.
6. Una vez que la carga permanece constante y se haya producido la rotura del cilindro se procede a registrar la carga máxima (P) expresada en kN.

- **Cálculo**

La resistencia de la probeta ensayada se la obtiene mediante la siguiente expresión, es importante tomar en cuenta las unidades en las que se está trabajando.

$$f'_c = \frac{P}{A} \rightarrow [Kg/cm^2]$$

**Ecuación 2.18.** Ecuación para el cálculo de la resistencia a la compresión del hormigón.

Fuente: (Lucas, 2006)

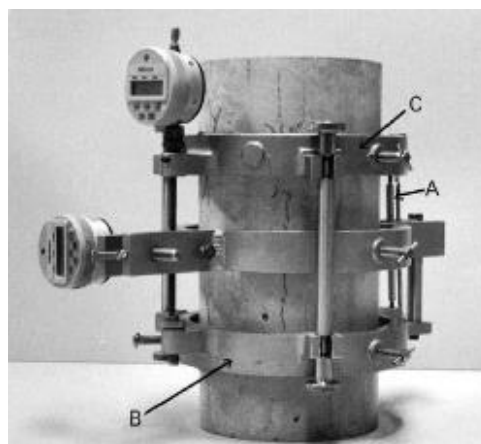
### 2.4.3 Ensayo a la compresión por módulo de elasticidad

Este ensayo del hormigón endurecido permite obtener un valor de la relación entre la carga axial y la deformación unitaria del hormigón, consiste en someter a esfuerzos de compresión a tres cilindros. Los valores de módulo de elasticidad, son aplicables dentro del rango de tensiones de trabajo entre el 0 y 40% de la resistencia última del hormigón, y sirven para poder hacer un dimensionamiento de los elementos de hormigón armado, por medio del cálculo de las deformaciones producidas por la acción de la carga aplicada.

Estos valores de módulo de elasticidad obtenidos mediante este ensayo a la compresión serán menores que los obtenidos por la aplicación de cargas rápida y mayores que los de carga lenta, puesto que cada ensayo tiene sus propias condiciones de prueba.

- **Equipos**

1. Prensa de ensayo
2. Compresómetro.- es un dispositivo que se adhiere a la probeta de hormigón como la que se muestra en la figura. Consta de tres partes importantes que sirven para la medición de las deformaciones durante el ensayo. Los puntos B y C muestran pernos que se sujetan al cilindro de hormigón en puntos medidos previamente, en medio de estos puntos existe una barra de pivote (punto A de la figura) la misma que mantiene la distancia constante entre los pernos del aparato.



**Figura 2.8.** Colocación del Compresómetro de manera adecuada para el ensayo.

Fuente: (ASTM, 2016)

3. Flexómetro
4. Balanza digital con una capacidad mínima de 25 Kg.

- **Procedimiento**

1. Determinar el peso del cilindro en la balanza digital, con una aproximación de 50 gramos, esto permitirá obtener el peso volumétrico del concreto.
2. Se debe preparar las probetas de hormigón antes de someterlas al ensayo, para ello se toma las siguientes medidas: dos diámetros perpendiculares entre sí (D1, D2) aproximadamente a media altura; y tres alturas de la probeta en direcciones opuestas (h1, h2 y h3), aproximando a 1mm cada una, se calcula la altura promedio de las 3 alturas a la cual se debe restar la altura del módulo de compresión, diferencia será dividida al 50% hacia la parte superior e inferior, marcando estos puntos.
3. Se coloca el Compresómetro sobre la probeta de hormigón colocando los pernos de sujeción sobre los puntos marcados anteriormente, quedando los pernos ortogonales diametralmente dispuestos para sujetar al cilindro de manera completa. Para verificar que el Compresómetro este bien colocado se toma el punto medio del cilindro de su cara superior, desde ese punto se mide las distancia correspondientes a las barras de pivote a cada lado respectivamente, estas distancias no pueden variar en  $\pm 4$  mm una de la otra para considerar aceptable la colocación del módulo de compresión, caso contrario se debe hacer una nueva colocación.
4. Se procede a colocar al cilindro en la prensa de ensayo con mucho cuidado, se prohíbe agarrar del módulo de compresión para el transporte de la probeta pues eso causa daños al Compresómetro. Se alinea el eje de la probeta con la placa superior de la prensa. Verificar que el contador del módulo de compresión este en cero.
5. Se aplica la carga de forma continua y una velocidad constante aproximada de 1 mm/minuto en máquinas que funcionan al vacío, en máquinas hidráulicas en un rango de 50 a 250 kPa/segundo. Se debe someter a la probeta hasta que

la carga sea el 40% de la carga de rotura a la resistencia a la compresión y se determina la deformación al 40% por medio de interpolación.

- **Cálculo**

El módulo de elasticidad se conoce como a la pendiente de la curva esfuerzo vs deformación del rango elástico en el tramo lineal del hormigón y mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \rightarrow MPa$$

*Ecuación 2.19. Ecuación para el cálculo de módulo de elasticidad*

Fuente: (ASTM, 2016)

Donde:

E: Módulo de elasticidad

S<sub>2</sub>: Esfuerzo correspondiente al 40% de f 'c

S<sub>1</sub>: Esfuerzo correspondiente a una deformación igual a 0.00005

ε<sub>2</sub>: Deformación para un esfuerzo correspondiente al 40% de f 'c

También se puede realizar el cálculo del módulo de elasticidad mediante el uso de la siguiente ecuación 5 de este trabajo.

$$E = 15100\sqrt{f'c} \rightarrow [Kg/cm^2]$$

#### 2.4.4 Ensayo a la flexotracción

Esta prueba se lo realiza de acuerdo a la norma ASTM C78 y tiene como objetivo determinar la resistencia a la tensión por flexión. Las probetas que sirven para el ensayo con de concreto simple en forma de vigas, el tamaño varían de acuerdo al tamaño del agregado.

Las dimensiones a emplear son:

Para árido de 25 mm\_\_\_\_\_ 10 x 10 x 50 cm

Para árido de 38 mm\_\_\_\_\_ 15 x 15 x 75 cm

Para árido de 50 mm\_\_\_\_\_ 20 x 20 x 100 cm

El Ensayo de Flexotracción proporciona como resultado el módulo de rotura, el mismo que representa el esfuerzo en la fibra de hormigón más alejada del eje neutro, para poder realizar los cálculos se toma en cuenta la suposición de que el hormigón es un material elástico, ya que los esfuerzos a los que está siendo sometido son de flexión estos se producen en la fibra exterior y tiende a ser de mayor resistencia que la del hormigón cuando es sometido a la tracción con una carga axial uniforme.

Este ensayo es muy común cuando se necesita hacer un control de calidad en el hormigón que se va a utilizar para pavimentos rígidos.

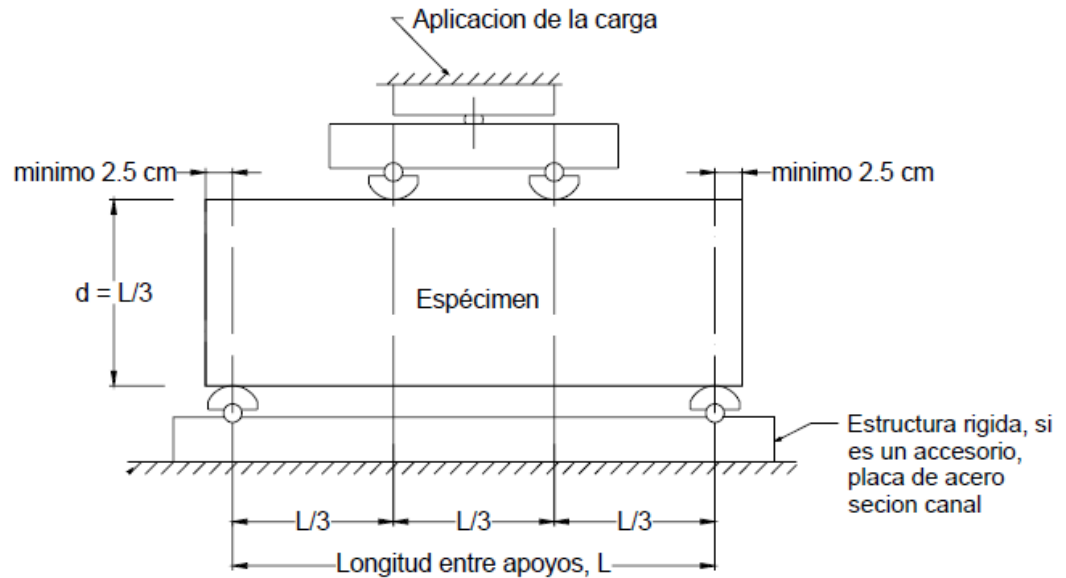
- **Equipo**

1. Prensa de ensayo
2. Dispositivo de tensión por flexión con piezas de apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga.
3. Regla rectificadora de una longitud mínima de 500 mm.

- **Procedimiento**

1. Se debe preparar las probetas de hormigón antes de realizar el ensayo con la medición de la longitud, ancho y altura de la viga.
2. Determinar el peso de la viga en la balanza digital, con una aproximación de 50 gramos, esto permitirá obtener el peso volumétrico del concreto.
3. A continuación se procede a marcar la longitud de los payos de la prensa de ensayo, para ello se resta de la longitud total la longitud del apoyo la diferencia se divide 50% a cada extremo. La longitud entre apoyos se deberá dividir en

tres partes. Con líneas rectas, e indelebles se marcan sobre los puntos marcados anteriormente, ya que servirán para colocar y alinear la probeta en la máquina de ensayo.



**Figura 2.9.** Método de ensayo de flexotracción con carga aplicada a los tercios

Fuente: (Lucas, 2006)

4. Las superficies de contacto de la probeta y máquina de ensayo se deben encontrar totalmente limpias. Posteriormente se coloca la probeta alineada y centrada.
5. A continuación, se aplica la carga en forma continua y con una velocidad uniforme cumpliendo las siguientes condiciones:
  - a. El tiempo en que se produzca la rotura será igual o superior a 300 segundos.
  - b. La velocidad de aplicación de carga no mayor a  $0.16 \text{ kg/cm}^2$  por segundo.
6. Finalmente se registra la carga máxima y el ancho con la altura promedio de la probeta en la zona donde se generó la ruptura, con aproximación de 1 mm.

- **Cálculo**

Para poder realizar los cálculos respectivos, estos dependen de un factor importante que es la zona de ruptura, pues si la fractura se produce en el tercio medio de la longitud entre apoyos del ensayo la resistencia a la tensión por flexión del hormigón se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Resistencia_{flexión} = \frac{P * L}{b * h^2} \rightarrow [Kg/cm^2]$$

**Ecuación 2.20.** *Fórmula para el cálculo de la resistencia a flexión del hormigón cuando la rotura se produce dentro del tercio medio*

Fuente: (ASTM, 2016)

Donde:

P: Carga final de ruptura

L: Longitud entre apoyos del ensayo

b: Ancho promedio de la zona de ruptura

h: Altura promedio de la zona de ruptura

Caso contrario si la fractura se produce fuera del tercio medio, pero se encuentra dentro de la zona entre el apoyo de la máquina de ensayo y a una distancia de  $0.005 * L$  del centro de la luz, la resistencia a tensión por flexión del hormigón se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$Resistencia_{flexión} = \frac{3 * P * a}{b * h^2} \rightarrow [Kg/cm^2]$$

**Ecuación 2.21.** *Fórmula para el cálculo de la resistencia a flexión del hormigón cuando la rotura se produce fuera del tercio medio*

Fuente: (ASTM, 2016)

Donde:

P: Carga final de ruptura

a: Distancia entre la sección de rotura y el apoyo más cercano medido desde el eje central de la probeta.

b: Ancho promedio de la zona de ruptura

h: Altura promedio de la zona de ruptura

Para poder expresar el resultado de los cálculos obtenidos de la resistencia a la tracción por flexión del hormigón se puede considerar una aproximación igual o inferior a  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3 CAPITULO III: PARÁMETROS DE DISEÑO A EMPLEARSE EN EL ESTUDIO

#### 3.1 Caracterización de los materiales

##### 3.1.1 Agregados fino y grueso

##### 3.1.1.1 Agregado fino

Los agregados finos generalmente están constituidos por arenas o piedra triturada con tamaño menor a 5 mm. Para que este agregado sea considerado óptimo para la elaboración de hormigón debe cumplir ciertas características como de durabilidad, limpieza, resistencia, dureza y sin la presencia de químicos o materiales finos que impidan la adherencia de la pasta cementante o que afecten su contenido de humedad.

A continuación se presenta los ensayos realizados para la caracterización del agregado fino que se utilizó en la realización de las diferentes mezclas de hormigón, el mismo que proviene de la mina de Pintag.

- *Análisis granulométrico*

Este ensayo debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C33, donde se indica el porcentaje admisible que pasa por cada tamiz. Para el desarrollo de las diferentes dosificaciones del presente trabajo la relación agua – cemento se mantiene constante, la razón principal fue que se obtuvo una granulometría uniforme del material fino, lo cual permite alcanzar la resistencia esperada de diseño.

Los principales requisitos que establece la norma para dar como aceptado la granulometría del agregado fino es que no se retenga más del 45% entre dos tamices consecutivos y que el módulo de finura se encuentre entre 2.3 y 3.1, y no debe variar en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. Se debe tomar en cuenta además que las cantidades de agregado fino que pasan los tamices # 50 y # 100, afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del hormigón.

Los límites de la norma ASTM C33 de la granulometría para el agregado fino son los siguientes:

**Tabla 3.1.** Límites para la granulometría del agregado fino

Fuente: (ASTM, 2016)

Tamaño del tamiz	Porcentaje que pasa en peso (%)
<b>9.52 mm (3/8")</b>	100
<b>4.75 mm (# 4)</b>	95 a 100
<b>2.36 mm (# 8)</b>	80 a 100
<b>1.18 mm (# 16)</b>	50 a 85
<b>0.60 mm (# 30)</b>	25 a 60
<b>0.30 mm (# 50)</b>	10 a 30
<b>0.15 mm (# 100)</b>	2 a 10

Los valores de la granulometría del agregado fino obtenida del ensayo realizado son los siguientes:

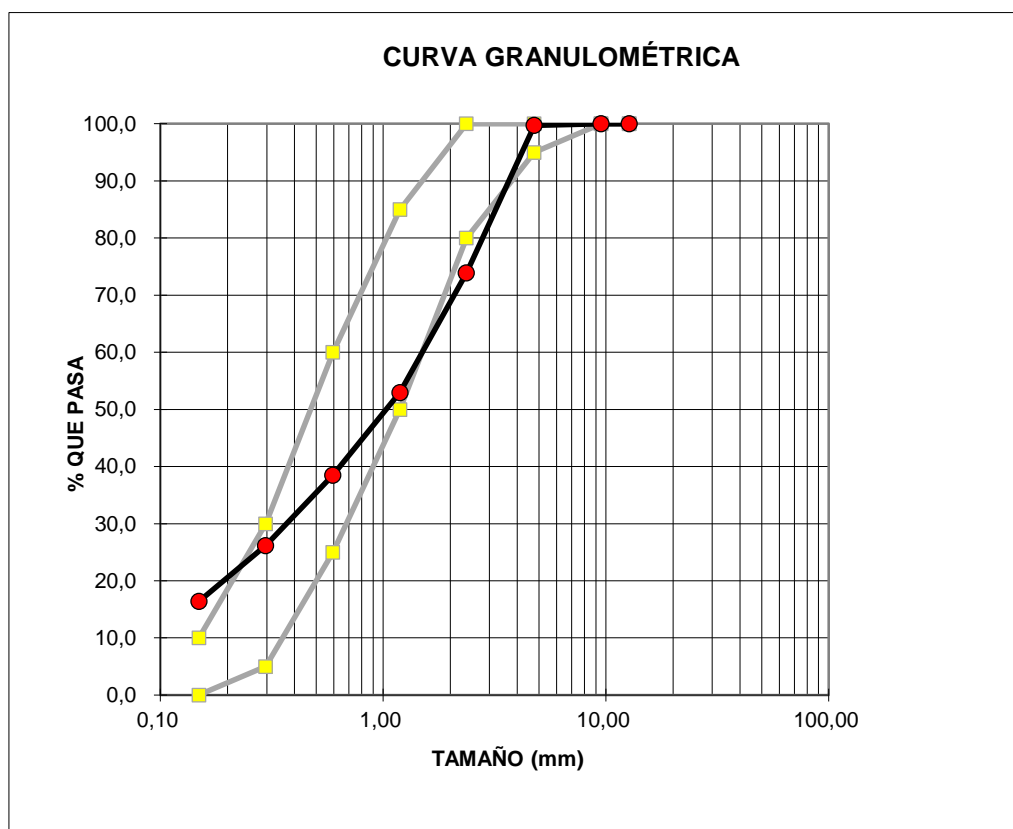


**Figura 3.1.** Ensayo de granulometría agregado fino

*Tabla 3.2. Granulometría obtenida del agregado fino*

Malla no.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que pasa (%)	% Que pasa Norma ASTM C33
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,0	<b>100</b>
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0	<b>100</b>
No.4	4,76	3,7	3,7	0,3	99,7	<b>95-100</b>
No. 8	2,36	360,9	364,6	26,1	73,9	<b>80-100</b>
No. 16	1,19	292,2	656,8	47,0	53,0	<b>50-85</b>
No.30	0,60	201,9	858,7	61,5	38,5	<b>25-60</b>
No.50	0,30	172,3	1031,0	73,8	26,2	<b>5-30</b>
No.100	0,149	136,6	1167,6	83,6	16,4	<b>0-10</b>
<b>P A S A No 100</b>		229,0	229,0			
<b>SUMA</b>		1396,6	1396,6			

Tamaño máximo nominal: No. 4



*Figura 3.2. Curva granulométrica obtenida*

- *Módulo de finura*

El módulo de finura del agregado fino se obtiene de acuerdo a la norma ASTM C125, en donde especifica que se debe sumar los porcentajes acumulados en peso del agregado retenido en los tamices y dividiendo la suma entre 100. El módulo de finura entre mayor sea indica que el agregado será más grueso.

Es importante mencionar que el módulo de finura del agregado fino sirve para estimar las proporciones de los agregados que se utilizarán en la mezcla de hormigón.

**Tabla 3.3.** Valores obtenidos para el cálculo del módulo de finura

<b>MALLA No.</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PORCENTAJE RETENIDO (%)</b>
1/2"	12,70	0,0
3/8"	9,51	0,0
No.4	4,76	0,3
No. 8	2,36	26,1
No. 16	1,19	47,0
No.30	0,60	61,5
No.50	0,30	73,8
No.100	0,149	83,6

**Módulo de finura: 2.92**

- *Contenido orgánico*

El objetivo de este ensayo es el determinar la cantidad de materia orgánica presente en la arena para la elaboración del hormigón, por medio de la técnica de color y los requisitos de la norma INEN 866.

Equipo y material

1. Frasco graduado en ml

2. Solución de Hidróxido de sodio (sosa cáustica)
3. Agua
4. Arena en estudio
5. Patrón de color

#### Procedimiento

1. Se llena el frasco graduado de 300 ml. hasta la marca de 110 ml. con la muestra de arena que se va ensayar.
2. Añadir la solución de Hidróxido de sodio al 3%, hasta la marca de 175 ml.
3. Se agita el frasco fuertemente por un tiempo de un minuto.
4. Pasadas las 24 horas, se procede a observar el color del líquido y se compara con la solución patrón, si el color es más oscuro que el amarillo paja; esta arena tendrá exceso de materia orgánica. El exceso de materia orgánica en el concreto, inhibe una reacción química completa entre el cemento y el agua.

De la muestra ensayada se pudo determinar un porcentaje igual a cero del contenido orgánico.



*Figura 3.3. Ensayo de contenido orgánico*

- *Gravedad específica y absorción*

La densidad específica de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de agua (se determina por la cantidad de agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9. El objetivo de este ensayo es determinar la densidad específica de la arena para elaborar hormigón, empleando un matraz de fondo plano de 500 ml. de capacidad, de acuerdo a las especificaciones de la norma INEN 856

#### Equipo y material

1. Matraz aforado a 500 ml.
2. Balanza con aproximación al 0.1 gr.
3. Cono truncado
4. Pisón
5. Termómetro
6. Embudo
7. Probeta de 500 ml. de capacidad
8. Gotero o Pipeta
9. Bomba de vacíos
10. Horno o estufa
11. Franela o papel absorbente
12. Curva de calibración del matraz
13. Charola de aluminio
14. Espátula

15. Reloj de cristal

16. Arena saturada y superficialmente seca

### Procedimiento

Para determinar la gravedad específica se debe realizar los siguientes pasos:

1. Se satura (se humedece) la arena por 24 horas, se le retira el agua para lograr el estado de saturado y superficialmente seco; esto se puede obtener al tender la arena en una superficie limpia y seca, se mueve la arena de un lugar a otro, para que por efecto del sol y el viento, se logre el estado superficialmente seco. Se verifica el estado del material por medio de un cono truncado, el cual se llena con la arena en 2 capas, dándole 15 golpes con el pisón a la primera capa y 10 golpes a la segunda capa, se enrasa y se retira el cono sin hacer movimientos laterales, si la arena se queda formada el cono, esto nos dice que la arena tiene exceso de humedad, por lo cual se continúa secando y se repite lo antes descrito, hasta que en cono de arena se desmorone lentamente; que será cuando la arena llegó al estado de saturado y superficialmente seco. (Ramirez, 2004)





*Figura 3.4. Ensayo de gravedad específica del agregado fino*

2. A continuación se pesan dos muestras de 200 gramos cada una de arena en estado SSS, se vierte agua al matraz hasta la mitad de la parte curva, se vacía una muestra de arena empleando para esto un embudo y en la parte inferior del matraz se coloca una hoja de papel por si se cae algo de material pueda ser recogido posteriormente y vaciado al matraz. (Ramirez, 2004)
3. La otra muestra se somete al secado total, ya sea en la estufa o en el horno, para obtener el peso seco de arena. (Ramirez, 2004)
4. Se extrae el aire atrapado en el suelo empleando la bomba de vacíos; el material con el agua se agita sobre su eje longitudinal, se conecta a la bomba de vacíos por 30 segundos. (Ramirez, 2004)
5. Se completa la capacidad del matraz con agua hasta la marca de aforo, de tal manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca (500 ml). Para lograr esto se debe repetir el paso anterior unas 5 veces. (Ramirez, 2004)
6. Se pesa el matraz + agua + arena y se toma la temperatura de la suspensión, con esta, se entra a la curva de calibración del matraz y se obtiene el peso del matraz + agua hasta la marca de aforo. (Ramirez, 2004)



**Figura 3.5.** Colocación del material en el matraz para ensayo

Para el cálculo de la gravedad específica se sustituyen los valores obtenidos en la siguiente ecuación:

$$G_e = \frac{W_s}{W_s + W_{MW} + W_{MWS}}$$

**Ecuación 3.1.** Cálculo de la gravedad específica del agregado fino

Fuente: (ASTM, 2016)

Donde:

$W_s$ : Peso de la muestra seca

$W_{MW}$ : Peso del matraz + agua

$W_{MWS}$ : Peso del matraz + agua + muestra seca

Reemplazando los valores obtenidos en el ensayo se tiene el siguiente valor de la gravedad específica para el agregado fino:

$$G_e = \frac{474.2}{474.2 + 659.9 + 947.7}$$

$$G_e = 0.228$$

El ensayo para determinar el porcentaje de absorción, sirve para establecer la cantidad de agua que absorbe la arena, se expresando en porcentaje con respecto al peso seco de la arena.

### Procedimiento

De la muestra que se puso a secar en la prueba anterior, se revisa con el reloj de cristal que la arena haya perdido toda el agua, si eso es correcto se procede a enfriar y se calcula el peso seco de la arena.

El cálculo del porcentaje de absorción se lo obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W_{SSS} - W_S}{W_S} * 100$$

### *Ecuación 3.2. Cálculo del porcentaje de absorción agregado fino*

Fuente: (ASTM, 2016)

Donde:

$W_S$ : Peso de la muestra seca

$W_{SSS}$ : Peso de la muestra en estado saturado en superficie seca

Reemplazando datos se tiene:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{499.66 - 474.2}{474.2} * 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 5.37\%$$

- *Humedad natural*

El objetivo de este ensayo es el poder determinar la cantidad de agua que posee una muestra de arena, con respecto al peso seco de la muestra. Este ensayo se lo realiza de acuerdo a la norma ASTM C566 e INEN 862, es importante pues permite hacer los ajustes en la cantidad de agua de mezclado que se va a requerir.

### Procedimiento

1. Se pesa el recipiente vacío donde se colocará la muestra de arena.
2. Posteriormente se coloca la arena húmeda en el recipiente y se pesa, anotando como el peso de la tara + material.
3. A continuación se coloca el recipiente en el horno, para después de 24 horas pesarlo y anotar ese peso como tara + material seco.



**Figura 3.6.** Ensayo de contenido de humedad del agregado fino

Se realiza el cálculo del porcentaje de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$\%Humedad = \frac{(\text{Peso tara + material húmedo}) - (\text{Peso tara + material seco})}{(\text{Peso tara + material seco}) - \text{Peso de la tara}} * 100$$

#### **Ecuación 3.3.** Fórmula de la humedad natural del agregado

Fuente: (ASTM, 2016)

Reemplazando los datos obtenidos en laboratorio podemos obtener un porcentaje de humedad de:

$$\%Humedad_1 = \frac{446.7 - 430}{430} * 100 = 3.88\%$$

$$\%Humedad_2 = \frac{415 - 405.6}{405.6} * 100 = 2.32\%$$

$$\%Humedad_3 = \frac{424.7 - 420}{420} * 100 = 1.12\%$$

$$\%Humedad_{promedio} = 2.44 \%$$

- *Porcentaje de material fino que pasa por el tamiz #200*

El objetivo de este ensayo es poder determinar la cantidad de material más fino que un tamiz No. 200 mediante el proceso de lavado con agua, este proceso permitirá también la eliminación de otro tipo de materiales como sales y minerales

#### Equipo

1. Balanza
2. Tamiz de lavado No. 200
3. Horno de secado
4. Fregadero para suministro de agua para el proceso de lavado
5. Agua

#### Procedimiento

1. Se obtiene el espécimen representativo y se transfiere la muestra a un recipiente previamente pesado,
2. Se seca toda la muestra de ensayo y se determina la masa estableciendo el balance necesario.
3. Se inunda el espécimen con agua dejándolo por un tiempo mínimo de 10 minutos en remojo, tiempo en el cual la muestra se agita periódicamente para lograr la separación completa de las partículas.



**Figura 3.7.** *Ensayo del porcentaje de material fino que pasa el tamiz #200*

4. Una vez terminado el tiempo de remojo se debe agitar el contenido del recipiente y transferir la muestra al tamiz de lavado teniendo cuidado de no sobrecargarlo para que no se desborde la muestra y asegurando que todo el material se haya transferido.
5. Se realiza el lavado del material hasta que el agua resultante sea clara.
6. Cuando el proceso de lavado haya finalizado el material que quedó en el tamiz No. 200 debe ser transferido nuevamente al contenedor de la muestra con cuidado para no perder nada de material. Se seca el residuo de los tamices y se determina la masa.

#### Cálculo

El cálculo del porcentaje que pasa el tamiz #200 mediante el ensayo de lavado se le realiza con la siguiente fórmula:

$$A = \left[ \frac{(B - C)}{B} \right] * 100$$

**Ecuación 3.4.** *Expresión para el cálculo del porcentaje de material fino que pasa el tamiz #200*

Fuente: (ASTM, 2016)

Donde:

A: % de material más fino que el retenido en el tamiz #200 por lavado. Este debe ser el 0.1% más cercano al material que pasa por el tamiz #4 y el 1% más cercano al material retenido en el tamiz #4 y que pasa por el tamiz de 3 pulgadas.

B: Masa seca original de la muestra en gramos

C: Masa seca de la muestra retenida en el tamiz #200, incluyendo la cantidad retenida en el tamiz superior en gramos.

Reemplazando los datos obtenidos en el ensayo realizado para el material fino a usarse en la mezcla se tiene:

$$\% \text{ Pasa el tamiz \#200} = \left[ \frac{(1308,4 - 1158,5)}{1308,4} \right] * 100$$

$$\% \text{ Pasa el tamiz \#200} = 11,5 \%$$

### **3.1.1.2 Agregado grueso**

Los agregados para ser considerados como gruesos están conformados por gravas o una combinación de gravas, se consideran también a los agregados triturados cuyas partículas sean en su mayoría con valores superiores a 5 mm y generalmente se encuentran entre 9.5 mm y 38 mm.

Los agregados gruesos para ser considerados útiles en la realización de mezclas de hormigón deben cumplir ciertos requerimientos, como por ejemplo: las partículas deben ser durables, limpias, duras, resistentes, libres de productos químicos absorbidos, y estar libres de algún recubrimiento de arcilla u otros materiales finos que puedan afectar su contenido de humedad natural y sobre todo la adherencia de la pasta cementante. Las partículas de agregado que sean frágiles no son deseables para realizar mezclas.

A continuación se presenta los ensayos realizados para la caracterización del agregado grueso que se utilizó en la realización de las diferentes mezclas de hormigón, el mismo que proviene de la mina de Pintag.

- *Granulometría*

El tamaño máximo nominal del agregado grueso que se utiliza en el hormigón tiene el fundamento en la economía. Por lo general se suele necesitar más agua y cemento para agregados de tamaño más pequeño. (Ramirez, 2004)

Se debe entender el significado de tamaño máximo nominal de un agregado, se define como el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. El tamiz de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número del tamaño.

El tamaño máximo del agregado que puede ser empleado va a depender generalmente del tamaño y forma del elemento del hormigón a diseñarse y también se considera la cantidad y distribución del acero de refuerzo. (Ramirez, 2004)

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
2. Tres cuartos del espaciamiento libre entre las varillas de refuerzo.
3. Un tercio del peralte de las losas.

A continuación se muestra la tabla con los requisitos establecidos según la norma ASTM C33 para la granulometría de los agregados gruesos:

**Tabla 3.4. Requisitos de granulometría para los agregados gruesos**

Fuente: (ASTM, 2016)

# de tamaño	Tamaño nominal (aberturas cuadradas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorios (aberturas cuadradas). Por ciento en peso.												
		(100 mm) 4 pulg.	(90 mm) 3.5 pulg.	(75 mm) 3 pulg.	(63 mm) 2.5 pulg.	(50 mm) 2 pulg.	(37.5 mm) 1.5 pulg.	(25 mm) 1 pulg.	(19 mm) ¾ pulg.	(12.5 mm) ½ pulg.	(9.5 mm) 3/8 pulg.	(4.75 mm) #4	(2.36 mm) #8	(1.18 mm) #16
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
2	63 a 37.5 mm	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
3	50 a 25.0 mm	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----
3-5-7	50 a 4.75 mm	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----
4	37.5 a 19.0 mm	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----
4-6-7	37.5 a 4.75 mm	----	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----
5	25.0 a 12.5 mm	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----
5-6	25.0 a 9.5 mm	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----
5-7	25.0 a 4.75 mm	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----
6	19.0 a 9.5 mm	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	----	----
6-7	19.0 a 4.75 mm	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	25 a 55	0 a 10	0 a 5	----
7	12.5 a 4.75 mm	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----
8	9.5 a 2.36 mm	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Estos requisitos se pueden variar si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto en la fundición de los elementos estructurales sin que se formen grumos ni vacíos.

Ensayo de granulometría realizado en la máquina tamizadora:



*Figura 3.8. Ensayo de granulometría del ripio realizado*

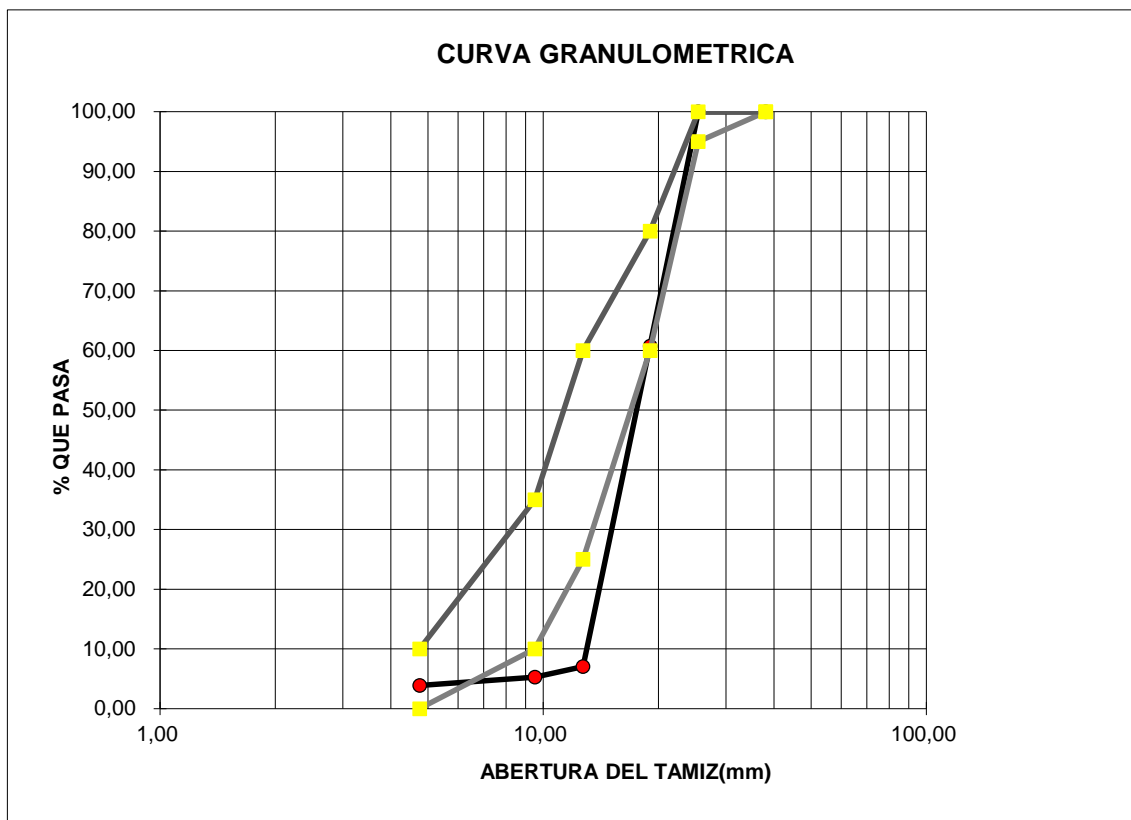
Los valores de la granulometría del agregado grueso obtenida del ensayo realizado son los siguientes:

*Tabla 3.5 .Granulometría obtenida del agregado grueso*

<b>Malla no.</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Masa Retenida Parcial</b>	<b>Masa Retenida Acumulada</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Porcentaje Que pasa (%)</b>
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,00	<b>100,00</b>
1"	25,40	0,0	0,0	0,00	<b>100,00</b>
3/4"	19,00	4015,0	4015,0	39,24	<b>60,76</b>
1/2"	12,70	5495,0	9510,0	92,94	<b>7,06</b>
3/8"	9,51	183,0	9693,0	94,73	<b>5,27</b>
N° 4	4,76	141,0	9834,0	96,11	<b>3,89</b>
<b>P A S A No 4</b>		398,0	398,0		
<b>SUMA</b>		10232,0	10232,0		

Tamaño máximo: 1 pulgada – 25 mm

Módulo de finura: 7.20



*Figura 3.9. Curva granulométrica del agregado grueso obtenida*

- *Abrasión en la máquina de los Ángeles*

Este ensayo consiste en determinar la resistencia a la abrasión o desgaste del agregado grueso, el cual se usa como un índice de referencia de la calidad del mismo. Este parámetro resulta importante cuando el hormigón fabricado estará sometido al desgaste como es el caso del hormigón rígido utilizado en pavimentos.

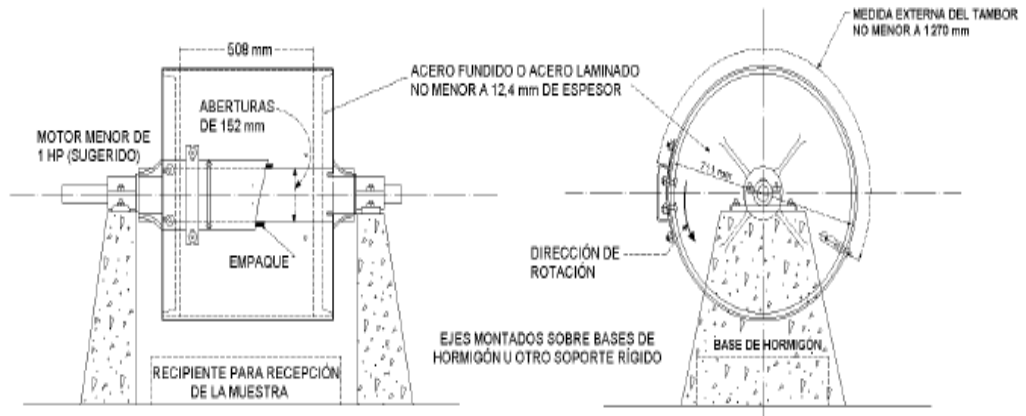
Es importante mencionar que si el agregado presenta una resistencia baja al desgaste esto suele tener como efecto al momento de diseñar la mezcla de hormigón que exista más cantidad de agregado fino, y esto a su vez requiere un aumento del agua de mezcla, lo cual repercute directamente en la relación agua – cemento, que como ya se conoce es un parámetro importante al momento de determinar las características mecánicas del hormigón.

El ensayo realizado es el de abrasión Los Ángeles de acuerdo a la norma ASTM C131 y la norma INEN 860, en el que consiste de un tambor giratorio, se coloca en un

tambor de acero una cantidad específica de agregado grueso, según lo establecido en la norma. A continuación se colocan unas esferas de acero, se gira el tambor y se procede a medir el porcentaje del material desgastado.

Equipo y material

1. Máquina de Los Ángeles



**Figura 3.10.** Máquina de Los Ángeles

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011)

2. Tamices
3. Balanza digital con precisión por lo menos de 0.1%
4. Carga: Consiste en esferas de acero que su diámetro aproximadamente tengan un promedio de 47 mm y su peso este entre 390 y 445 gramos. El número de esferas a utilizarse se determina de acuerdo a la gradación de la muestra de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 3.6.** Especificaciones para la carga de ensayo de máquina de Los Ángeles

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011)

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

5. Muestra: La muestra debe haber sido lavada previamente y secada la horno. Se debe proporcionar la muestra de acuerdo a la siguiente tabla con aproximaciones de 1 gramo.

**Tabla 3.7.** Gradación de las muestras de ensayo a la abrasión máquina de Los Ángeles

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011)

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (gramos)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1250 ± 25			
25,0	19,0	1250 ± 25			
19,0	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	6,3			2500 ± 10	
6,3	4,75			2500 ± 10	
4,75	2,36				5000 ± 10
<b>Total</b>		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

### Procedimiento

1. Colocar la muestra y la carga en la máquina de Los Ángeles determinadas de acuerdo a lo establecido en la norma, girar la máquina 500 revoluciones a una velocidad entre 30 y 33 rpm.
2. Una vez terminado el número de revoluciones, se descarga el material de la máquina. La parte fina se debe tamizar por el tamiz de 1.70 mm y se determina la masa con una aproximación de 1 gramo.

### Cálculos

El valor del desgaste es la pérdida de masa expresada en porcentaje con respecto a su masa inicial. Se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$D = \left( \frac{B - C}{B} \right) * 100$$

**Ecuación 3.5.** Ecuación para el cálculo del porcentaje de desgaste del agregado grueso por el método de la máquina de Los Ángeles

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011)

Donde:

D: Porcentaje de desgaste

B: Masa inicial de la muestra antes del ensayo

C: Masa de la muestra retenida en el tamiz de 1.70 mm, después del ensayo

Para el ensayo realizado con el agregado grueso a usar en la mezcla de hormigón se obtuvo los siguientes datos:

Gradación A

Masa inicial = 5010 gramos

Masa retenida en el tamiz #12 = 4411 gramos



**Figura 3.11.** Muestra obtenida después del ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles

Fuente: Propia

$$\% \text{ Desgaste} = \left( \frac{5010 - 4411}{5010} \right) * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = 11.96 \%$$

- *Gravedad específica y porcentaje de absorción*

El objetivo de este ensayo es el determinar la gravedad específica del agregado grueso, esto se lo realiza aplicando el Principio de Arquímedes de acuerdo al volumen de agua desplazado por el volumen de gravas aplicado y también el poder determinar el porcentaje de absorción que tienen el árido. Estos resultados son importantes pues tienen aplicación directa en el diseño de mezcla del hormigón.

#### Equipo y material

1. Balanza digital con aproximación al 0.1 gr.
2. Horno o estufa
3. Franela
4. Canastilla
5. Bandeja de aluminio
6. Espátula
7. Cristal de reloj

#### Procedimiento

1. Se dejan el material en saturación (en agua) por 24 horas.
2. Al terminar las 24 horas se retira el material del agua y se seca superficialmente con una franela ligeramente húmeda. A continuación se pesa una cantidad de material cercana a los 500 gramos, de esta forma se obtiene el peso saturado y superficialmente seco del agregado grueso.

3. Luego se procede a determinar el volumen desalojado por el material. Para obtener este dato se debe colocar el material en una canastilla, se sumerge en agua y se registra el peso del agregado grueso sumergido.
  
4. Finalmente con cuidado para que no se produzca pérdida de material, se vacía el material a una bandeja y se procede a secarlas totalmente ya sea en la estufa o en el horno, obteniéndose así el peso del agregado seco.



**Figura 3.12.** Resultado del peso seco de la muestra para el ensayo de gravedad específica del agregado grueso

Fuente: Propia

### Cálculos

El volumen desalojado por el material se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_{desalojado} = \frac{Peso_{SSS} - Peso_{sum}}{\gamma_{agua}}$$

**Ecuación 3.6.** Fórmula por el cálculo del volumen desalojado por el agregado grueso

Fuente: (ASTM, 2016)

El porcentaje de absorción del agregado grueso se obtiene con la siguiente expresión:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso}_{SSS} - \text{Peso}_{seco}}{\text{Peso}_{seco}} * 100$$

**Ecuación 3.7.** Fórmula para el cálculo del porcentaje de absorción del agregado grueso

Fuente: (ASTM, 2016)

La gravedad específica se determina de la siguiente manera:

$$V_{\text{absorbido}} = \frac{\text{Peso}_{SSS} - \text{Peso}_{seco}}{\gamma_{\text{agua}}}$$

$$\text{Gravedad}_{\text{específica}} = \frac{\text{Peso}_{seco}}{(\text{Volumen}_{\text{real}}) * \gamma_{\text{agua}}}$$

$$\text{Gravedad}_{\text{específica}} = \frac{\text{Peso}_{seco}}{(\text{Vol}_{\text{desalojado}} - \text{Vol}_{\text{absorbido}}) * \gamma_{\text{agua}}}$$

**Ecuación 3.8.** Fórmulas para el cálculo de la gravedad específica del agregado grueso

Fuente: (ASTM, 2016)

De acuerdo al ensayo realizado se obtuvo los siguientes datos para proceder con el cálculo de los valores de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso:

$$V_{\text{desalojado}} = \frac{3001 - 1750}{1} = 1251 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{absorbido}} = \frac{3001 - 2912.8}{1} = 88.2 \text{ cm}^3$$

$$\text{Gravedad}_{\text{específica}} = \frac{2912.8}{(1251 - 88.2) * 1} = 2.50$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{3001 - 2912.8}{2912.8} * 100 = 3.03 \%$$

- *Humedad natural*

Este ensayo permite determinar el contenido de agua que posee una muestra del agregado grueso, este se lo mide con respecto al peso seco de la muestra. Este ensayo es

muy importante y se debe realizar las veces que sean necesarias antes de hacer una mezcla de hormigón, esto se debe que así se puede hacer los ajustes en la cantidad de agua de mezcla.

#### Equipo y material

1. Estufa
2. Balanza digital con aproximación al 0.1 gr.
3. Bandeja y lavacara de aluminio
4. Espátula

#### Procedimiento

1. Se debe realizar el número de muestras que se considere necesario. Para ello se anota el número de la lavacara a usar y su peso, este valor se registra como peso de la tara.
2. A continuación se coloca el material húmedo en la lavacara y se pesa, este valor se debe anotar como peso de la muestra húmeda + tara.
3. Se procede a secar el material dejándolo en el horno por 24 horas.
4. Finalmente transcurrido las 24 horas, se saca el material del horno con cuidado y se registra su peso como peso de la muestra seca + tara.

#### Cálculos

Se realizan los cálculos para determinar el contenido de humedad del agregado grueso mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

**Ecuación 3.9.** Fórmula para el cálculo del contenido de humedad el agregado grueso

Fuente: (ASTM, 2016)

Se realizó el ensayo para tres muestras, por lo que se obtendrá un promedio de las mismas. Reemplazando los datos obtenidos se tiene:

$$\%Humedad_1 = \frac{1895 - 1865.2}{1865.2} * 100 = 1.60\%$$

$$\%Humedad_2 = \frac{2575 - 2554.9}{2554.9} * 100 = 0.79\%$$

$$\%Humedad_3 = \frac{2635 - 2610.8}{2610.8} * 100 = 0.93\%$$

$$\%Humedad_{promedio} = 1.11 \%$$

### 3.1.2 Cemento

Para la elaboración del hormigón se utiliza los cementos de tipo hidráulicos, en el presente trabajo se escogió el cemento de marca Holcim Fuerte tipo GU, este cumple con la normativa vigente NTE INEN 2380:201, el cual está diseñado para concretos tanto de tipo estructural como losas, vigas columnas, cimentaciones, y también para usos de pavimento rígido, se usa en morteros de enlucido y nivelación de pisos como para la elaboración de mampostería, su uso se puede generalizar para todo tipo de obras de construcción en general. (Holcim Ecuador S.A., 2022)

Se escogió este material por sus propiedades pues al ser un cemento portland tipo I se presenta como un polvo fino que al mezclarse con el agua reaccionan químicamente a esta reacción se la conoce como hidratación, pues el cemento se combina con el agua para formar una pasta que funciona como pegamento para mantener a los áridos del concreto unidos. Esta pasta fragua y se endurece formando en conjunto con los demás componentes del hormigón una piedra dura. (Portland Cement Association PCA, 2004)

Los beneficios que se obtuvo al trabajar con este cemento en la elaboración de las mezclas de hormigón, se mencionan las siguientes: Mejor trabajabilidad lo cual ayuda a la acción del aditivo inclusor de aire, adicional se pudo observar una disminución de la segregación no existió mucha evaporación del agua de mezcla existente en la pasta cementante, finalmente presento una resistencia adecuada con un desempeño uniforme

ayudando al hormigón a obtener un buen comportamiento una vez fraguado ante los diferentes ensayos.

A continuación, se muestran los datos técnicos del cemento Holcim fuerte tipo GU, otorgados por la fábrica directamente:

**Tabla 3.8.** Datos técnicos del cemento Holcim fuerte tipo GU

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2022)

	<b>Valores Norma INEN 2380</b>	<b>Valores Referenciales Holcim</b>
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de (minutos)	45	45
Inicial, no más de (minutos)	420	151
Contenido de aire mortero, en volumen (%)	----	4
Resistencia a la compresión, mínima (MPa)		
1 día	----	----
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo	0.02	0.001
Resistencia a los sulfatos, 6 meses	----	----

### 3.1.3 Aditivo inclusor de aire

Los aditivos son aquellos componentes del hormigón, que se adicionan antes o durante el mezclado, estos se pueden clasificar según sus funciones. La incorporación de estos al concreto permite que adquiera ciertas propiedades que si no se realiza una selección adecuada de los materiales, los aditivos garantizan que si cumplan con las mismas.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó un aditivo incorporador de aire, en países como Estados Unidos actualmente se recomienda para casi todos los tipos de hormigón el incorporar aire, principalmente para mejorar la resistencia a la congelación y el deshielo, sin embargo un hormigón con inclusor de aire presente más beneficios tanto en estado fresco como ya fraguado. (Portland Cement Association PCA, 2004)

El aditivo utilizado en las mezclas de hormigón que fueron sometidas a los diferentes ensayos es el aditivo AIRBETON de la marca Aditec el cual cumple con la norma ASTM C260 que al mezclarse con el hormigón produce burbujas de aire microscópicas. Presenta las siguientes características técnicas: (ADITEC ECUATORIANA Cía. Ltda., 2020)

- Densidad (g/cm<sup>3</sup>): 1.01 ± 0.01
- Un pH de 6 a 7
- No contiene cloruros
- Es un aditivo líquido de color pardo.

Se recomienda usarlo en hormigones en masa pues mejora su trabajabilidad, además genera un hormigón de alta calidad estructural tanto en hormigones normales como livianos. Es ideal para hormigones que están expuestos a ciclos de secado y humedecimiento severo es decir cuando la zona en la que va estar presenta condiciones climáticas extremas o presencia de aguas marinas.

El modo de empleo es sencillo se debe agregar el aditivo mediante un dosificador automático o manual al agua de mezcla final, nunca se lo debe añadir directamente al cemento o al agregado fino pues necesita de la reacción química con el agua para producción de las burbujas. Cuando se trata de hormigones premezclados se recomienda dosificar el hormigón en obra.

La dosificación va de la mano con el peso del cemento a usarse en la mezcla, y va a depender de la cantidad de aire que se desea incluir. Para el presente trabajo se tomó los valores del 0.04 %, 0.07% y 0.10% del peso del cemento. Pues según se recomienda se puede usar desde el 0.03% al 0.10% del peso o desde 15 cc a 50 cc por cada saco de 50 Kg de cemento. Se debe tomar en cuenta que la cantidad de aire incluido puede variar entre el 3% al 6%. (ADITEC ECUATORIANA Cía. Ltda., 2020)

## 3.2 Determinación de dosificaciones a realizarse en el estudio

### 3.2.1 Relación agua – cemento

La relación agua – cemento es el cociente entre las cantidades de agua y el cemento existentes en el hormigón fresco (EcuRed, 2022).

Se debe tomar en cuenta que la relación agua – cemento influye no sólo en la cantidad de aire incorporado sino también en la distribución de burbujas, su tamaño y su estabilidad en el hormigón (CARLOS ARCOS d'HAINAUT, 1976).

En el presente trabajo la relación agua – cemento permanece constante, debido a que el objetivo principal es determinar las características del hormigón con aire incluido, es decir si con la adición del aditivo a la mezcla se pretende analizar que propiedades mecánicas presenta el hormigón con respecto a su trabajabilidad, durabilidad y resistencia. Adicionalmente comprobar si los resultados de las diferentes mezclas de hormigón con distintos porcentajes de aditivo llegan a las resistencias esperadas.

La relación agua – cemento del diseño de la mezcla se determina en función de la siguiente tabla:

**Tabla 3.9.** Relación agua cemento por el método ACI 211

(American Concrete Institute, 2004)

TABLA 19	
150	0.67
200	0.58
250	0.5
300	0.43
350	0.38

Por lo que para ello se debe realizar una interpolación para el valor de la resistencia de diseño obtenido, los valores obtenidos de acuerdo a la ecuación 7 son: Para la resistencia esperada de 210 kg/cm<sup>2</sup> se obtiene una resistencia de diseño de 224,7 kg/cm<sup>2</sup> y para la resistencia esperada de 280 kg/cm<sup>2</sup> se obtiene una resistencia de diseño de 299,6 kg/cm<sup>2</sup>. Con estos valores se puede realizar la interpolación y obtener el valor necesario de agua – cemento de todas las mezclas a realizar.

**Tabla 3.10.** Tabla de interpolación para el diseño de  $f'c=210$

<b>INTERPOLACION</b>	
200	0.58
250	0.5
50	0.08
248.0	0.3968

**Tabla 3.11.** Tabla de interpolación para diseño de  $f'c=280$

<b>INTERPOLACION</b>	
250	0.5
300	0.43
50	0.07
0.4	0.0006

Los valores de las relaciones de agua – cemento que se usó son los siguientes:  
Para un valor de  $f'c=210$  es de  $a/c=0.5405$  y para un valor de  $f'c=280$  es de  $a/c=0.4306$ .

### **3.2.2 Dosificación de la mezcla de hormigón**

#### *3.2.2.1 Para dosificación sin aditivo y una resistencia esperada de $f'c=210$*

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$

Asentamiento = 8 cm

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

Agua neta= 203 Kg/m<sup>3</sup>.

Contenido de aire (%)= 1.5

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

Cemento = 376 Kg/m<sup>3</sup>.

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

Porcentaje de agregado fino= 45.0 %

Porcentaje de agregado grueso= 55.0 %

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón (Um) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2136 (Kg/m<sup>3</sup>).
- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de agregados en superficie saturada seca de 1557 (Kg/m<sup>3</sup>).

d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo a los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

$$\text{Arena (SSS)} = 670 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio (SSS)} = 888 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

5. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo a las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

$$\text{Ripio (seco)} = 862 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena (seca)} = 636 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio natural} = 875 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena natural} = 651 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

6. Finalmente se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla igual a 234 (Kg/m<sup>3</sup>).

7. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón sin aditivo inductor de aire para una resistencia  $f'c = 210 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ .

**Tabla 3.12.** *Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón sin aditivo para un  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$*

<b>Resumen</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua de mezcla</b>	234
<b>Cemento</b>	376
<b>Arena natural</b>	651
<b>Ripio natural</b>	875
	2136

Se realiza la mezcla y se obtiene el Asentamiento y el Peso unitario real del Hormigón, el cual se debe comprobar si cumple con los requisitos establecidos, caso contrario se procede hacer las reestimaciones necesarias. En el desarrollo de este trabajo por la directriz del tutor y su experiencia se determinó la realización de 2 reestimaciones para obtener los valores correctos de diseño.

### *3.2.2.2 Para dosificación sin aditivo y una resistencia esperada de $f'c=280$*

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$

Asentamiento= 8 cm

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

Agua neta= 198 Kg/m<sup>3</sup>.

Contenido de aire (%)= 1.8

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

Cemento = 460 Kg/m<sup>3</sup>.

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

Porcentaje de agregado fino= 45.0 %

Porcentaje de agregado grueso= 55.0 %

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón (Um) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2204 (Kg/m<sup>3</sup>).
- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de Agregados en superficie saturada seca de 1546 (Kg/m<sup>3</sup>).
- d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo con los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

Arena (sss)= 696 (Kg/m<sup>3</sup>).

Ripio (sss)= 851 (Kg/m<sup>3</sup>).

4. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo con las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

Ripio (seca)= 826 (Kg/m<sup>3</sup>).

Arena (seca)= 660 (Kg/m<sup>3</sup>).

Ripio natural 839 (Kg/m<sup>3</sup>).

Arena natural 677 (Kg/m<sup>3</sup>).

5. Finalmente se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla = 229 (Kg/m<sup>3</sup>).
6. A continuación se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón sin aire incluido para una resistencia esperada de  $f'c = 280$  (Kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 3.13.** *Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón sin aditivo para un  $f'c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup>*

<b>Resumen</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua mez.</b>	229
<b>Cemento</b>	460
<b>Arena nat.</b>	677
<b>Ripio nat.</b>	839
	<hr/> 2204 <hr/>

Se hace la mezcla y se obtiene el Asentamiento y el Peso unitario real del Hormigón, el cual se debe comprobar si cumple con los requisitos establecidos, caso contrario se procede hacer las reestimaciones necesarias. En el desarrollo de este trabajo por la directriz del tutor y su experiencia se determinó la realización de 2 reestimaciones para obtener los valores correctos de diseño.

### 3.2.3 Aplicación del aditivo inductor de aire en el diseño de las mezclas de hormigón

#### 3.2.3.1 Diseño de mezcla para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.04% de aditivo

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$

Asentamiento = 8 cm

Con aditivo inductor de aire

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

Agua neta= 203 Kg/m<sup>3</sup>.

Contenido de aire (%)= 3.0

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

$$\text{Cemento} = 376 \text{ Kg/m}^3.$$

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

$$\text{Porcentaje de agregado fino} = 47.5 \%$$

$$\text{Porcentaje de agregado grueso} = 52.5 \%$$

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón ( $U_m$ ) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2100 ( $\text{Kg/m}^3$ ).

- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de Agregados en superficie saturada seca de 1522 ( $\text{Kg/m}^3$ ).

- d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo con los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

$$\text{Arena (SSS)} = 723 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio (SSS)} = 799 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

4. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo a las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

Ripio (seco)= 775 (Kg/m<sup>3</sup>).

Arena (seca)= 686 (Kg/m<sup>3</sup>).

Ripio natural 779 (Kg/m<sup>3</sup>).

Arena natural 697 (Kg/m<sup>3</sup>).

5. Se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla = 249 (Kg/m<sup>3</sup>).
6. Finalmente se determina la cantidad de aditivo a usarse de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante el peso del aditivo es calculó respecto al peso del cemento de la mezcla, para este diseño se toma el 0.04% de la cantidad de cemento teniendo un valor de aditivo inductor de aire de 300 (Kg/m<sup>3</sup>).
7. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón con el aditivo inductor de aire, para una resistencia esperada de  $f'c = 210$  (Kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 3.14.** *Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.04% de aditivo para un  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>*

<b>Resumen</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua mez.</b>	249
<b>Cemento</b>	376
<b>Arena nat.</b>	697
<b>Ripio nat.</b>	779
<b>Aditivo (cc)</b>	300
	<hr/> 2100 <hr/>

Se hace la mezcla y se obtiene el Asentamiento y el Peso unitario real del Hormigón, el cual se debe comprobar si cumple con los requisitos establecidos, caso contrario se procede hacer las reestimaciones necesarias. En el desarrollo de este trabajo

por la directriz del tutor y su experiencia se determinó la realización de 2 restimaciones para obtener los valores correctos de diseño.

### 3.2.3.2 Diseño de mezcla para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.07% de aditivo

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$

Asentamiento = 8 cm

Con aditivo inductor de aire

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

Agua neta=  $205 \text{ Kg/m}^3$ .

Contenido de aire (%)= 4.5

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

$$\text{Cemento} = 379 \text{ Kg/m}^3.$$

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

$$\text{Porcentaje de agregado fino} = 47.5 \%$$

$$\text{Porcentaje de agregado grueso} = 52.5 \%$$

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón ( $U_m$ ) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2063 ( $\text{Kg/m}^3$ ).

- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de Agregados en superficie saturada seca de 1478 ( $\text{Kg/m}^3$ ).

- d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo con los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

$$\text{Arena (SSS)} = 702 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio (SSS)} = 776 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

4. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo a las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

Ripio (seco)= 753 (Kg/m<sup>3</sup>).

Arena (seca)= 667 (Kg/m<sup>3</sup>).

Ripio natural = 756 (Kg/m<sup>3</sup>).

Arena natural = 677 (Kg/m<sup>3</sup>).

5. Se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla = 250 (Kg/m<sup>3</sup>).
6. Finalmente se determina la cantidad de aditivo a usarse de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante el peso del aditivo es calculó respecto al peso del cemento de la mezcla, para este diseño se toma el 0.07% de la cantidad de cemento teniendo un valor de aditivo inductor de aire de 531 (Kg/m<sup>3</sup>).
7. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón con el aditivo inductor de aire, para una resistencia  $f'c = 210$  (Kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 3.15.** *Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.07% de aditivo para un  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>*

<b>Resumen</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua mez.</b>	250
<b>Cemento</b>	379
<b>Arena nat.</b>	677
<b>Ripio nat.</b>	756
<b>Aditivo (cc)</b>	531
	<hr/> 2063 <hr/>

### 3.2.3.3 Diseño de mezcla para $f'c=210$ Kg/cm<sup>2</sup> con un 0.10% de aditivo

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 210$  Kg/cm<sup>2</sup>

Asentamiento = 8 cm

Con aditivo inclusor de aire

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

Agua neta= 208 Kg/m<sup>3</sup>.

Contenido de aire (%)= 6

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

Cemento = 385 Kg/m<sup>3</sup>.

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

$$\text{Porcentaje de agregado fino} = 47.5 \%$$

$$\text{Porcentaje de agregado grueso} = 52.5 \%$$

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón ( $U_m$ ) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2024 ( $\text{Kg/m}^3$ ).
- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de Agregados en superficie saturada seca de 1431 ( $\text{Kg/m}^3$ ).
- d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo con los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

$$\text{Arena (SSS)} = 680 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio (SSS)} = 751 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

4. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo a las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

$$\text{Ripio (seco)} = 729 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena (seca)} = 645 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio natural} = 732 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena natural} = 656 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

5. Se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla = 251 (Kg/m<sup>3</sup>).
6. Finalmente se determina la cantidad de aditivo a usarse de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante el peso del aditivo es calculó respecto al peso del cemento de la mezcla, para este diseño se toma el 0.10% de la cantidad de cemento teniendo un valor de aditivo inductor de aire de 770 (Kg/m<sup>3</sup>).
7. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón con el aditivo inductor de aire, para una resistencia  $f'c = 210$  (Kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 3.16.** Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.10% de aditivo para un  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>

<b>Resumen</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua mez.</b>	251
<b>Cemento</b>	385
<b>Arena nat.</b>	656
<b>Ripio nat.</b>	732
<b>Aditivo (cc)</b>	770
	2024

#### 3.2.3.4 Diseño de mezcla para $f'c=280$ Kg/cm<sup>2</sup> con un 0.04% de aditivo

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 280$  Kg/cm<sup>2</sup>

Asentamiento = 8 cm

Con aditivo inductor de aire

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

Agua neta= 208 Kg/m<sup>3</sup>.

Contenido de aire (%)= 3.0

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

Cemento = 483 Kg/m<sup>3</sup>.

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

Porcentaje de agregado fino = 47.5 %

Porcentaje de agregado grueso = 52.5 %

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón ( $U_m$ ) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2163 ( $Kg/m^3$ ).
- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de Agregados en superficie saturada seca de 1472 ( $Kg/m^3$ ).
- d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo con los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

Arena (SSS)= 699 ( $Kg/m^3$ ).

Ripio (SSS)= 773 ( $Kg/m^3$ ).

- 4. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo a las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

Ripio (seco)= 750 ( $Kg/m^3$ ).

Arena (seca)= 663 ( $Kg/m^3$ ).

Ripio natural = 753 ( $Kg/m^3$ ).

Arena natural = 674 ( $Kg/m^3$ ).

- 5. Se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla = 253 ( $Kg/m^3$ ).
- 6. Finalmente se determina la cantidad de aditivo a usarse de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante el peso del aditivo es calculó respecto al peso del cemento de la mezcla, para este diseño se toma el 0.04% de la

cantidad de cemento teniendo un valor de aditivo inclusor de aire de 386 (Kg/m<sup>3</sup>).

7. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón con el aditivo inclusor de aire, para una resistencia  $f'c = 280$  (Kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 3.17.** *Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.04% de aditivo para un  $f'c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup>*

<b>Resumen</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua mez.</b>	253
<b>Cemento</b>	483
<b>Arena nat.</b>	674
<b>Ripio nat.</b>	753
<b>Aditivo (cc)</b>	386
	<hr/> 2163 <hr/>

### 3.2.3.5 Diseño de mezcla para $f'c=280$ Kg/cm<sup>2</sup> con un 0.07% de aditivo

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 280$  Kg/cm<sup>2</sup>

Asentamiento = 8 cm

Con aditivo inclusor de aire

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

Agua neta= 208 Kg/m<sup>3</sup>.

Contenido de aire (%)= 4.5

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

Cemento = 483 Kg/m<sup>3</sup>.

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

Porcentaje de agregado fino = 47.5 %

Porcentaje de agregado grueso = 52.5 %

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón (Um) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2126 (Kg/m<sup>3</sup>).

- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de Agregados en superficie saturada seca de  $1435 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ .
- d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo con los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

$$\text{Arena (SSS)} = 682 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio (SSS)} = 753 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

- 4. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo a las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

$$\text{Ripio (seco)} = 731 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena (seca)} = 647 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio natural} = 734 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena natural} = 657 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

- 5. Se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla =  $252 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ .
- 6. Finalmente se determina la cantidad de aditivo a usarse de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante el peso del aditivo es calculó respecto al peso del cemento de la mezcla, para este diseño se toma el 0.07% de la cantidad de cemento teniendo un valor de aditivo inclusor de aire de  $676 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ .
- 7. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón con el aditivo inclusor de aire, para una resistencia  $f'c = 280 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ .

**Tabla 3.18.** *Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.07% de aditivo para un  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$*

<b>Resumen</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua mez.</b>	252
<b>Cemento</b>	483
<b>Arena nat.</b>	657
<b>Ripio nat.</b>	734
<b>Aditivo (cc)</b>	676
	2126

### 3.2.3.6 Diseño de mezcla para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con un 0.10% de aditivo

- **Requerimientos**

Resistencia esperada a los 28 días  $f'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$

Asentamiento = 8 cm

Con aditivo inclusor de aire

- **Características de los materiales**

Porcentaje de absorción agregado fino = 5.36 %

Porcentaje de absorción agregado grueso = 3.03 %

Contenido de humedad natural agregado fino = 2.44 %

Contenido de humedad natural agregado grueso = 1.60 %

Gravedad específica de los agregados = 2.379

Gravedad específica del cemento = 2.95

Tamaño máximo nominal del agregado = 25 mm

- **Cálculos**

1. Para determinar la cantidad de agua neta y contenido de aire se lo realiza de acuerdo a la tabla A.1.5.3.3 del método ACI 211.1, se ingresa con el valor del asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso es para hormigón sin aire incluido, obteniendo los valores de:

$$\text{Agua neta} = 208 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\text{Contenido de aire (\%)} = 6.0$$

2. Con la relación agua – cemento establecida se procede al cálculo de la cantidad de cemento de acuerdo a la ecuación 8 de este trabajo y se tiene un valor de cemento para la mezcla de:

$$\text{Cemento} = 483 \text{ Kg/m}^3.$$

3. Se calcula los agregados en estado de superficie saturada seca mediante la ecuación 10 de este trabajo y de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a. Se establece el porcentaje de agregado fino y el porcentaje de agregado grueso a usarse en la mezcla (se debe tomar en cuenta que el porcentaje de agregado fino varía de 35 a 50 %). Con esto se determinó un porcentaje de los agregados igual a:

$$\text{Porcentaje de agregado fino} = 47.5 \%$$

$$\text{Porcentaje de agregado grueso} = 52.5 \%$$

- b. Se calcula el Peso unitario del Hormigón ( $U_m$ ) de acuerdo a la ecuación 9 de este trabajo obteniendo un valor de Peso unitario del hormigón igual a 2089 ( $\text{Kg/m}^3$ ).
- c. De acuerdo a la ecuación 10 de este trabajo se tiene un valor de Agregados en superficie saturada seca de 1398 ( $\text{Kg/m}^3$ ).
- d. Con la ecuación 11 de este trabajo se procede a determinar de acuerdo con los porcentajes de participación de cada agregado en la mezcla los

valores de Arena y Grava en superficie saturada seca. Obteniendo unos valores de:

$$\text{Arena (SSS)} = 664 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio (SSS)} = 734 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

4. Posteriormente se procede a calcular los pesos de los agregados en estado natural de acuerdo a las ecuaciones 12 y 13 de este trabajo para poder realizar la mezcla de hormigón, teniendo los siguientes valores:

$$\text{Ripio (seco)} = 712 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena (seca)} = 630 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Ripio natural} = 715 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{Arena natural} = 640 \text{ (Kg/m}^3\text{)}.$$

5. Se procede con el cálculo del agua de mezcla necesaria que se usará en la fabricación del hormigón de acuerdo a la ecuación 14 de este trabajo, obteniendo un valor de Agua de mezcla = 250 (Kg/m<sup>3</sup>).
6. Finalmente se determina la cantidad de aditivo a usarse de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante el peso del aditivo es calculó respecto al peso del cemento de la mezcla, para este diseño se toma el 0.10% de la cantidad de cemento teniendo un valor de aditivo inclusor de aire de 966 (Kg/m<sup>3</sup>).
7. A continuación, se presenta la tabla con el resumen de los pesos obtenidos de los componentes a usarse en la elaboración de la mezcla de hormigón con el aditivo inclusor de aire, para una resistencia  $f'c = 280 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ .

**Tabla 3.19.** Tabla de resumen con los pesos de los componentes para realizar la mezcla de hormigón con 0.10% de aditivo para un  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen	Kg/m <sup>3</sup>
Agua mez.	250
Cemento	483
Arena nat.	640
Ripio nat.	715
Aditivo (cc)	966
	2089

### 3.3 Ensayos de laboratorio de hormigón

#### 3.3.1 Ensayo a la compresión simple a los 7 y 28 días

##### 3.3.1.1 Compresión simple de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 y 28 días

1. Preparación de 3 muestras para el ensayo de compresión de  $f'c=210$  a los 7 días, en el cual se toma las medidas de dos diámetros ( $d_1$  y  $d_2$  mm), tres alturas (mm) y peso (Kg).



**Figura 3.13.** Muestras para el ensayo de compresión de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 7 días

**Tabla 3.20.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 7 días hormigón sin aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	151.02	151.02	297.42	297.02	298.44	11.83
2	151.12	152.56	306.49	303.36	305.71	12.23
3	151.99	152.90	306.77	304.37	305.45	12.08

**Tabla 3.21.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días hormigón sin aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	149.67	149.58	300.63	300.85	299.70	11.72
2	151.00	151.85	299.33	300.06	299.77	11.88
3	150.75	150.30	298.39	298.59	299.19	11.62

**Tabla 3.22.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.04% aditivo inclusor de aire

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	153.46	153.54	306.60	304.96	304.88	12.18
2	150.54	151.36	301.58	301.89	301.15	11.57
3	153.84	154.12	306.43	306.50	307.05	12.34

**Tabla 3.23.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.04% aditivo inclusor de aire

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	151.62	151.09	299.77	300.80	300.75	11.55
2	153.89	153.92	303.39	303.00	302.72	11.98
3	153.40	153.71	308.85	308.13	307.98	12.14

**Tabla 3.24.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.07% aditivo inclusor de aire

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	153.13	153.44	305.47	306.56	306.96	12.21
2	151.23	150.66	301.47	301.05	300.15	11.55
3	151.45	150.64	299.22	299.56	300.18	11.34

**Tabla 3.25.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.07% aditivo inclusor de aire

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	149.13	149.68	302.81	301.51	301.05	11.47
2	153.37	153.95	306.94	307.62	307.44	12.43
3	153.23	153.53	305.17	304.77	304.42	12.12

**Tabla 3.26.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 7 días hormigón con 0.10% aditivo inclusor de aire

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	152.67	152.82	301.33	301.14	300.41	11.35
2	150.89	151.27	298.79	298.58	298.18	11.26
3	149.59	149.56	302.69	302.90	302.40	11.26

**Tabla 3.27.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días hormigón con 0.10% aditivo inclusor de aire

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	151.64	152.71	306.28	306.23	304.89	11.81
2	150.52	150.89	302.05	300.46	298.63	11.53
3	149.26	149.95	302.03	302.03	301.33	11.40

- Se coloca el cilindro en la prensa de ensayo, y se aplica la carga uniforme hasta obtener la carga última de ruptura y el tipo de falla.



**Figura 3.14.** Rotura del cilindro en la prensa de ensayo.

**Tabla 3.28.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 7 días de Hormigón sin aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	193.80	V
2	189.00	V
3	182.70	V

**Tabla 3.29.** *Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón sin aditivo*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	395.00	V
2	404.30	V
3	388.20	V

**Tabla 3.30.** *Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.04% aditivo*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	188.35	V
2	194.98	V
3	182.30	IV

**Tabla 3.31.** *Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.04% aditivo*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	353.60	V
2	359.50	V
3	325.90	V

**Tabla 3.32.** *Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.07% aditivo*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	162.80	V
2	199.50	V
3	180.80	V

**Tabla 3.33.** *Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.07% aditivo*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	311.20	V
2	292.10	V
3	364.20	V

**Tabla 3.34.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.10% aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	127.10	V
2	190.80	V
3	165.10	V

**Tabla 3.35.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.10% aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	276.70	V
2	302.20	V
3	274.70	V

### 3.3.1.2 Compresión simple de $f'c=280$ Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 y 28 días

1. Se repite lo anteriormente descrito para obtener la resistencia a la compresión del hormigón para una resistencia esperada de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 3.36.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días hormigón sin aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	151.86	152.35	299.73	297.96	298.10	11.81
2	151.96	151.40	298.86	299.57	297.52	11.75
3	151.91	151.88	299.30	298.77	297.81	11.78

**Tabla 3.37.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días hormigón sin aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	151.62	152.10	306.86	306.19	306.56	12.18
2	150.57	150.71	300.66	301.29	301.24	11.83
3	151.12	150.86	304.44	303.15	302.70	11.96

**Tabla 3.38.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón sin aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	395.60	V
2	432.50	V
3	414.05	V

**Tabla 3.39.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón sin aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	534.32	V
2	529.33	V
3	541.82	V

**Tabla 3.40.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.04% de aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	154.32	154.18	305.41	304.91	305.05	12.41
2	151.06	150.01	301.05	300.40	300.00	11.55
3	152.36	151.84	300.89	300.78	300.11	11.93

**Tabla 3.41.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.04% de aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	151.80	151.83	299.45	299.30	298.55	11.10
2	151.65	152.01	300.07	300.16	301.66	11.70
3	150.78	149.55	299.02	299.78	298.51	11.50

**Tabla 3.42.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.04% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	318.05	V
2	297.93	V
3	296.71	V

**Tabla 3.43.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.04% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	463.30	V
2	580.40	IV
3	532.20	V

**Tabla 3.44.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.07% de aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	152.26	151.88	299.33	300.86	299.89	11.21
2	150.68	152.10	299.22	299.83	300.81	11.52
3	151.46	151.95	305.54	306.50	305.09	11.44

**Tabla 3.45.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.07% de aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	153.53	155.96	301.01	302.65	303.37	12.16
2	149.79	150.31	298.31	298.23	299.29	11.70
3	152.23	153.58	303.50	302.59	302.25	12.14

**Tabla 3.46.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.07% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	315.50	V
2	316.20	V
3	329.30	V

**Tabla 3.47.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.07% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	555.80	V
2	627.40	V
3	536.70	V

**Tabla 3.48.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	151.80	151.62	302.95	301.75	301.64	11.60
2	152.34	152.45	305.00	304.57	303.86	11.59
3	152.07	152.04	303.98	303.16	302.75	11.60

**Tabla 3.49.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Diámetro (mm)		Alturas (mm)			Peso (Kg)
	1	2	1	2	3	
1	150.70	150.87	299.48	300.64	300.49	10.90
2	151.45	151.90	300.90	301.05	300.39	11.19
3	150.86	150.18	300.23	299.09	300.61	10.89

**Tabla 3.50.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de Hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	269.00	V
2	263.20	V
3	266.10	V

**Tabla 3.51.** Tabla de carga última de ruptura y tipo de falla para el ensayo de compresión simple de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Tipo de falla
1	357.84	V
2	348.60	V
3	350.68	V

### 3.3.2 Ensayo de flexión en vigas

#### 3.3.2.1 Flexión de $f'c=210$ Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días

1. Preparación de 3 muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, en el cual se toma las medidas de: longitud de la viga (mm), ancho (mm), altura (mm), longitud del apoyo (mm) y peso (Kg).



*Figura 3.15. Muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días*

*Tabla 3.52. Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo*

Muestra	Longitud de la viga (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud del apoyo (mm)	Peso (Kg)
1	560.00	153.00	150.00	450.00	28.13
2	545.00	150.00	150.00	450.00	27.65
3	530.00	150.00	150.00	450.00	27.15

*Tabla 3.53. Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo*

Muestra	Longitud de la viga (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud del apoyo (mm)	Peso (Kg)
1	540.00	150.00	150.00	450.00	26.03
2	556.00	150.00	155.00	450.00	27.78
3	540.00	150.00	150.00	450.00	26.70

*Tabla 3.54. Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo*

Muestra	Longitud de la viga (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud del apoyo (mm)	Peso (Kg)
1	560.00	155.00	150.00	450.00	26.95
2	540.00	150.00	150.00	450.00	25.90
3	560.00	150.00	150.00	450.00	27.34

**Tabla 3.55.** Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Longitud de la viga (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud del apoyo (mm)	Peso (Kg)
1	560.00	150.00	150.00	450.00	26.15
2	560.00	150.00	150.00	450.00	26.53
3	540.00	150.00	145.00	450.00	24.60

- Se coloca la vigueta en la prensa de ensayo, y se aplica la carga uniforme hasta obtener la carga última de ruptura y la resistencia a la flexión.



**Figura 3.16.** Rotura de la vigueta en la prensa de ensayo.

**Tabla 3.56.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón sin aditivo

Muestra	Carga (KN)	Resistencia a la flexión ( $\text{Kg/cm}^2$ )
1	33.78	45.03
2	33.97	46.19
3	33.66	45.77

**Tabla 3.57.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	35.26	47.94
2	29.29	37.30
3	26.19	35.61

**Tabla 3.58.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	26.56	34.95
2	26.83	36.48
3	21.08	28.66

**Tabla 3.59.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	20.32	27.63
2	17.02	23.14
3	20.13	29.29

### 3.3.2.2 Flexión de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días

1. Se repite lo anteriormente descrito para obtener la resistencia a la flexión del hormigón para una resistencia esperada de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 2.

**Tabla 3.60.** Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón sin aditivo

Muestra	Longitud de la viga (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud del apoyo (mm)	Peso (Kg)
1	560.00	150.00	150.00	450.00	27.50
2	560.00	150.00	120.00	450.00	22.43
3	540.00	150.00	145.00	450.00	26.00

**Tabla 3.61.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia a la flexión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	36.78	50.01
2	32.90	69.89
3	38.86	56.54

**Tabla 3.62.** Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo

<b>Muestra</b>	<b>Longitud de la viga (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Longitud del apoyo (mm)</b>	<b>Peso (Kg)</b>
1	540.00	150.00	150.00	450.00	24.74
2	565.00	150.00	145.00	450.00	27.08
3	560.00	150.00	150.00	450.00	26.18

**Tabla 3.63.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia a la flexión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	35.26	47.94
2	29.29	37.30
3	26.19	35.61

**Tabla 3.64.** Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo

<b>Muestra</b>	<b>Longitud de la viga (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Longitud del apoyo (mm)</b>	<b>Peso (Kg)</b>
1	560.00	152.00	150.00	450.00	28.57
2	560.00	154.00	151.00	450.00	28.85
3	560.00	153.00	155.00	450.00	28.68

**Tabla 3.65.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo

<b>Muestra</b>	<b>Carga (KN)</b>	<b>Resistencia a la flexión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	33.09	44.40
2	34.25	44.76
3	33.11	41.33

**Tabla 3.66.** Tabla de las muestras para el ensayo de flexión de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Longitud de la viga (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud del apoyo (mm)	Peso (Kg)
1	540.00	150.00	150.00	450.00	25.50
2	560.00	150.00	150.00	450.00	26.57
3	560.00	155.00	150.00	450.00	26.34

**Tabla 3.67.** Tabla de las cargas y resistencia a la flexión de las muestras de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo

Muestra	Carga (KN)	Resistencia a la flexión ( $\text{Kg/cm}^2$ )
1	34.29	46.62
2	32.64	44.38
3	26.16	34.42

### 3.3.3 Ensayo a la compresión con módulo de elasticidad

1. En la preparación de las 3 muestras para el ensayo a la compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días, se determina el peso del cilindro en la balanza digital.
2. Posteriormente se procede a tomar las medidas de dos diámetros ( $d_1$  y  $d_2$  mm) perpendiculares entre sí y a su vez tomar medidas de tres alturas opuestas ( $h_1$ ,  $h_2$  y  $h_3$  mm), tomando en cuenta que se debe calcular la altura promedio de estas 3 alturas, por consiguiente, se resta la altura del módulo de compresión que corresponde a 203 mm, la diferencia será dividida al 50% hacia la parte superior e inferior.
3. Se procede a colocar el Compresómetro de la manera mencionada en la norma del ensayo.
4. A continuación, se coloca el cilindro en la prensa de ensayo y se procede a ensayarla.

**Tabla 3.68.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	348.50	194.52	V	2188.25
2	343.47	196.41	V	2163.04
3	325.50	189.20	V	2226.07

**Tabla 3.69.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón sin aditivo

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	595.41	329.85	V	2183.94
2	544.95	301.01	V	2165.36
3	602.77	330.01	V	2193.94

**Tabla 3.70.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.04% de Aditivo de inclusor de aire

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	324.10	177.04	V	2126.88
2	320.96	182.57	V	2153.53
3	321.50	178.62	V	2134.03

**Tabla 3.71.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.04% de Aditivo de inclusor de aire

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	495.70	284.14	V	2194.59
2	490.20	283.66	V	2201.25
3	506.10	292.18	V	2204.14

**Tabla 3.72.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.07% de Aditivo de inclusor de aire

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	263.02	143.57	V	2143.56
2	283.93	155.98	V	2141.20
3	280.39	154.20	V	2173.56

**Tabla 3.73.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.07% de Aditivo de inclusor de aire

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	534.14	306.42	V	2150.34
2	518.61	294.43	V	2155.41
3	467.94	265.23	V	2163.54

**Tabla 3.74.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.10% de Aditivo de inclusor de aire

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	279.09	158.45	V	2173.04
2	299.41	167.45	V	2138.87
3	244.62	138.08	V	2169.54

**Tabla 3.75.** Tabla de las muestras para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de Hormigón con el 0.10% de Aditivo de inclusor de aire

Muestra	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	Peso Unitario (Kg/m <sup>2</sup> )
1	387.29	221.91	V	2041.27
2	391.60	222.88	V	2039.37
3	492.56	283.25	V	2177.05

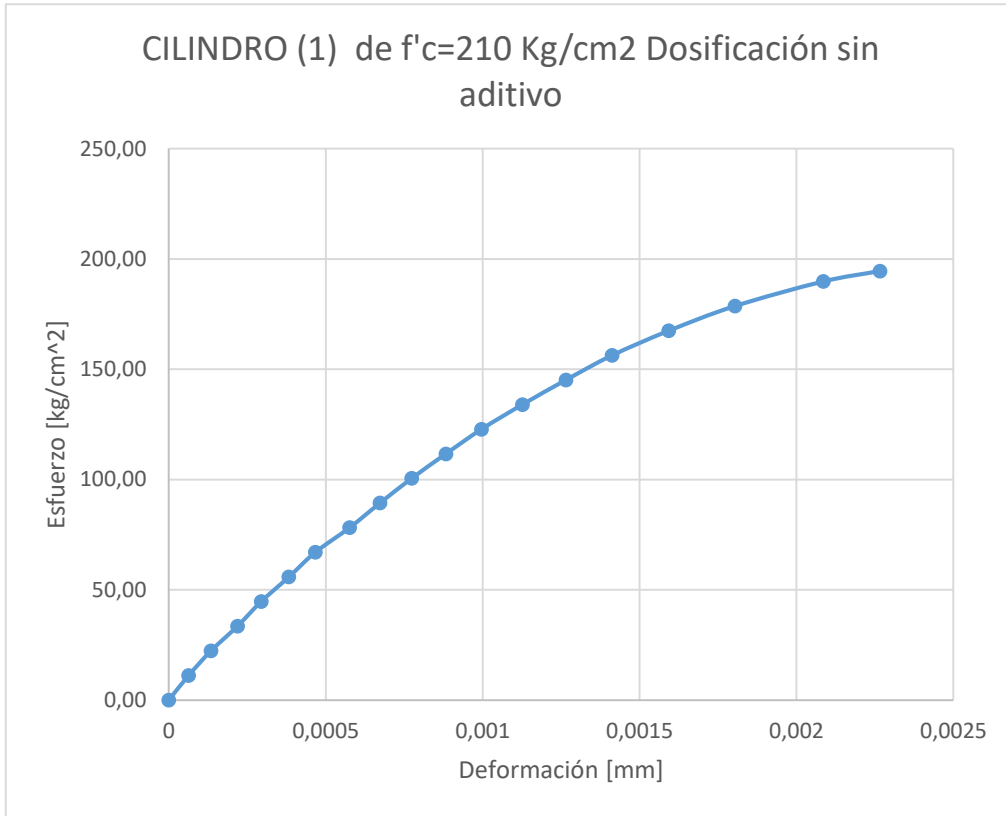
**Tabla 3.76.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón sin aditivo

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de <math>f'c=210 \text{ Kg/cm}^2</math> Dosificación sin aditivo</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0
20000	11,16	0,015	0,00753	0,00006
40000	22,33	0,032	0,01606	0,00013
60000	33,49	0,052	0,02610	0,00022
80000	44,65	0,070	0,03514	0,00029
100000	55,82	0,091	0,04568	0,00038
120000	66,98	0,111	0,05572	0,00047
140000	78,14	0,137	0,06878	0,00058
160000	89,31	0,160	0,08032	0,00067
180000	100,47	0,184	0,09237	0,00077
200000	111,63	0,21	0,10542	0,00088
220000	122,80	0,237	0,11898	0,00100
240000	133,96	0,268	0,13454	0,00113
260000	145,12	0,301	0,15111	0,00127
280000	156,29	0,336	0,16868	0,00141
300000	167,45	0,379	0,19026	0,00159
320000	178,61	0,429	0,21536	0,00180
340000	189,78	0,496	0,24900	0,00209
348500	194,52	0,539	0,27059	0,00227

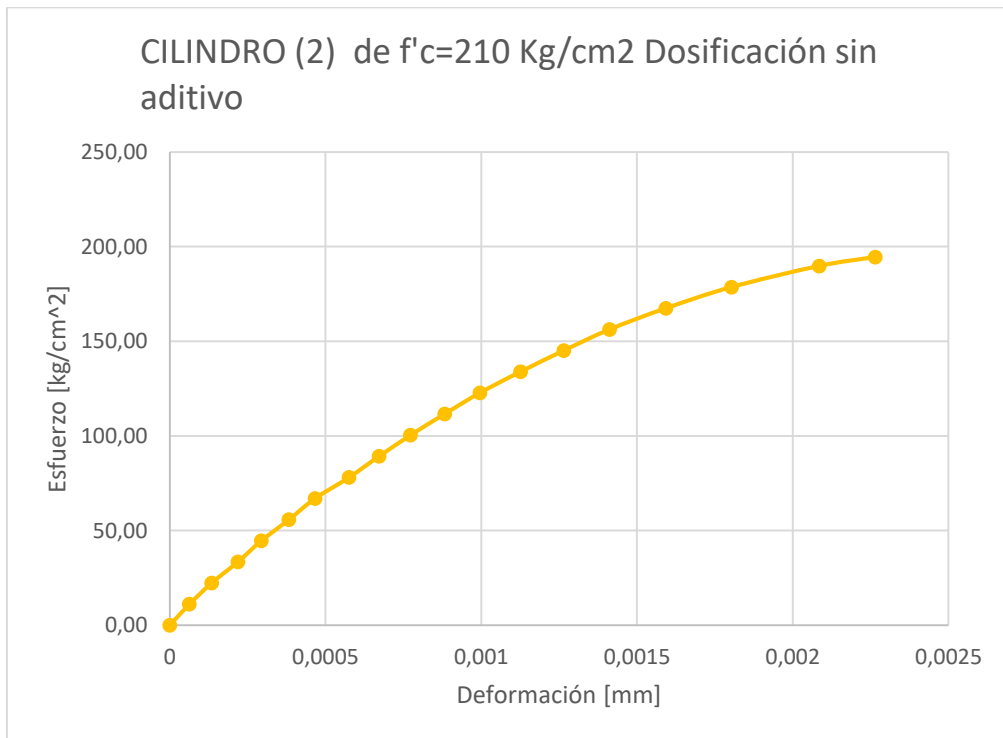
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (2) de <math>f'c=210 \text{ Kg/cm}^2</math> Dosificación sin aditivo</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,44	0,017	0,00848	0,00005
40000	22,87	0,039	0,01944	0,00011
60000	34,31	0,066	0,03291	0,00019
80000	45,75	0,089	0,04437	0,00026
100000	57,18	0,115	0,05734	0,00034
120000	68,62	0,142	0,07080	0,00042

140000	80,06	0,173	0,08625	0,00051
160000	91,50	0,209	0,10420	0,00062
180000	102,93	0,255	0,12714	0,00075
200000	114,37	0,302	0,15057	0,00089
220000	125,81	0,356	0,17749	0,00105
240000	137,24	0,406	0,20242	0,00120
260000	148,68	0,462	0,23034	0,00136
280000	160,12	0,514	0,25627	0,00151
300000	171,55	0,569	0,28369	0,00168
320000	182,99	0,622	0,31012	0,00183
340000	194,43	0,693	0,34551	0,00204
343470	196,41	0,726	0,36197	0,00214

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de f'c=210 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación sin aditivo</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,63	0,019	0,00943	0,00007
40000	23,25	0,038	0,01885	0,00015
60000	34,88	0,058	0,02877	0,00023
80000	46,50	0,078	0,03869	0,00030
100000	58,13	0,099	0,04911	0,00039
120000	69,75	0,121	0,06002	0,00047
140000	81,38	0,143	0,07094	0,00056
160000	93,00	0,165	0,08185	0,00065
180000	104,63	0,19	0,09425	0,00074
200000	116,25	0,215	0,10665	0,00084
220000	127,88	0,243	0,12054	0,00095
240000	139,50	0,275	0,13642	0,00108
260000	151,13	0,310	0,15378	0,00121
280000	162,75	0,351	0,17412	0,00137
300000	174,38	0,404	0,20041	0,00158
325535	189,22	0,542	0,26886	0,00212



**Figura 3.17.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindros (1)  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup> de hormigón sin aditivo



**Figura 3.18.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup> de hormigón sin aditivo



**Figura 3.19.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón sin aditivo

**Tabla 3.77.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón sin aditivo

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de <math>f'c=280 \text{ Kg/cm}^2</math> Dosificación sin aditivo</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>Unitaria</b>
0	0,00	0	0,00000	0
20000	11,08	0,017	0,00849	0,00001
40000	22,16	0,036	0,01797	0,00003
60000	33,24	0,056	0,02796	0,00005
80000	44,32	0,075	0,03744	0,00006
100000	55,40	0,096	0,04793	0,00008
120000	66,48	0,116	0,05791	0,00010
140000	77,56	0,138	0,06890	0,00012
160000	88,64	0,159	0,07938	0,00014
180000	99,72	0,181	0,09037	0,00016
200000	110,80	0,203	0,10135	0,00017
220000	121,88	0,226	0,11283	0,00019
240000	132,96	0,249	0,12431	0,00021
260000	144,04	0,273	0,13630	0,00023
280000	155,12	0,299	0,14928	0,00026

300000	166,20	0,325	0,16226	0,00028
320000	177,27	0,353	0,17624	0,00030
340000	188,35	0,383	0,19122	0,00033
360000	199,43	0,412	0,20569	0,00035
380000	210,51	0,445	0,22217	0,00038
400000	221,59	0,481	0,24014	0,00041
420000	232,67	0,521	0,26011	0,00045
440000	243,75	0,565	0,28208	0,00049
460000	254,83	0,624	0,31154	0,00054
480000	265,91	0,694	0,34648	0,00060
500000	276,99	0,804	0,40140	0,00069
520000	288,07	0,981	0,48977	0,00084
540000	299,15	1,32	0,65902	0,00114
560000	310,23	1,874	0,93561	0,00161
580000	321,31	2,325	1,16077	0,00200
595410	329,85	2,687	1,34150	0,00231

---

**CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN**

---

**CILINDRO (2) de f'c=280 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación sin aditivo**

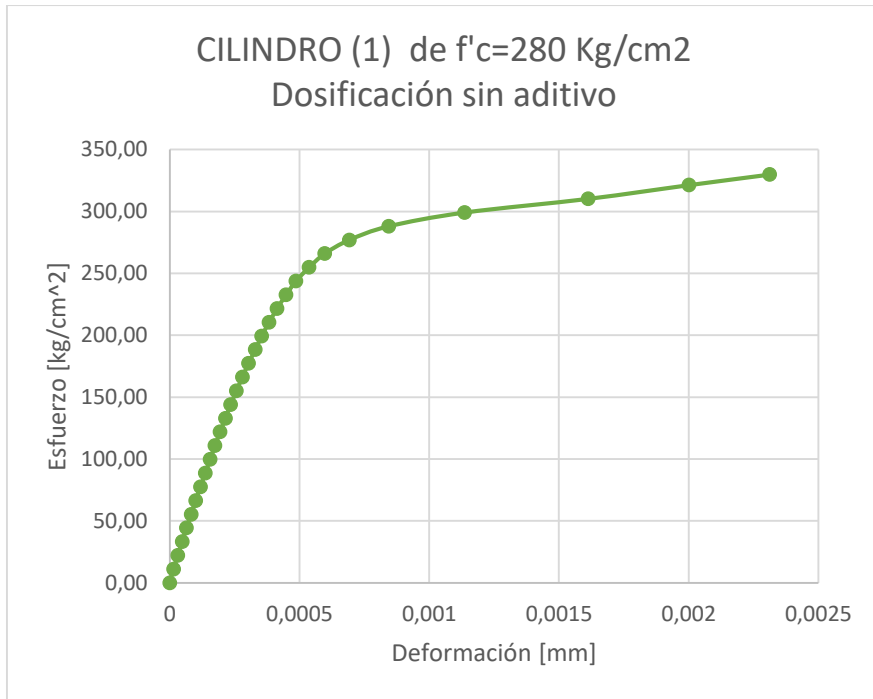
---

<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,01	0,01	0,00503	0,00001
40000	22,02	0,014	0,00705	0,00001
60000	33,03	0,031	0,01561	0,00002
80000	44,04	0,056	0,02819	0,00003
100000	55,05	0,093	0,04682	0,00006
120000	66,06	0,126	0,06343	0,00008
140000	77,07	0,163	0,08205	0,00010
160000	88,08	0,196	0,09866	0,00012
180000	99,09	0,229	0,11528	0,00014
200000	110,11	0,267	0,13440	0,00017
220000	121,12	0,301	0,15152	0,00019
240000	132,13	0,338	0,17015	0,00021
260000	143,14	0,381	0,19179	0,00024
280000	154,15	0,418	0,21042	0,00026
300000	165,16	0,460	0,23156	0,00029
320000	176,17	0,503	0,25320	0,00031
340000	187,18	0,547	0,27535	0,00034
360000	198,19	0,595	0,29952	0,00037

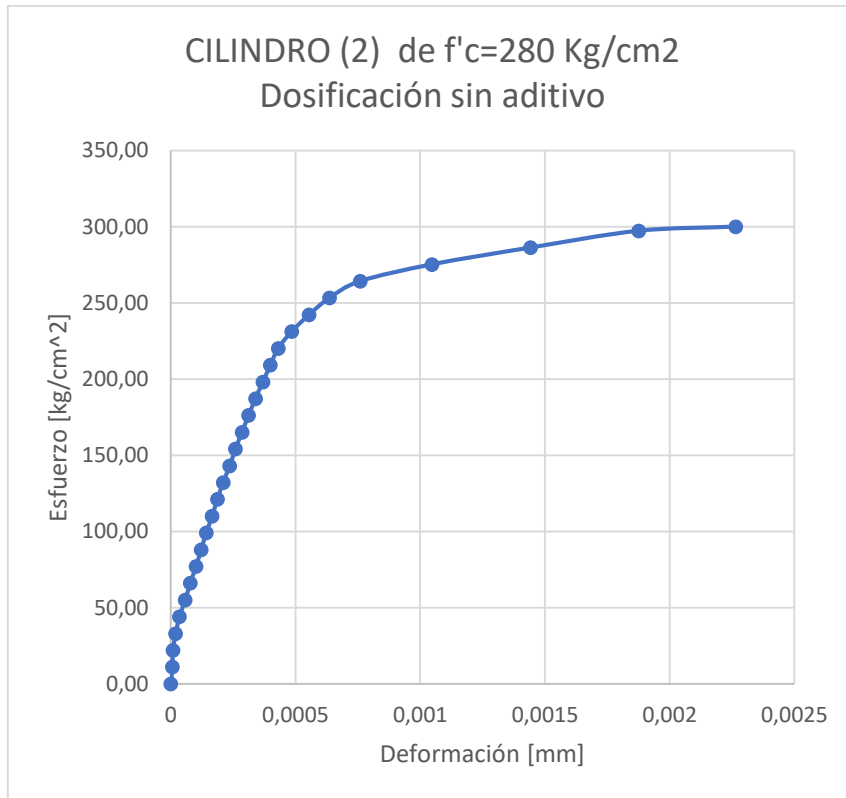
380000	209,20	0,644	0,32418	0,00040
400000	220,21	0,694	0,34935	0,00043
420000	231,22	0,782	0,39365	0,00048
440000	242,23	0,894	0,45003	0,00055
460000	253,24	1,026	0,51648	0,00064
480000	264,25	1,225	0,61665	0,00076
500000	275,26	1,689	0,85022	0,00105
520000	286,27	2,326	1,17088	0,00144
540000	297,28	3,026	1,52325	0,00188
544950	300,01	3,654	1,83938	0,00227

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de f'c=280 Kg/cm2 Dosificación sin aditivo</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	10,98	0,018	0,00899	0,00004
40000	21,95	0,037	0,01849	0,00007
60000	32,93	0,057	0,02848	0,00011
80000	43,90	0,077	0,03847	0,00015
100000	54,88	0,098	0,04896	0,00019
120000	65,85	0,120	0,05996	0,00024
140000	76,83	0,141	0,07045	0,00028
160000	87,80	0,162	0,08094	0,00032
180000	98,78	0,186	0,09293	0,00037
200000	109,75	0,208	0,10392	0,00041
220000	120,73	0,231	0,11541	0,00045
240000	131,71	0,254	0,12691	0,00050
260000	142,68	0,279	0,13940	0,00055
280000	153,66	0,303	0,15139	0,00060
300000	164,63	0,331	0,16538	0,00065
320000	175,61	0,356	0,17787	0,00070
340000	186,58	0,385	0,19236	0,00076
360000	197,56	0,416	0,20785	0,00082
380000	208,53	0,45	0,22483	0,00089
400000	219,51	0,484	0,24182	0,00095
420000	230,49	0,524	0,26181	0,00103
440000	241,46	0,57	0,28479	0,00112
460000	252,44	0,621	0,31027	0,00122
480000	263,41	0,683	0,34125	0,00134
500000	274,39	0,713	0,35624	0,00140
520000	285,36	0,779	0,38921	0,00153

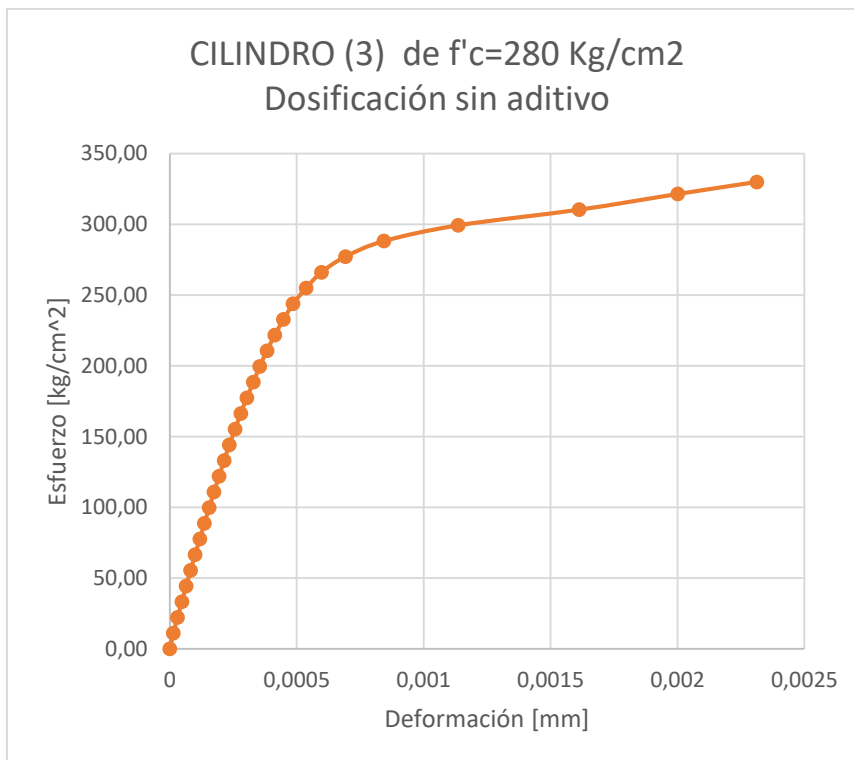
540000	296,34	0,823	0,41119	0,00162
560000	307,31	0,876	0,43768	0,00172
580000	318,29	0,928	0,46366	0,00183
600000	329,26	0,981	0,49014	0,00193
602770	330,78	1,043	0,52111	0,00205



**Figura 3.20.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1)  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón sin aditivo



**Figura 3.21.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón sin aditivo



**Figura 3.22.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón sin aditivo

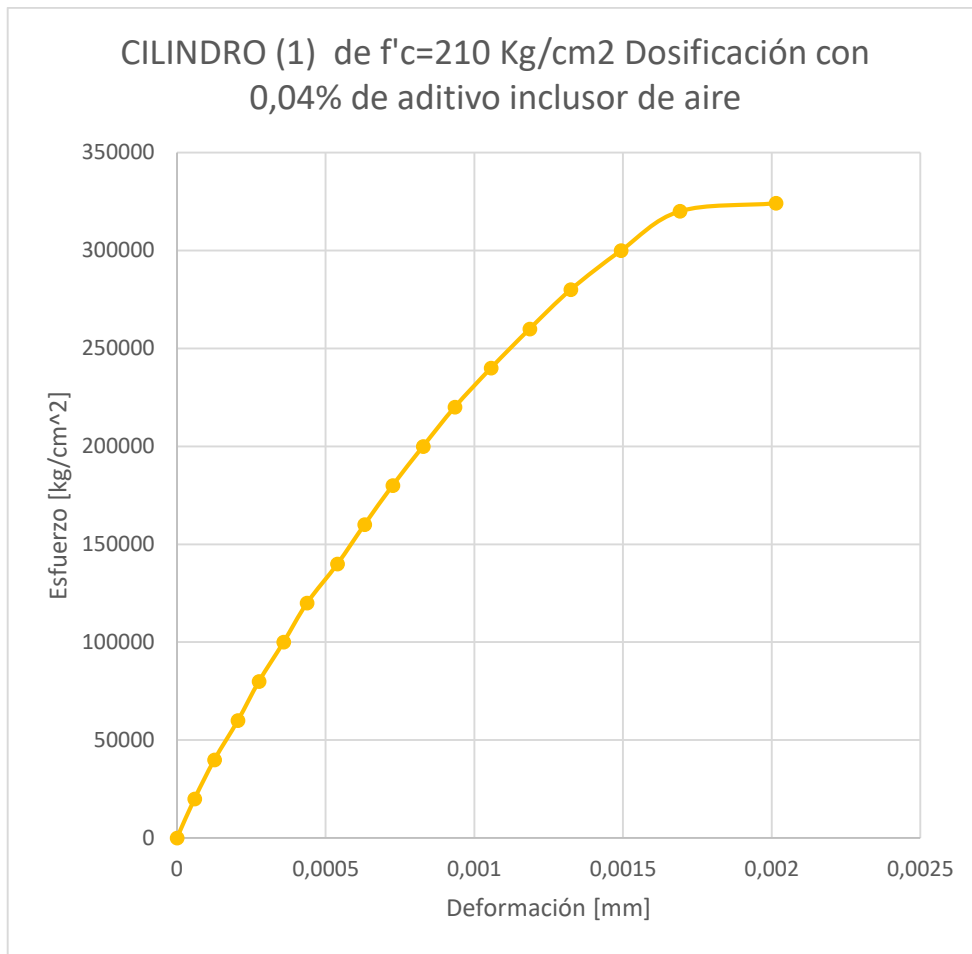
**Tabla 3.78.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo inclusor de aire

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de <math>f'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.04% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	10,92	0,015	0,00750	0,00006
40000	21,85	0,032	0,01600	0,00013
60000	32,77	0,052	0,02600	0,00020
80000	43,70	0,070	0,03501	0,00028
100000	54,62	0,091	0,04551	0,00036
120000	65,55	0,111	0,05551	0,00044
140000	76,47	0,137	0,06851	0,00054
160000	87,40	0,160	0,08001	0,00063
180000	98,32	0,184	0,09202	0,00073
200000	109,25	0,21	0,10502	0,00083
220000	120,17	0,237	0,11852	0,00093
240000	131,10	0,268	0,13402	0,00106
260000	142,02	0,301	0,15053	0,00119
280000	152,95	0,336	0,16803	0,00132
300000	163,87	0,379	0,18953	0,00149
320000	174,80	0,429	0,21454	0,00169
324100	177,04	0,511	0,25554	0,00201

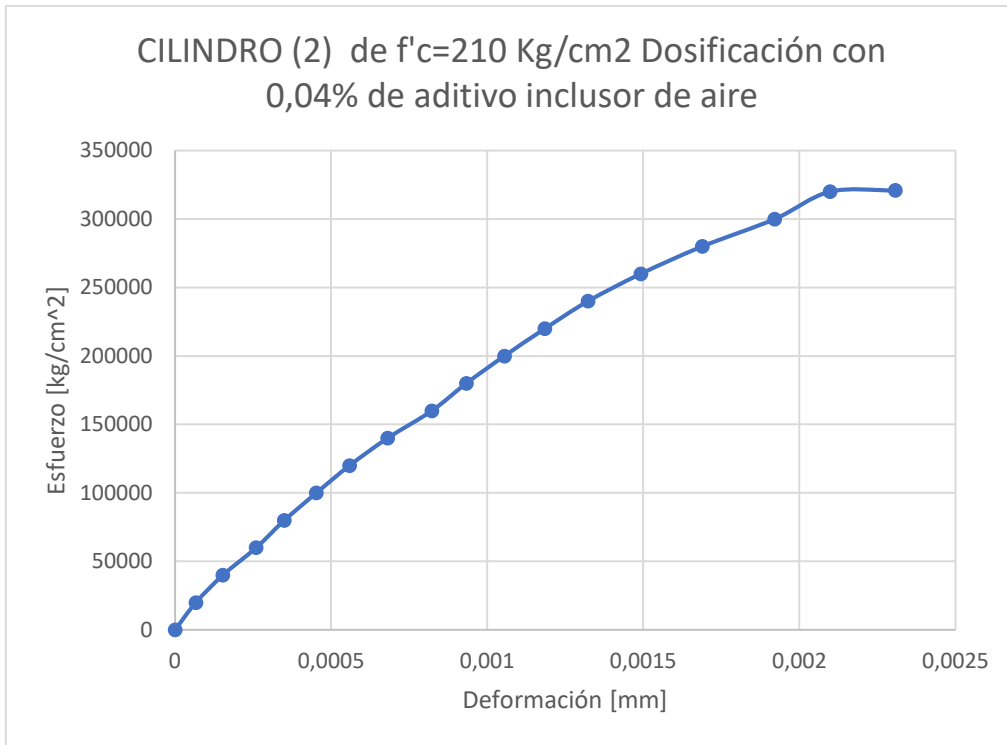
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (2) de <math>f'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.04% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,38	0,017	0,00849	0,00007
40000	22,75	0,039	0,01948	0,00015
60000	34,13	0,066	0,03297	0,00026
80000	45,51	0,089	0,04446	0,00035
100000	56,88	0,115	0,05744	0,00045
120000	68,26	0,142	0,07093	0,00056
140000	79,64	0,173	0,08642	0,00068

160000	91,01	0,209	0,10440	0,00082
180000	102,39	0,237	0,11839	0,00093
200000	113,76	0,268	0,13387	0,00106
220000	125,14	0,301	0,15036	0,00119
240000	136,52	0,336	0,16784	0,00132
260000	147,89	0,379	0,18932	0,00149
280000	159,27	0,429	0,21429	0,00169
300000	170,65	0,488	0,24377	0,00192
320000	182,02	0,533	0,26624	0,00210
320960	182,57	0,586	0,29272	0,00231

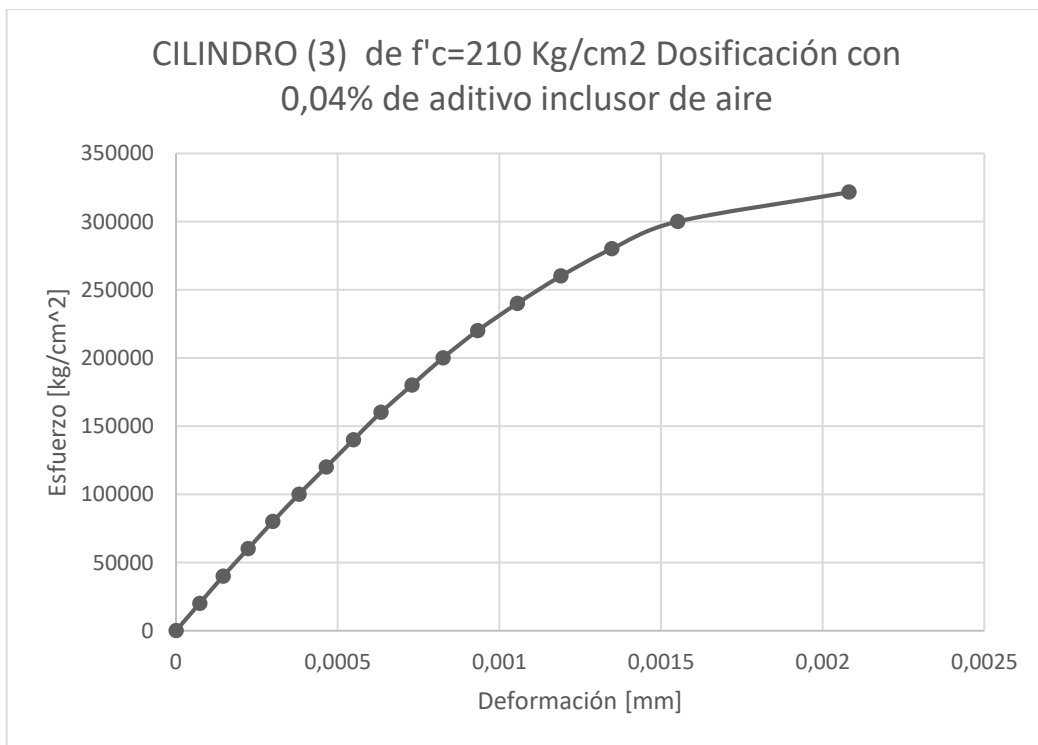
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de f'c=210 Kg/cm2 Dosificación 0.04% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,11	0,019	0,00955	0,00007
40000	22,22	0,038	0,01911	0,00015
60000	33,33	0,058	0,02916	0,00022
80000	44,45	0,078	0,03922	0,00030
100000	55,56	0,099	0,04978	0,00038
120000	66,67	0,121	0,06084	0,00046
140000	77,78	0,143	0,07190	0,00055
160000	88,89	0,165	0,08296	0,00063
180000	100,00	0,19	0,09553	0,00073
200000	111,12	0,215	0,10810	0,00083
220000	122,23	0,243	0,12218	0,00093
240000	133,34	0,275	0,13827	0,00106
260000	144,45	0,310	0,15587	0,00119
280000	155,56	0,351	0,17648	0,00135
300000	166,67	0,404	0,20313	0,00155
321500	178,62	0,542	0,27252	0,00208



**Figura 3.23.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1)  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.04% de aditivo



**Figura 3.24.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.04% de aditivo



**Figura 3.25.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.04% de aditivo

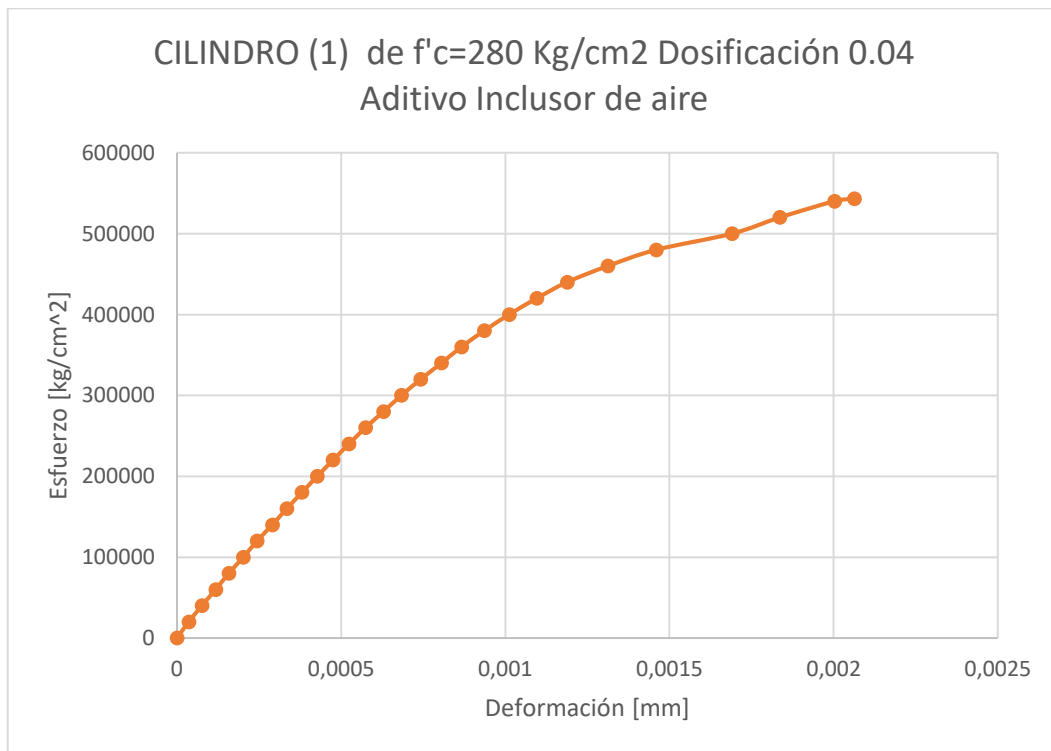
**Tabla 3.79.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.04% de aditivo inclusor de aire

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de <math>f'c=280</math> Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.04% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0
20000	11,46	0,017	0,00854	0,00004
40000	22,93	0,036	0,01808	0,00008
60000	34,39	0,056	0,02813	0,00012
80000	45,86	0,075	0,03767	0,00016
100000	57,32	0,096	0,04822	0,00020
120000	68,79	0,116	0,05827	0,00024
140000	80,25	0,138	0,06932	0,00029
160000	91,71	0,159	0,07987	0,00033
180000	103,18	0,181	0,09092	0,00038
200000	114,64	0,203	0,10197	0,00043
220000	126,11	0,226	0,11352	0,00048
240000	137,57	0,249	0,12507	0,00052
260000	149,04	0,273	0,13713	0,00057
280000	160,50	0,299	0,15019	0,00063
300000	171,96	0,325	0,16325	0,00068
320000	183,43	0,353	0,17731	0,00074
340000	194,89	0,383	0,19238	0,00081
360000	206,36	0,412	0,20695	0,00087
380000	217,82	0,445	0,22353	0,00094
400000	229,29	0,481	0,24161	0,00101
420000	240,75	0,521	0,26170	0,00110
440000	252,21	0,565	0,28380	0,00119
460000	263,68	0,624	0,31344	0,00131
480000	275,14	0,694	0,34860	0,00146
500000	286,61	0,804	0,40385	0,00169
520000	298,07	0,873	0,43851	0,00184
540000	309,54	0,952	0,47819	0,00200
543140	311,34	0,981	0,49276	0,00206

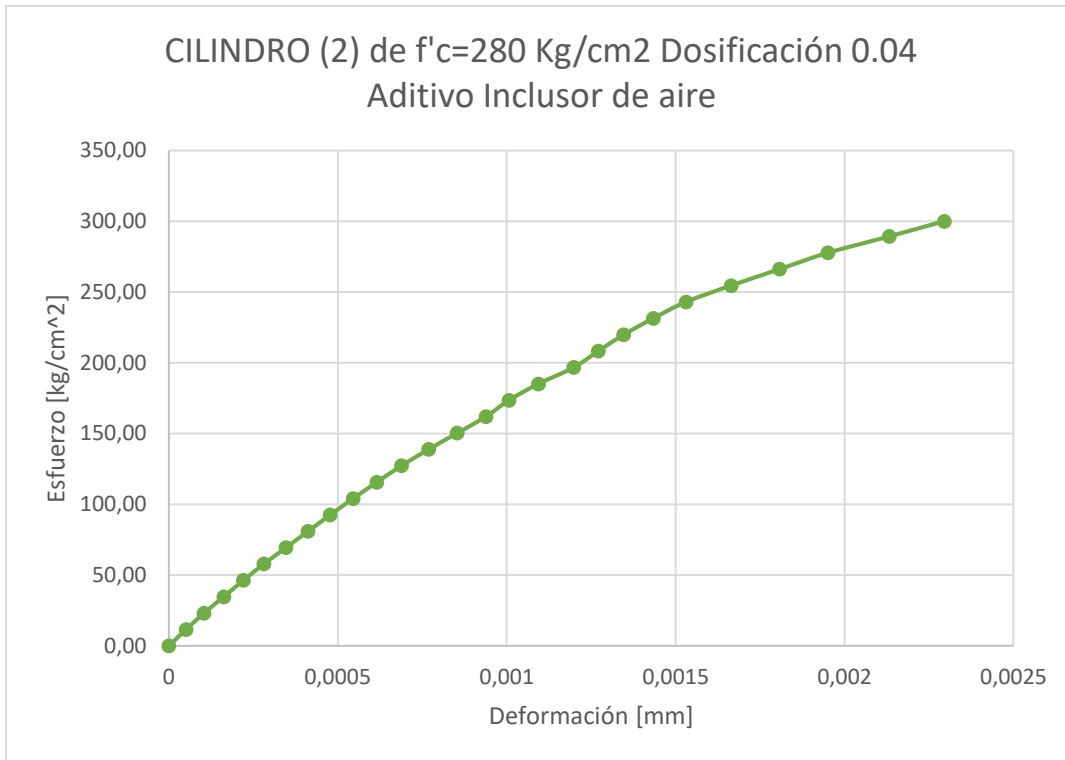
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (2) de f'c=280 Kg/cm2 Dosificación 0.04% Aditivo Inclisor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,57	0,021	0,01034	0,00005
40000	23,15	0,043	0,02118	0,00010
60000	34,72	0,067	0,03301	0,00016
80000	46,29	0,091	0,04483	0,00022
100000	57,87	0,116	0,05714	0,00028
120000	69,44	0,143	0,07044	0,00035
140000	81,01	0,17	0,08374	0,00041
160000	92,59	0,197	0,09704	0,00048
180000	104,16	0,225	0,11084	0,00055
200000	115,73	0,254	0,12512	0,00062
220000	127,31	0,284	0,13990	0,00069
240000	138,88	0,317	0,15616	0,00077
260000	150,45	0,352	0,17340	0,00085
280000	162,03	0,387	0,19064	0,00094
300000	173,60	0,415	0,20443	0,00101
320000	185,17	0,451	0,22217	0,00109
340000	196,75	0,494	0,24335	0,00120
360000	208,32	0,524	0,25813	0,00127
380000	219,89	0,555	0,27340	0,00135
400000	231,47	0,591	0,29113	0,00143
420000	243,04	0,631	0,31084	0,00153
440000	254,61	0,686	0,33793	0,00166
460000	266,18	0,745	0,36700	0,00181
480000	277,76	0,804	0,39606	0,00195
500000	289,33	0,879	0,43301	0,00213
518610	300,10	0,946	0,46601	0,00230

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de f'c=280 Kg/cm2 Dosificación 0.04 Aditivo Inclisor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,55	0,014	0,00696	0,00004
40000	23,09	0,032	0,01592	0,00010
60000	34,64	0,051	0,02537	0,00016

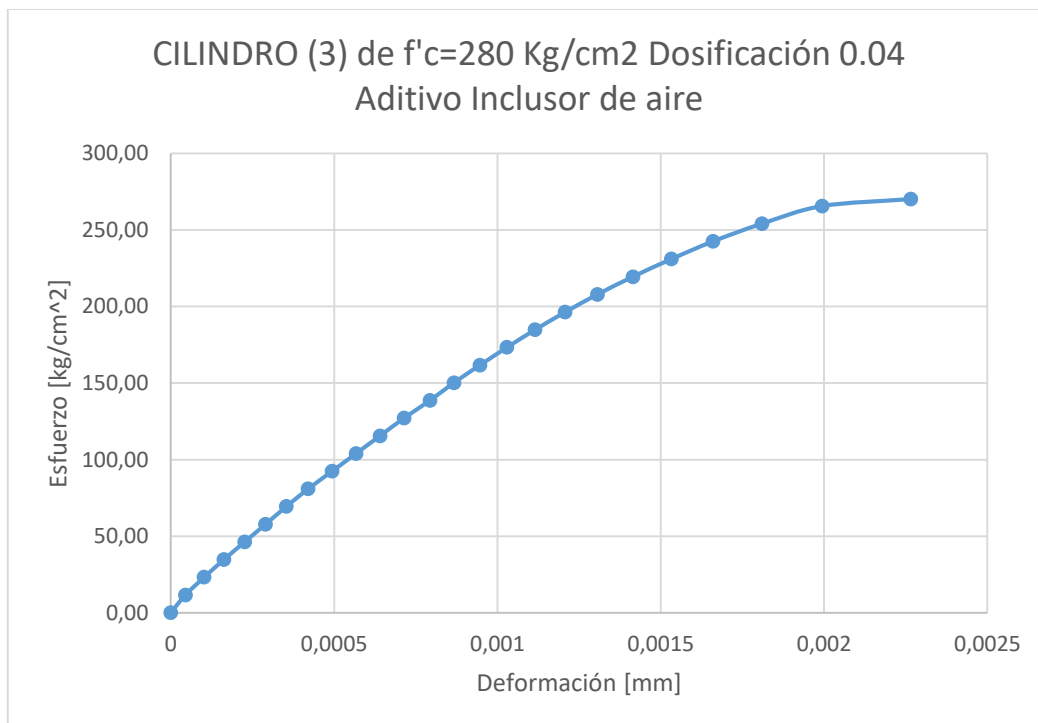
80000	46,19	0,071	0,03532	0,00023
100000	57,73	0,091	0,04527	0,00029
120000	69,28	0,111	0,05522	0,00035
140000	80,82	0,132	0,06567	0,00042
160000	92,37	0,155	0,07711	0,00049
180000	103,92	0,178	0,08855	0,00057
200000	115,46	0,201	0,10000	0,00064
220000	127,01	0,224	0,11144	0,00071
240000	138,56	0,249	0,12387	0,00079
260000	150,10	0,272	0,13532	0,00087
280000	161,65	0,297	0,14775	0,00095
300000	173,19	0,323	0,16069	0,00103
320000	184,74	0,35	0,17412	0,00112
340000	196,29	0,379	0,18855	0,00121
360000	207,83	0,41	0,20397	0,00131
380000	219,38	0,444	0,22088	0,00141
400000	230,93	0,481	0,23929	0,00153
420000	242,47	0,521	0,25919	0,00166
440000	254,02	0,568	0,28257	0,00181
460000	265,56	0,626	0,31143	0,00199
467940	270,15	0,711	0,35371	0,00227



**Figura 3.26.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1)  $f'c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup> de hormigón con 0.04% de aditivo



**Figura 3.27.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.04% de aditivo



**Figura 3.28.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.04% de aditivo

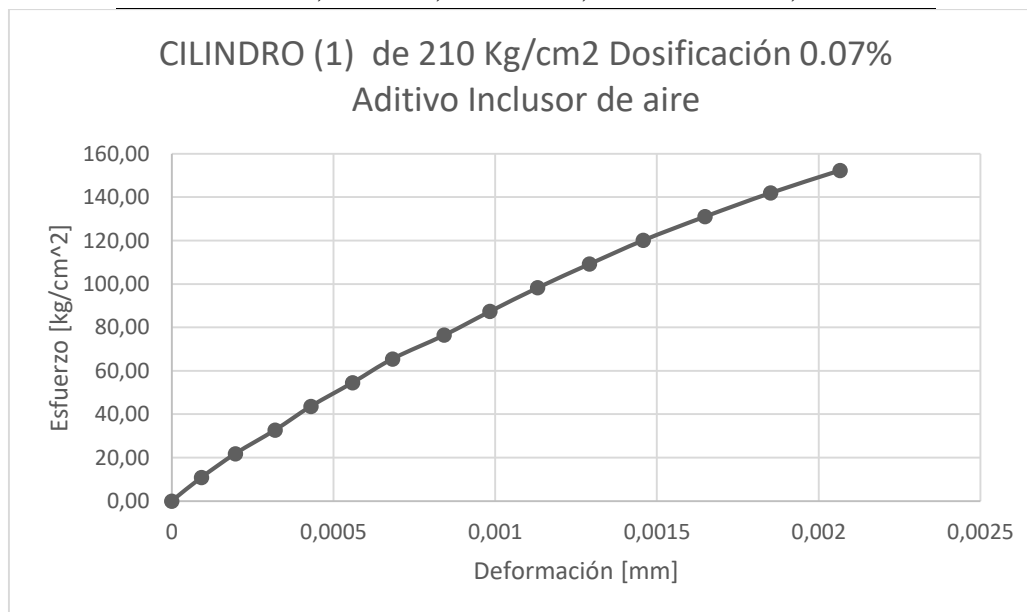
**Tabla 3.80.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo inclusor de aire

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de 210 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.07% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	10,92	0,015	0,00749	0,00009
40000	21,83	0,032	0,01598	0,00020
60000	32,75	0,052	0,02597	0,00032
80000	43,67	0,070	0,03496	0,00043
100000	54,59	0,091	0,04545	0,00056
120000	65,50	0,111	0,05544	0,00068
140000	76,42	0,137	0,06843	0,00084
160000	87,34	0,160	0,07992	0,00098
180000	98,25	0,184	0,09191	0,00113
200000	109,17	0,21	0,10489	0,00129
220000	120,09	0,237	0,11838	0,00146
240000	131,01	0,268	0,13386	0,00165
260000	141,92	0,301	0,15034	0,00185
279090	152,34	0,336	0,16783	0,00207

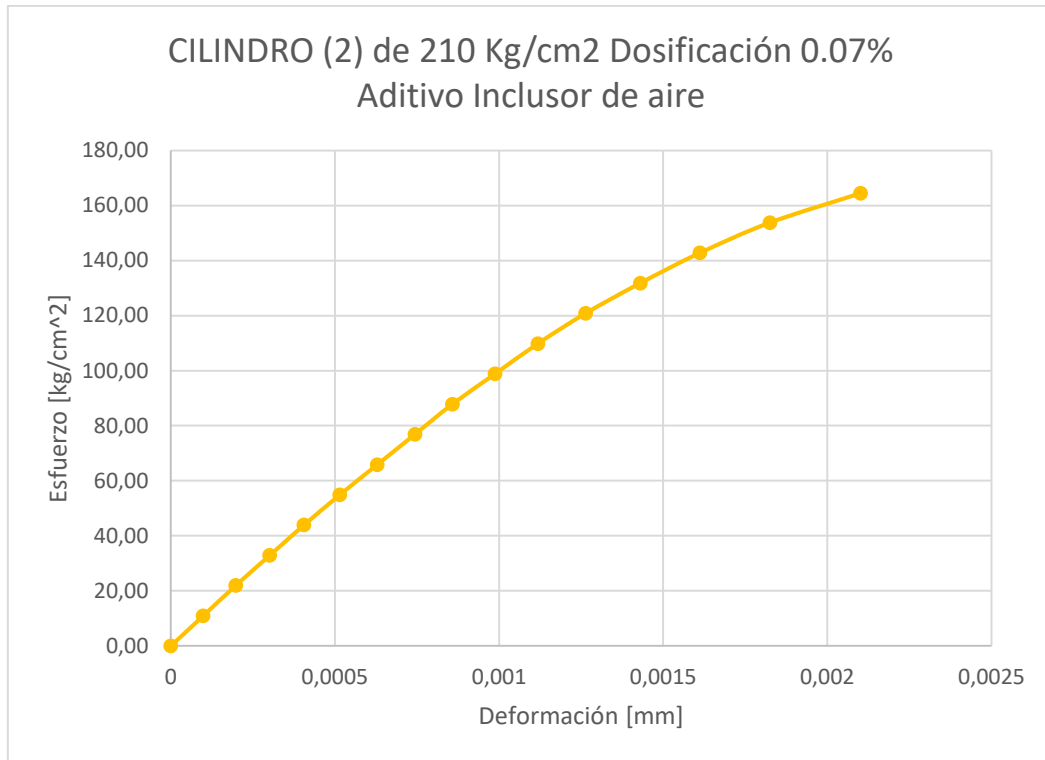
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (2) de 210 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.07% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	10,99	0,019	0,00955	0,00010
40000	21,97	0,038	0,01911	0,00020
60000	32,96	0,058	0,02916	0,00030
80000	43,95	0,078	0,03922	0,00041
100000	54,93	0,099	0,04978	0,00051
120000	65,92	0,121	0,06084	0,00063
140000	76,91	0,143	0,07190	0,00074
160000	87,90	0,165	0,08296	0,00086
180000	98,88	0,19	0,09553	0,00099
200000	109,87	0,215	0,10810	0,00112

220000	120,86	0,243	0,12218	0,00126
240000	131,84	0,275	0,13827	0,00143
260000	142,83	0,310	0,15587	0,00161
280000	153,82	0,351	0,17648	0,00183
299410	164,48	0,404	0,20313	0,00210

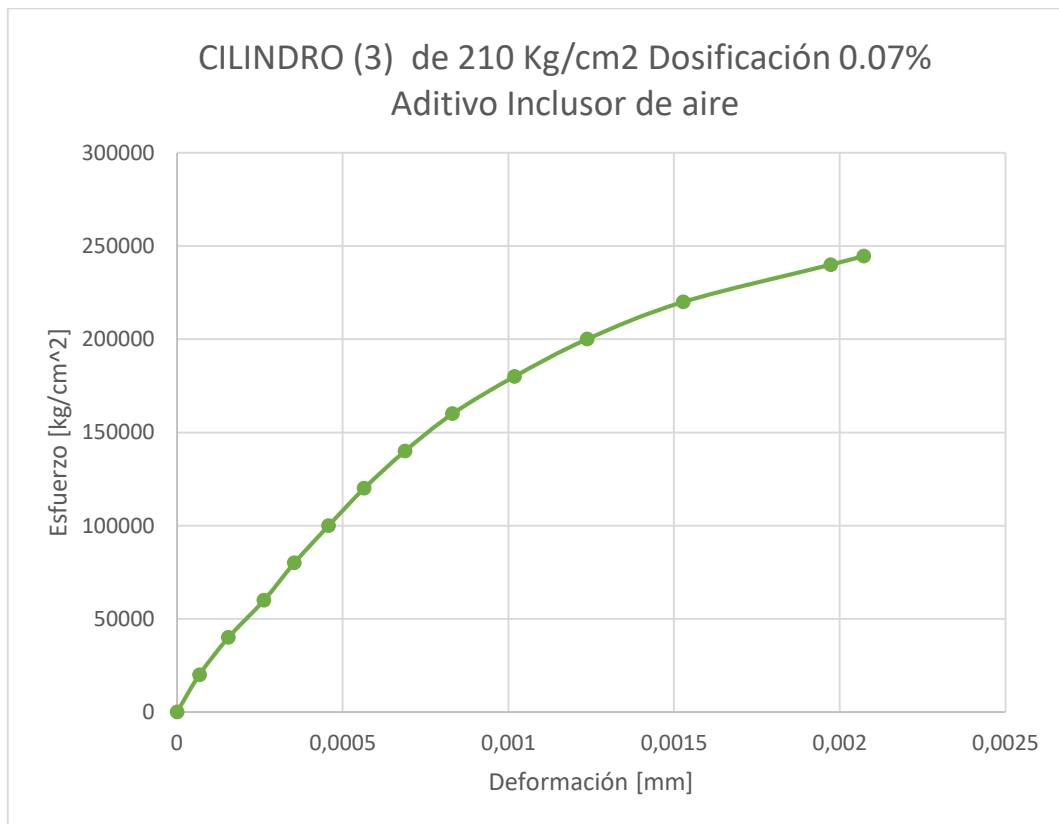
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de 210 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.07% Aditivo Incluser de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,00	0,017	0,00858	0,00007
40000	22,00	0,039	0,01969	0,00016
60000	33,00	0,066	0,03332	0,00026
80000	44,00	0,089	0,04493	0,00035
100000	55,00	0,115	0,05805	0,00046
120000	65,99	0,142	0,07168	0,00056
140000	76,99	0,173	0,08733	0,00069
160000	87,99	0,209	0,10550	0,00083
180000	98,99	0,256	0,12922	0,00102
200000	109,99	0,311	0,15699	0,00124
220000	120,99	0,384	0,19384	0,00153
240000	131,99	0,496	0,25037	0,00197
244620	134,53	0,521	0,26299	0,00207



**Figura 3.29.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1)  $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.07% de aditivo



**Figura 3.30.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.07% de aditivo



**Figura 3.31.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.07% de aditivo

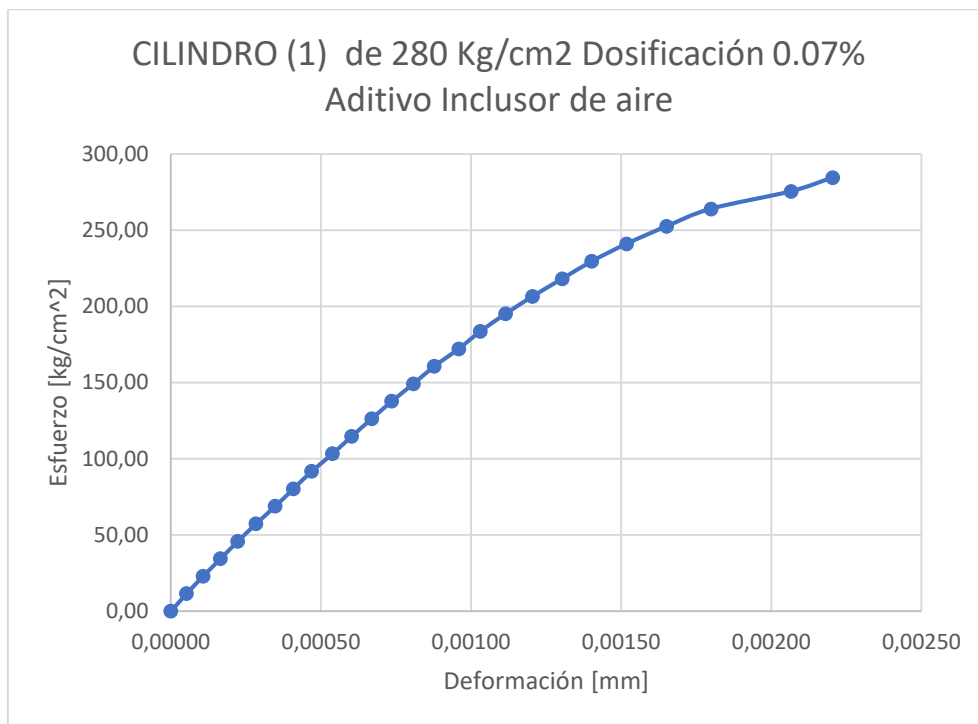
**Tabla 3.81.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de hormigón con 0.07% de aditivo inclusor de aire

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de 280 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.07% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,47	0,018	0,00897	0,00005
40000	22,95	0,037	0,01844	0,00011
60000	34,42	0,057	0,02841	0,00017
80000	45,89	0,077	0,03838	0,00022
100000	57,37	0,098	0,04885	0,00028
120000	68,84	0,120	0,05982	0,00035
140000	80,31	0,141	0,07028	0,00041
160000	91,79	0,162	0,08075	0,00047
180000	103,26	0,186	0,09271	0,00054
200000	114,73	0,208	0,10368	0,00060
220000	126,21	0,231	0,11515	0,00067
240000	137,68	0,254	0,12661	0,00074
260000	149,15	0,279	0,13907	0,00081
280000	160,63	0,303	0,15103	0,00088
300000	172,10	0,331	0,16499	0,00096
320000	183,58	0,356	0,17745	0,00103
340000	195,05	0,385	0,19191	0,00112
360000	206,52	0,416	0,20736	0,00121
380000	218,00	0,45	0,22431	0,00130
400000	229,47	0,484	0,24126	0,00140
420000	240,94	0,524	0,26119	0,00152
440000	252,42	0,57	0,28412	0,00165
460000	263,89	0,621	0,30955	0,00180
480000	275,36	0,713	0,35540	0,00207
495700	284,37	0,761	0,37933	0,00220

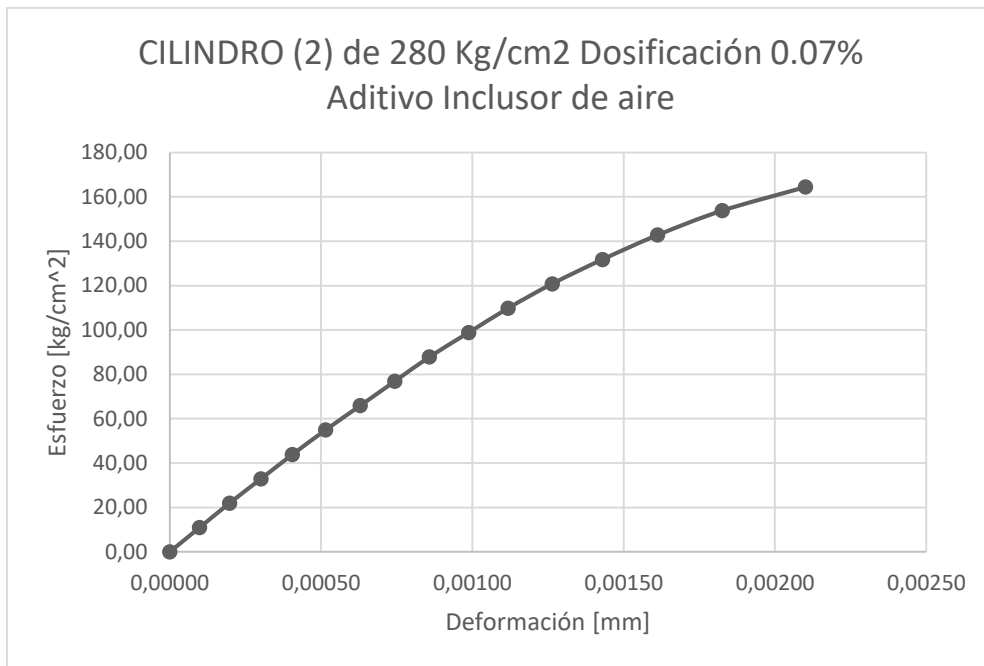
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (2) de 280 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.07%</b>				
<b>Aditivo Incluser de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,35	0,01	0,00498	0,00002
40000	22,71	0,014	0,00698	0,00003
60000	34,06	0,031	0,01545	0,00007
80000	45,42	0,056	0,02791	0,00013
100000	56,77	0,093	0,04635	0,00022
120000	68,13	0,126	0,06279	0,00029
140000	79,48	0,163	0,08123	0,00038
160000	90,84	0,196	0,09768	0,00046
180000	102,19	0,229	0,11412	0,00053
200000	113,55	0,267	0,13306	0,00062
220000	124,90	0,301	0,15001	0,00070
240000	136,26	0,338	0,16845	0,00079
260000	147,61	0,381	0,18988	0,00089
280000	158,97	0,418	0,20831	0,00097
300000	170,32	0,460	0,22925	0,00107
320000	181,67	0,503	0,25067	0,00117
340000	193,03	0,547	0,27260	0,00128
360000	204,38	0,595	0,29652	0,00139
380000	215,74	0,644	0,32094	0,00150
400000	227,09	0,684	0,34088	0,00160
420000	238,45	0,713	0,35533	0,00166
440000	249,80	0,761	0,37925	0,00177
460000	261,16	0,805	0,40118	0,00188
480000	272,51	0,859	0,42809	0,00200
490200	278,30	0,896	0,44653	0,00209

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de 280 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.07%</b>				
<b>Aditivo Incluser de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0	0
20000	11,34	0,017	0,008494416	0,00003
40000	22,67	0,036	0,017988175	0,00007
60000	34,01	0,056	0,027981605	0,00011
80000	45,34	0,075	0,037475364	0,00015

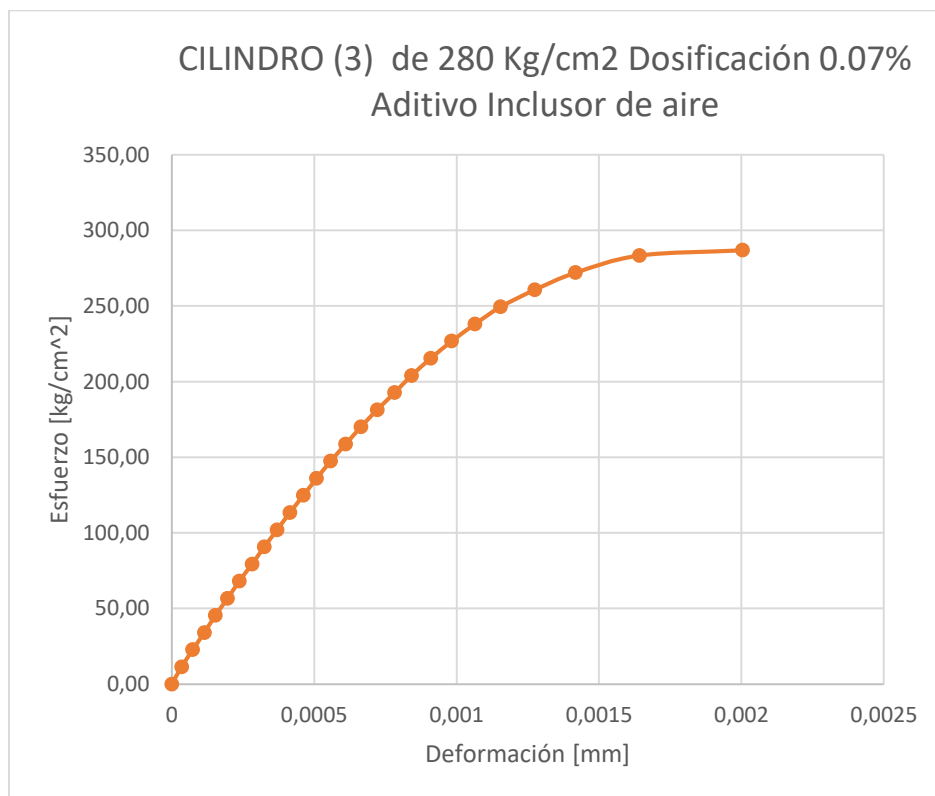
100000	56,68	0,096	0,047968466	0,00020
120000	68,02	0,116	0,057961897	0,00024
140000	79,35	0,138	0,06895467	0,00028
160000	90,69	0,159	0,079447772	0,00032
180000	102,02	0,181	0,090440546	0,00037
200000	113,36	0,203	0,101433319	0,00041
220000	124,69	0,226	0,112925764	0,00046
240000	136,03	0,249	0,124418209	0,00051
260000	147,37	0,273	0,136410326	0,00056
280000	158,70	0,299	0,149401785	0,00061
300000	170,04	0,325	0,162393245	0,00066
320000	181,37	0,353	0,176384048	0,00072
340000	192,71	0,383	0,191374193	0,00078
360000	204,05	0,412	0,205864667	0,00084
380000	215,38	0,445	0,222353828	0,00091
400000	226,72	0,481	0,240342003	0,00098
420000	238,05	0,521	0,260328863	0,00106
440000	249,39	0,565	0,28231441	0,00115
460000	260,73	0,624	0,31179503	0,00127
480000	272,06	0,694	0,346772037	0,00142
500000	283,40	0,804	0,401735904	0,00164
506100	286,86	0,981	0,490177764	0,00200



**Figura 3.32.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1)  $f'_c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup> de hormigón con 0.07% de aditivo



**Figura 3.33.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.07% de aditivo



**Figura 3.34.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.07% de aditivo

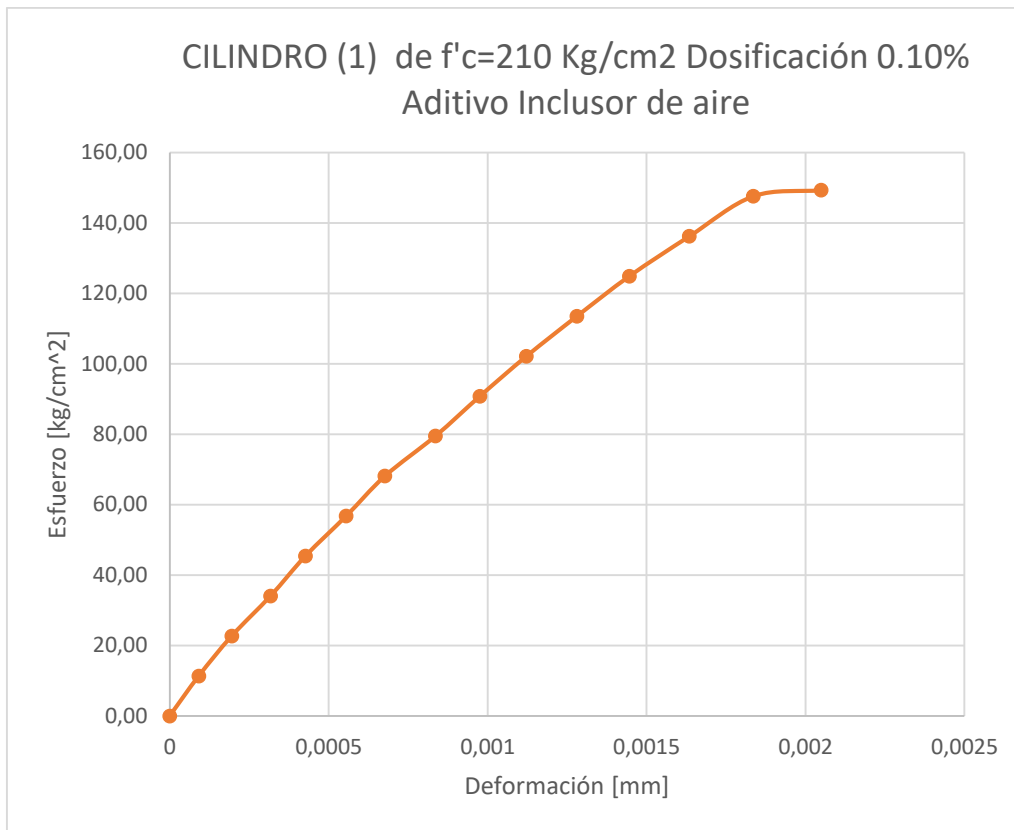
**Tabla 3.82.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo inclusor de aire

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de <math>f'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.10% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,35	0,015	0,00743	0,00009
40000	22,71	0,032	0,01585	0,00020
60000	34,06	0,052	0,02576	0,00032
80000	45,42	0,070	0,03468	0,00043
100000	56,77	0,091	0,04508	0,00056
120000	68,13	0,111	0,05499	0,00068
140000	79,48	0,137	0,06787	0,00084
160000	90,84	0,160	0,07927	0,00098
180000	102,19	0,184	0,09116	0,00112
200000	113,55	0,21	0,10404	0,00128
220000	124,90	0,237	0,11741	0,00145
240000	136,26	0,268	0,13277	0,00164
260000	147,61	0,301	0,14912	0,00184
263020	149,33	0,336	0,16646	0,00205

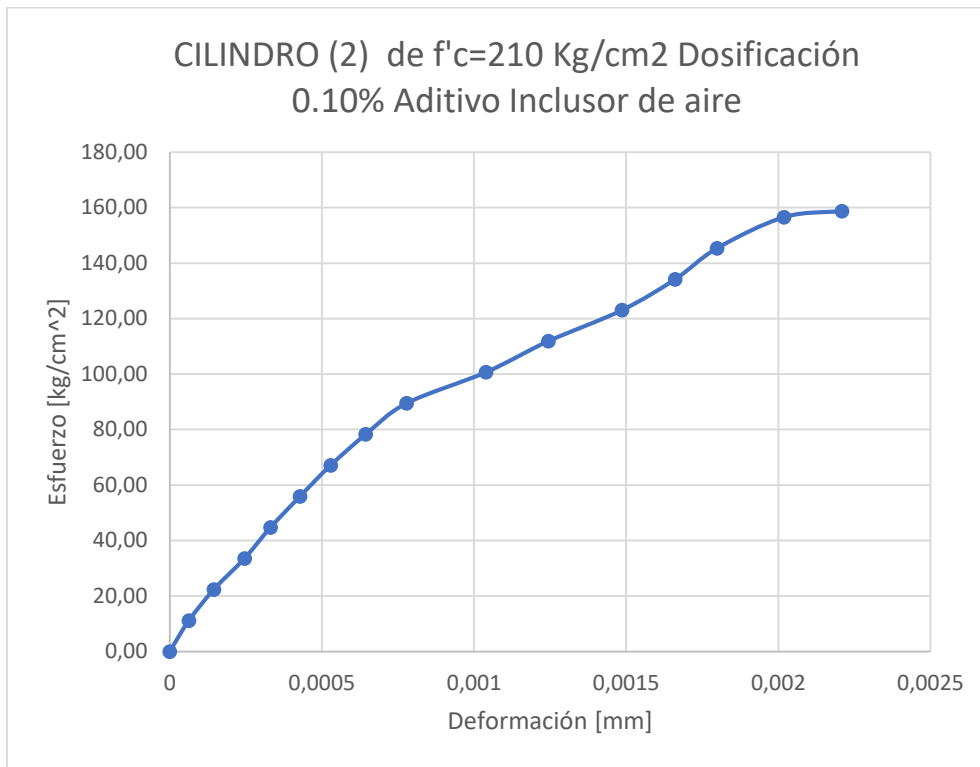
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (2) de <math>f'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.10% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,19	0,017	0,00857	0,00006
40000	22,37	0,039	0,01967	0,00015
60000	33,56	0,066	0,03328	0,00025
80000	44,74	0,089	0,04488	0,00033
100000	55,93	0,115	0,05799	0,00043
120000	67,11	0,142	0,07161	0,00053
140000	78,30	0,173	0,08724	0,00064
160000	89,48	0,209	0,10539	0,00078
180000	100,67	0,279	0,14069	0,00104
200000	111,85	0,334	0,16843	0,00124

220000	123,04	0,399	0,20120	0,00149
240000	134,22	0,446	0,22491	0,00166
260000	145,41	0,483	0,24356	0,00180
280000	156,60	0,542	0,27332	0,00202
283930	158,79	0,593	0,29903	0,00221

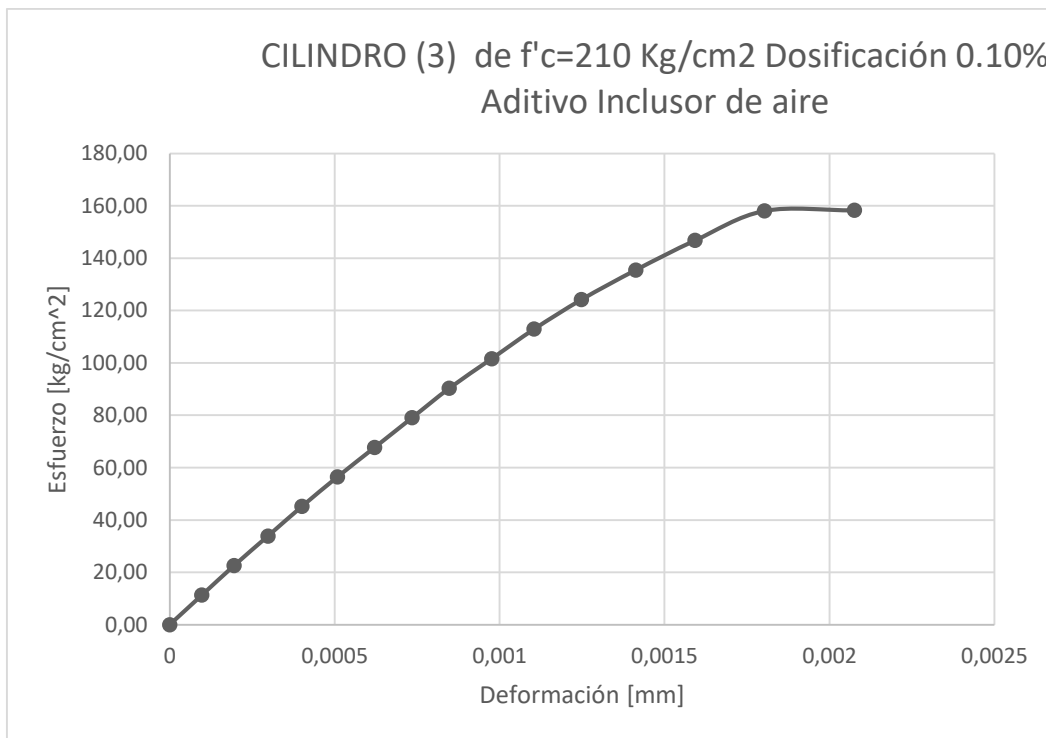
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de f'c=210 Kg/cm2 Dosificación 0.10% Aditivo Includor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm^2]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,29	0,019	0,00944	0,00010
40000	22,58	0,038	0,01887	0,00020
60000	33,87	0,058	0,02881	0,00030
80000	45,16	0,078	0,03874	0,00040
100000	56,45	0,099	0,04917	0,00051
120000	67,74	0,121	0,06010	0,00062
140000	79,03	0,143	0,07103	0,00073
160000	90,32	0,165	0,08196	0,00085
180000	101,61	0,19	0,09437	0,00098
200000	112,90	0,215	0,10679	0,00110
220000	124,19	0,243	0,12070	0,00125
240000	135,48	0,275	0,13659	0,00141
260000	146,76	0,310	0,15398	0,00159
280000	158,05	0,351	0,17434	0,00180
280390	158,27	0,404	0,20067	0,00208



**Figura 3.35.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1)  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.10% de aditivo



**Figura 3.36** .Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.10% de aditivo



**Figura 3.37** .Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  de hormigón con 0.10% de aditivo

**Tabla 3.83.** Tablas de las muestras de deformación para el ensayo de compresión con módulo de elasticidad de  $f'c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de hormigón con 0.10% de aditivo inclusor de aire

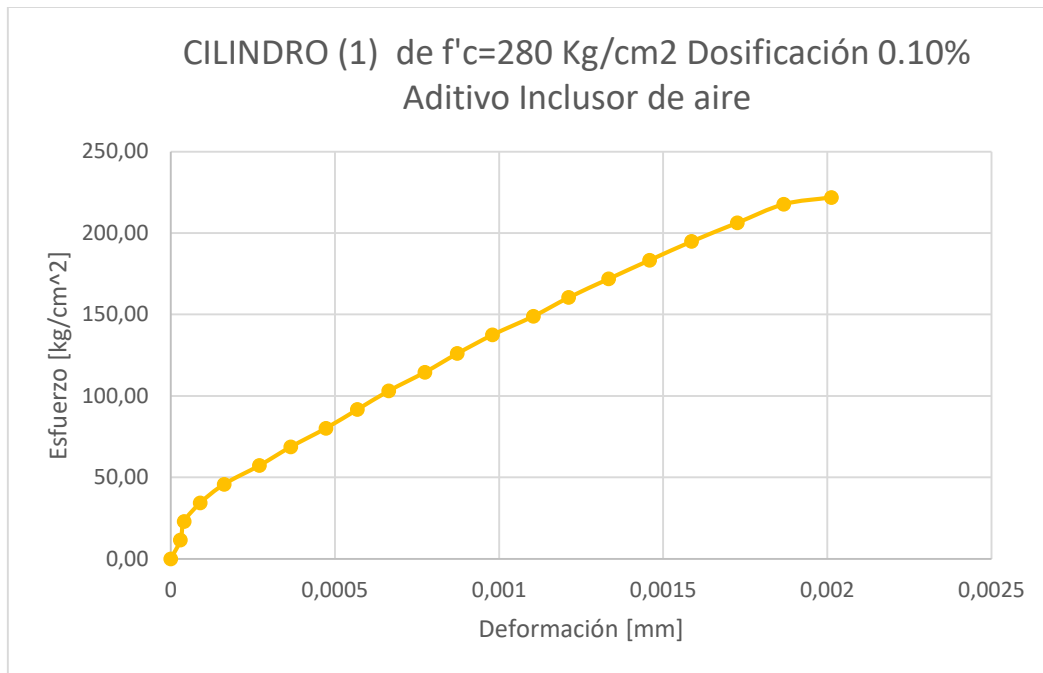
<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (1) de <math>f'c=280</math> Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.10% Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,46	0,01	0,00503	0,00003
40000	22,92	0,014	0,00704	0,00004
60000	34,38	0,031	0,01560	0,00009
80000	45,84	0,056	0,02818	0,00016
100000	57,30	0,093	0,04680	0,00027
120000	68,76	0,126	0,06340	0,00037
140000	80,22	0,163	0,08202	0,00047
160000	91,68	0,196	0,09863	0,00057
180000	103,14	0,229	0,11523	0,00066
200000	114,60	0,267	0,13435	0,00077
220000	126,06	0,301	0,15146	0,00087
240000	137,52	0,338	0,17008	0,00098
260000	148,98	0,381	0,19172	0,00110
280000	160,44	0,418	0,21034	0,00121
300000	171,90	0,460	0,23147	0,00133
320000	183,36	0,503	0,25311	0,00146
340000	194,82	0,547	0,27525	0,00159
360000	206,28	0,595	0,29940	0,00173
380000	217,74	0,644	0,32406	0,00187
387290	221,91	0,694	0,34922	0,00201

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (2) de <math>f'c=280</math> Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.1 Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0,00000	0,00000
20000	11,38	0,018	0,00899	0,00008
40000	22,77	0,037	0,01849	0,00016
60000	34,15	0,057	0,02848	0,00025
80000	45,53	0,077	0,03847	0,00034

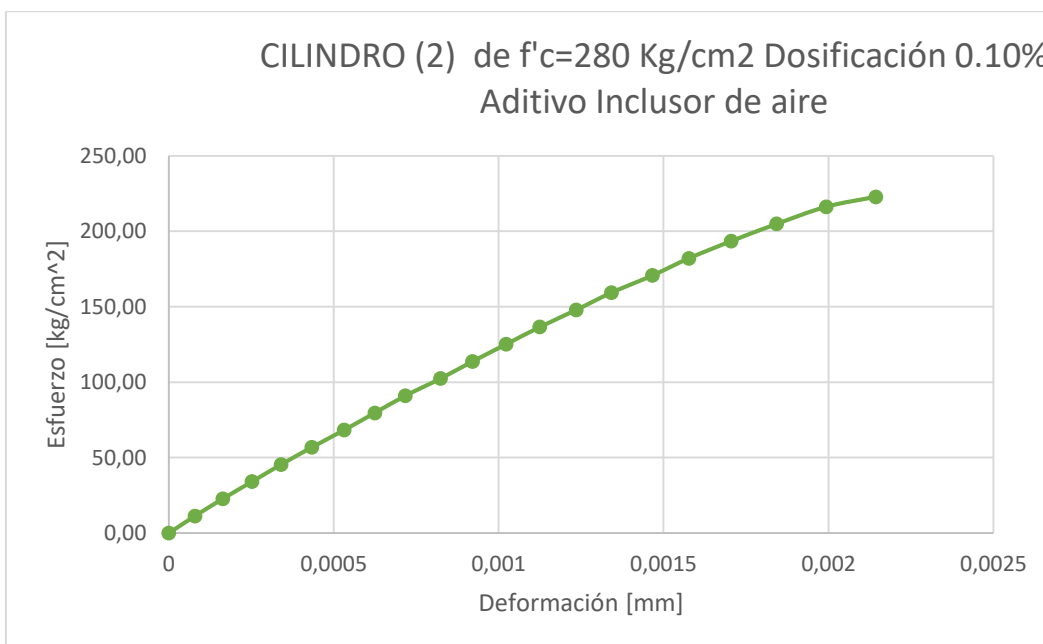
100000	56,92	0,098	0,04896	0,00043
120000	68,30	0,120	0,05996	0,00053
140000	79,68	0,141	0,07045	0,00062
160000	91,07	0,162	0,08094	0,00072
180000	102,45	0,186	0,09293	0,00082
200000	113,83	0,208	0,10393	0,00092
220000	125,22	0,231	0,11542	0,00102
240000	136,60	0,254	0,12691	0,00113
260000	147,98	0,279	0,13940	0,00124
280000	159,37	0,303	0,15139	0,00134
300000	170,75	0,331	0,16538	0,00147
320000	182,13	0,356	0,17787	0,00158
340000	193,52	0,385	0,19236	0,00171
360000	204,90	0,416	0,20785	0,00184
380000	216,28	0,45	0,22484	0,00199
391600	222,88	0,484	0,24183	0,00214

<b>CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN</b>				
<b>CILINDRO (3) de f'c=280 Kg/cm<sup>2</sup> Dosificación 0.10%</b>				
<b>Aditivo Inclusor de aire</b>				
<b>Carga</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Lectura Dial</b>	<b>Deformación</b>	<b>Deformación Unitaria</b>
<b>[N]</b>	<b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	
0	0,00	0	0	0
20000	11,50	0,017	0,00844	0,00005
40000	23,00	0,036	0,01788	0,00010
60000	34,50	0,056	0,02782	0,00015
80000	46,00	0,075	0,03725	0,00020
100000	57,50	0,096	0,04768	0,00026
120000	69,01	0,116	0,05762	0,00031
140000	80,51	0,138	0,06855	0,00037
160000	92,01	0,159	0,07898	0,00043
180000	103,51	0,181	0,08990	0,00049
200000	115,01	0,203	0,10083	0,00055
220000	126,51	0,226	0,11226	0,00061
240000	138,01	0,249	0,12368	0,00067
260000	149,51	0,273	0,13560	0,00073
280000	161,01	0,299	0,14852	0,00080
300000	172,51	0,325	0,16143	0,00087
320000	184,02	0,353	0,17534	0,00095
340000	195,52	0,383	0,19024	0,00103
360000	207,02	0,412	0,20464	0,00111
380000	218,52	0,445	0,22103	0,00120

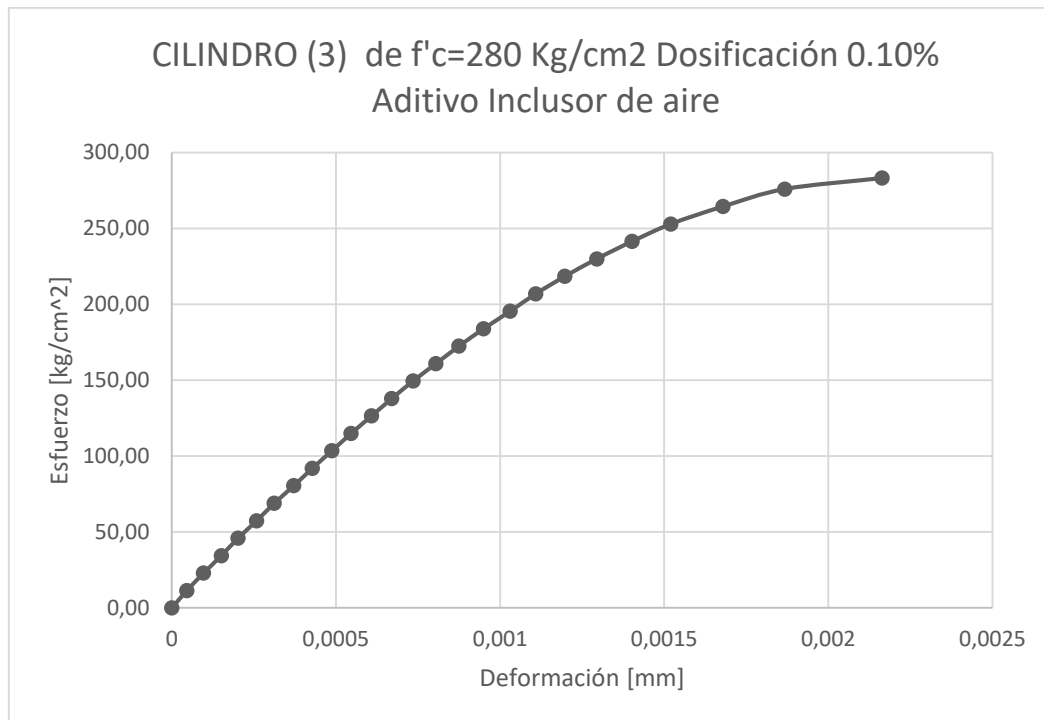
400000	230,02	0,481	0,23892	0,00129
420000	241,52	0,521	0,25878	0,00140
440000	253,02	0,565	0,28064	0,00152
460000	264,52	0,624	0,30995	0,00168
480000	276,02	0,694	0,34471	0,00187
492560	283,25	0,804	0,39935	0,00216



**Figura 3.38.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (1)  $f'c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup> de hormigón con 0.10% de aditivo



**Figura 3.39.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (2)  $f'c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup> de hormigón con 0.10% de aditivo



**Figura 3.40.** Gráfica esfuerzo - deformación cilindro (3)  $f'c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup> de hormigón con 0.10% de aditivo

### 3.4 Resultados de los ensayos

Se presenta las tablas resumen con los resultados obtenidos de cada ensayo del hormigón elaborado con incluser de aire.

#### 3.3.1 Contenido de aire

**Tabla 3.84.** Resultados del contenido de aire en el hormigón

Ensayo	Resistencia esperada (Kg/cm <sup>2</sup> )	% de aditivo incluser de aire	Contenido de aire (%)
Contenido de aire	210	0%	1,50
Contenido de aire	280	0%	1,25
Contenido de aire	210	0.04%	2,75
Contenido de aire	280	0.04%	3,00
Contenido de aire	210	0.07%	3.75
Contenido de aire	280	0.07%	4,25
Contenido de aire	210	0.10%	4.50
Contenido de aire	280	0.10%	4,50

### 3.3.2 Resistencia a la compresión

*Tabla 3.85. Resultados de la resistencia a la compresión simple*

<b>Ensayo</b>	<b>Resistencia esperada (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b># Días de la edad del hormigón</b>	<b>% de aditivo inductor de aire</b>	<b>Resistencia promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Resistencia a la compresión	210	7	0,00%	106,28	100,74
Resistencia a la compresión	210	28	0,00%	226,82	221,75
Resistencia a la compresión	280	7	0,00%	170,26	165,52
Resistencia a la compresión	280	28	0,00%	304,08	298,70
Resistencia a la compresión	210	7	0,04%	104,90	97,24
Resistencia a la compresión	210	28	0,04%	192,30	182,36
Resistencia a la compresión	280	7	0,04%	161,29	157,25
Resistencia a la compresión	280	28	0,04%	288,48	278,54
Resistencia a la compresión	210	7	0,07%	102,18	86,26
Resistencia a la compresión	210	28	0,07%	180,88	153,82
Resistencia a la compresión	280	7	0,07%	152,86	147,24
Resistencia a la compresión	280	28	0,07%	270,63	262,71
Resistencia a la compresión	210	7	0,10%	91,69	65,92
Resistencia a la compresión	210	28	0,10%	162,41	150,09
Resistencia a la compresión	280	7	0,10%	143,27	140,26
Resistencia a la compresión	280	28	0,10%	255,92	251,34

### 3.3.3 Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad

*Tabla 3.86. Resultados de la resistencia a la compresión simple por módulo de elasticidad*

Ensayo	Resistencia esperada (Kg/cm <sup>2</sup> )	# Días de la edad del hormigón	% de aditivo inductor de aire	Módulo de elasticidad promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0%	196669,17
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0%	261135,88
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0.04%	189195,58
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0.04%	246362,94
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0.07%	174459,55
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0.07%	246250,73
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0.10%	172239,90
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0.10%	223745,69

*Tabla 3.87. Resultado del módulo de elasticidad obtenido en los ensayos*

Ensayo	Resistencia esperada (Kg/cm <sup>2</sup> )	# Días de la edad del hormigón	% de aditivo inductor de aire	$\alpha$ promedio	$\gamma$ promedio
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0%	14142,58	0,1378
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0%	14596,11	0,1433
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0.04%	14124,79	0,1429
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0.04%	14551,28	0,1410
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0.07%	14038,98	0,1398
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0.07%	14499,72	0,1448
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	210	28	0.10%	14007,14	0,1402
Resistencia a la compresión por módulo de elasticidad	280	28	0.10%	14387,82	0,1513

### 3.3.4 Resistencia a la flexión

Tabla 3.88. Resultados de la resistencia a flexión

Ensayo	Resistencia a la compresión esperada (Kg/cm <sup>2</sup> )	# Días de la edad del hormigón	% de aditivo inclusor de aire	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia característica (Kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la flexión	210	28	0,00%	45,66	44,59
Resistencia a la flexión	280	28	0,00%	58,81	54,35
Resistencia a la flexión	210	28	0,04%	40,28	36,57
Resistencia a la flexión	280	28	0,04%	49,02	45,76
Resistencia a la flexión	210	28	0,07%	33,36	29,05
Resistencia a la flexión	280	28	0,07%	43,50	39,64
Resistencia a la flexión	210	28	0,10%	26,69	20,63
Resistencia a la flexión	280	28	0,10%	41,81	37,40

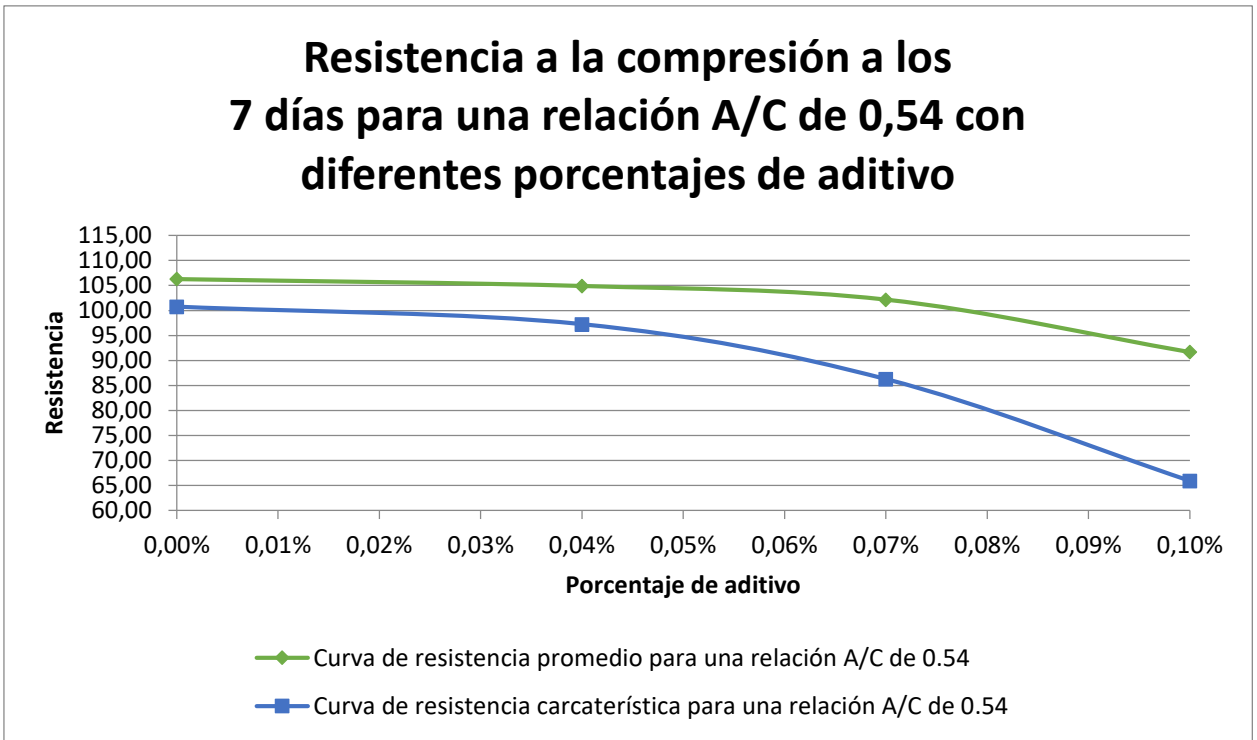
#### **4 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- De acuerdo a los asentamientos obtenidos en las diferentes dosificaciones, se puede observar que la mezcla en estado fresco con el uso del aditivo inclusor de aire presenta una mejora en la trabajabilidad, puesto que el aditivo reemplaza a los granos más finos de la arena lo que permite que las burbujas producidas por el aditivo se distribuyan de manera uniforme en la pasta cementante de la mezcla, logrando reducir su permeabilidad y cumpliendo con los requisitos esperados, se acepta el hormigón obtenido para obtener las probetas necesarias para la realización de los ensayos.
- En el diseño de las diferentes dosificaciones de hormigón se mantiene constante la relación agua – cemento, el objetivo es verificar que sucede con la mezcla de hormigón, esperando que la resistencia esperada no se reduzca significativamente, sabiendo que al agregar el aditivo inclusor de aire lo que castiga es la resistencia al mantener la misma relación pero se espera que el hormigón adquiriera una mayor durabilidad.
- Las probetas de hormigón permanecieron en el cuarto de curado para evitar que pierdan humedad, se pudo apreciar también que los cilindros y viguetas que fueron tomados en las dosificaciones con aditivo se notaba un menor peso por lo que se comprueba que con la adición del inclusor de aire en el hormigón este se vuelve más liviano porque presenta menos cantidad de áridos, por lo que se puede tomar este parámetro como un indicativo de pérdida en la resistencia esperada.
- Se presenta un resumen de las principales propiedades del hormigón que fueron influenciadas por la adición del aditivo inclusor de aire, se debe tener en consideración que no todas las propiedades son aplicables pues dependerá de las condiciones técnicas del diseño y cómo se realizó la mezcla del hormigón, y de los ensayos a realizarse.

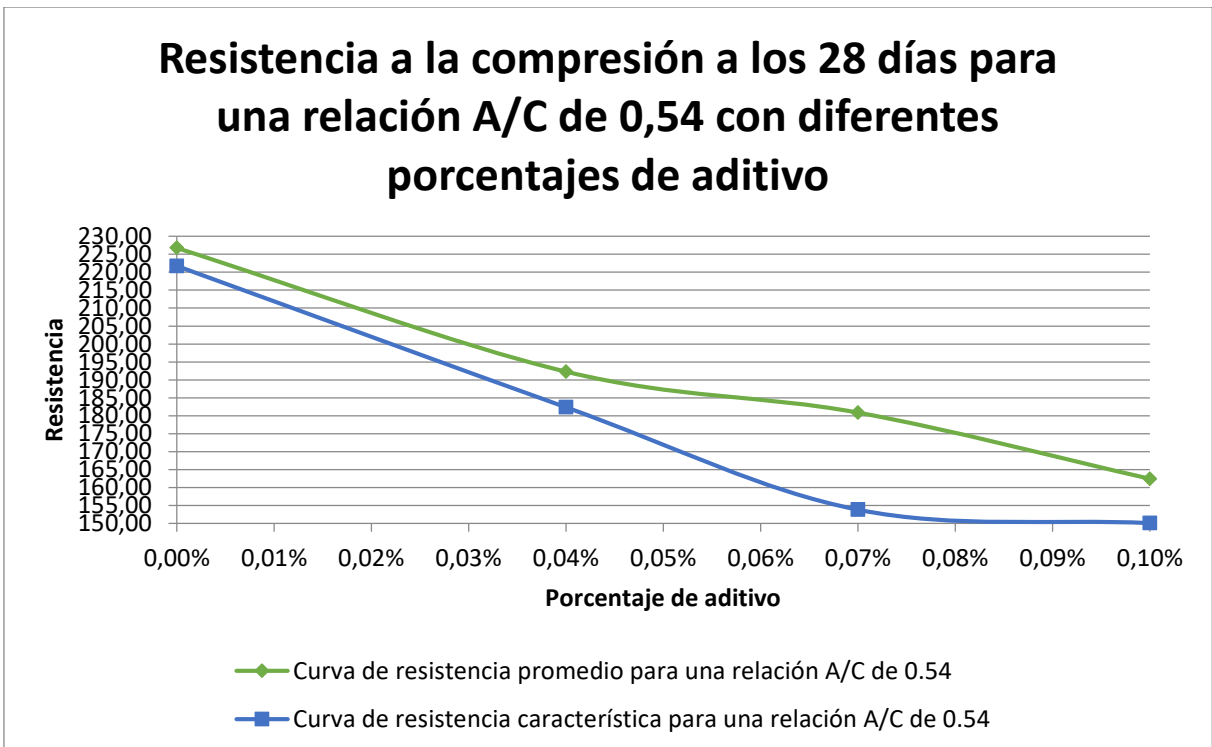
**Tabla 4.1.** Propiedades físico mecánicas del hormigón afectadas por la adición del aditivo inclusor de aire

<b>Propiedad</b>	<b>Efecto</b>
Abrasión	Poco efecto, pues la disminución de la resistencia disminuye la resistencia a la abrasión.
Absorción	Poco efecto
Revenimiento (Asentamiento)	Aumento según el incremento del porcentaje de aire aproximadamente 25 mm por cada 1 punto porcentual de adición de aditivo.
Cantidad de agua necesaria para obtener el mismo asentamiento	Disminuye aproximadamente entre el 3 a 6 Kg/m <sup>3</sup> por cada 1 punto porcentual de adición de aire
Sangrado (exudación)	Disminuye considerablemente
Permeabilidad	Aumento considerable, pues como la relación agua – cemento se mantuvo la permeabilidad no disminuyo.
Resistencia a la compresión simple	Reduce aproximadamente entre el 2 al 6% por cada 1 punto porcentual de adición de aire.
Resistencia a la flexión	Reduce aproximadamente entre el 2 al 4% por la adición de 1 punto porcentual de aire.
Trabajabilidad	Aumenta con la adición del aire.

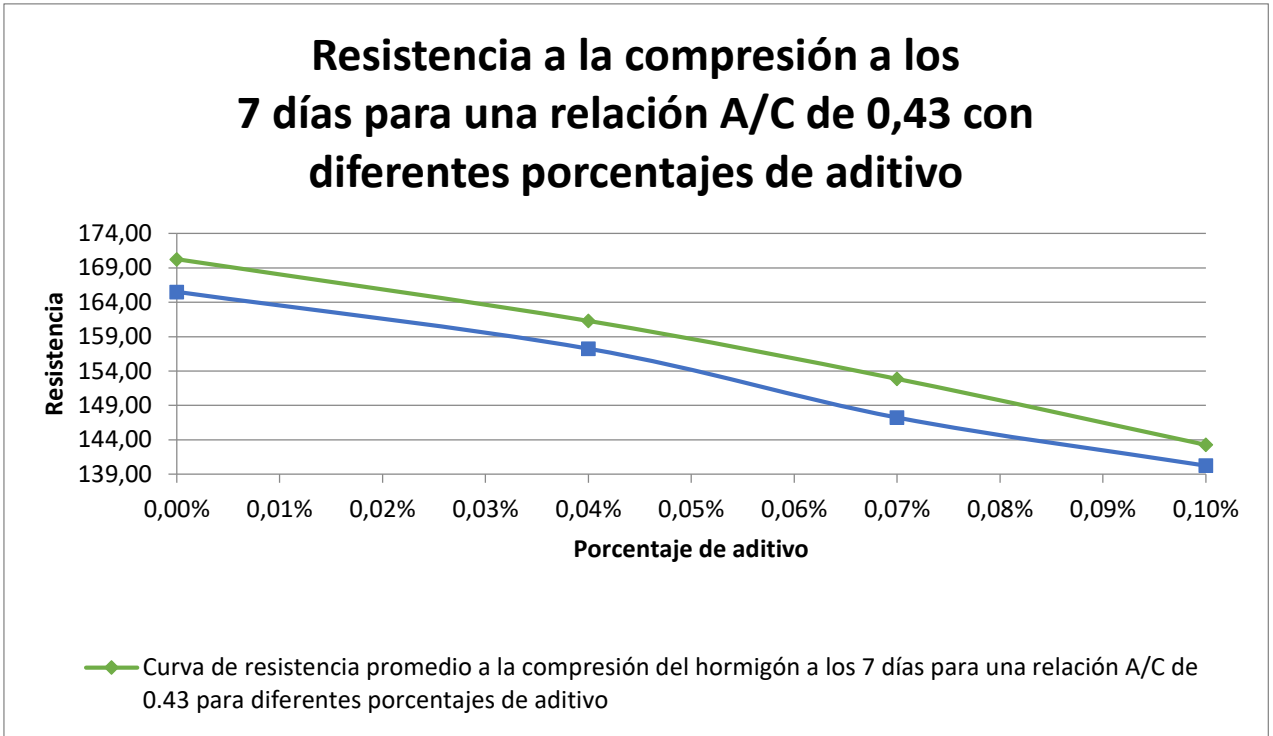
- En la siguiente gráfica se puede evidenciar que de acuerdo al porcentaje de aditivo la resistencia a la compresión del hormigón presenta un decrecimiento no muy variado, se puede observar que a mayor cantidad de aditivo existe una reducción mayor de la resistencia. El cálculo de  $f'c$  característico se lo realizó en función a la resistencia promedio y la desviación estándar de acuerdo al número de cilindros ensayados. se establece el evidente decremento de la resistencia al aumentar el porcentaje de aditivo, esto nos indica que mientras mayor sea la cantidad de aditivo agregado a la dosificación va a existir una mayor variación en la resistencia, si la relación agua – cemento se mantiene. Caso contrario se deberá usar la relación agua - cemento más adecuado para obtener la resistencia esperada a los 28 días. El cálculo del  $f'c$  Promedio y el  $f'c$  característico, muestra la desviación que existe debido al número de ensayos que se realiza para cada dosificación.



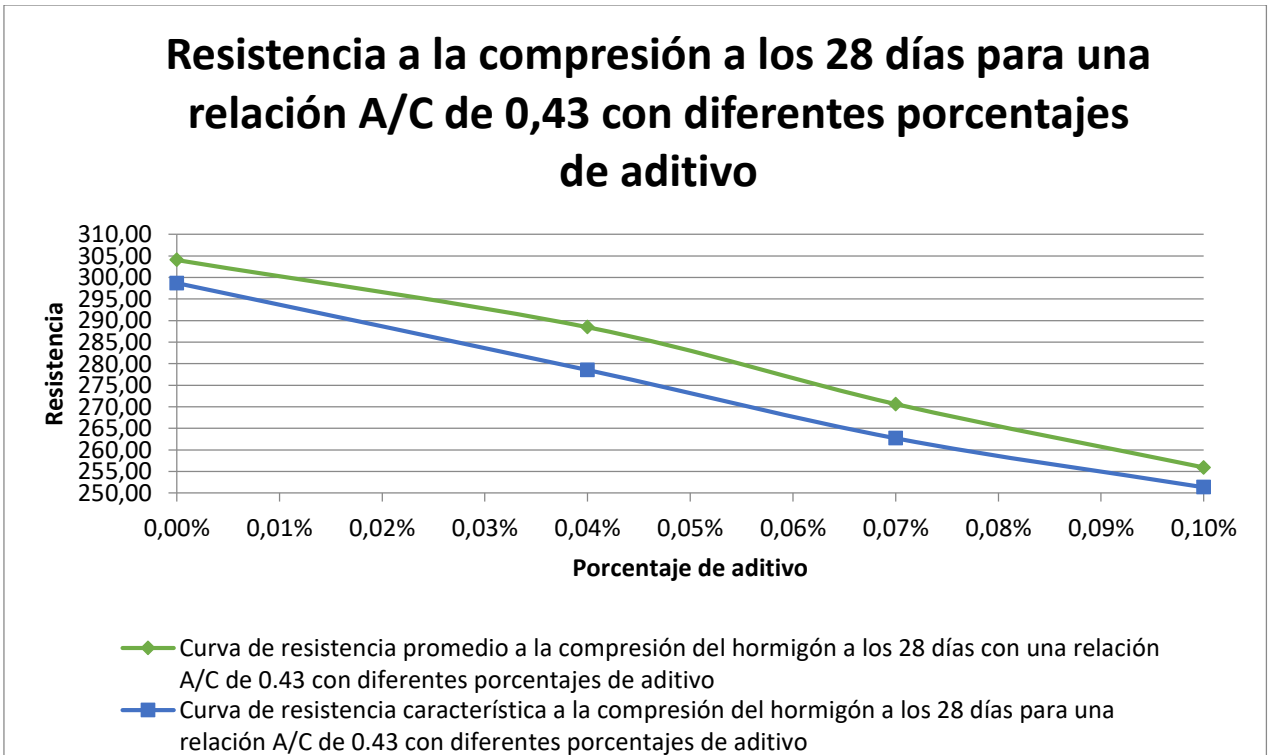
*Figura 4.1. Curva de la resistencia promedio y característica a los 7 días para una relación agua cemento de 0.54 con varios porcentajes de aditivo*



*Figura 4.2. Curva de la resistencia promedio y característica a los 28 días para una relación agua cemento de 0.54 con varios porcentajes de aditivo*

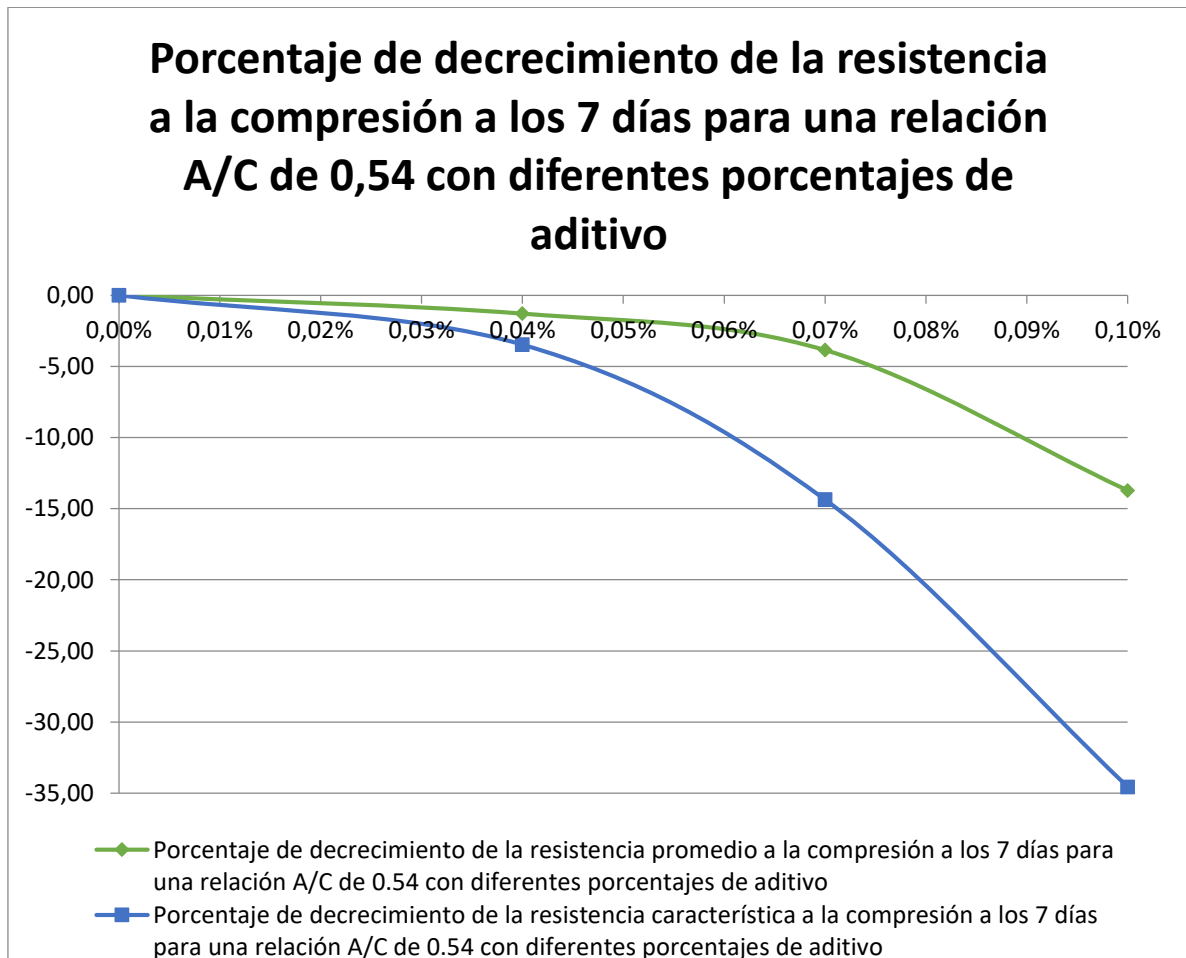


*Figura 4.3. Curva de la resistencia promedio y característica a los 7 días para una relación agua cemento de 0.43 con varios porcentajes de aditivo*

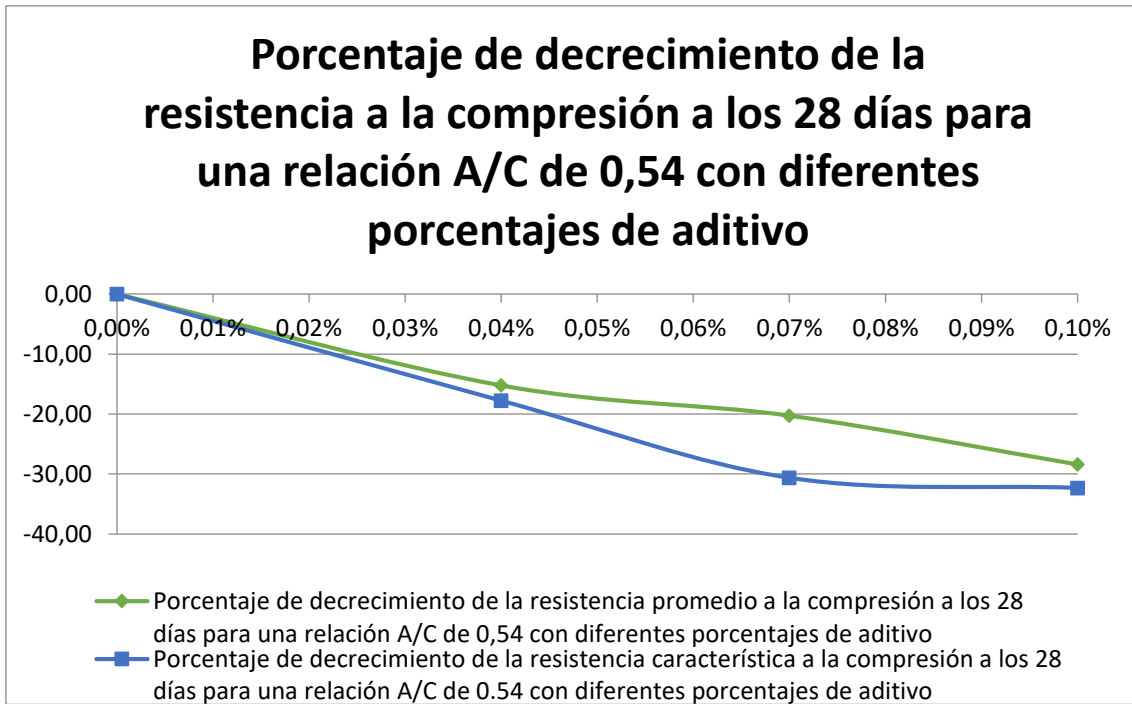


*Figura 4.4. Curva de la resistencia promedio y característica a los 28 días para una relación agua cemento de 0.43 con varios porcentajes de aditivo*

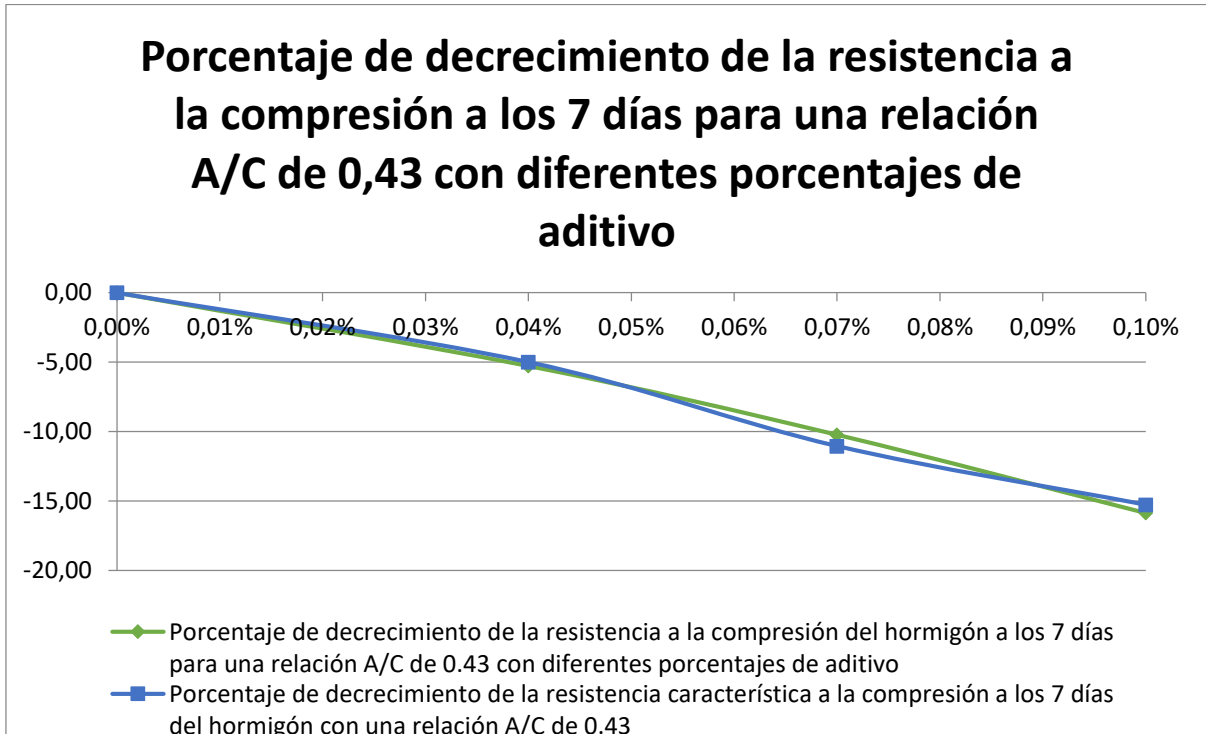
- En los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión simple, se presenta un decremento de manera progresiva, a continuación en la gráfica se puede observar los porcentajes de decremento obtenidos, esta de la resistencia se puede estabilizar si se cambia la relación agua – cemento de acuerdo al código ACI donde establece que para mantener la resistencia característica del hormigón al incluir aire a la mezcla de manera artificial se debe reducir la relación agua – cemento.



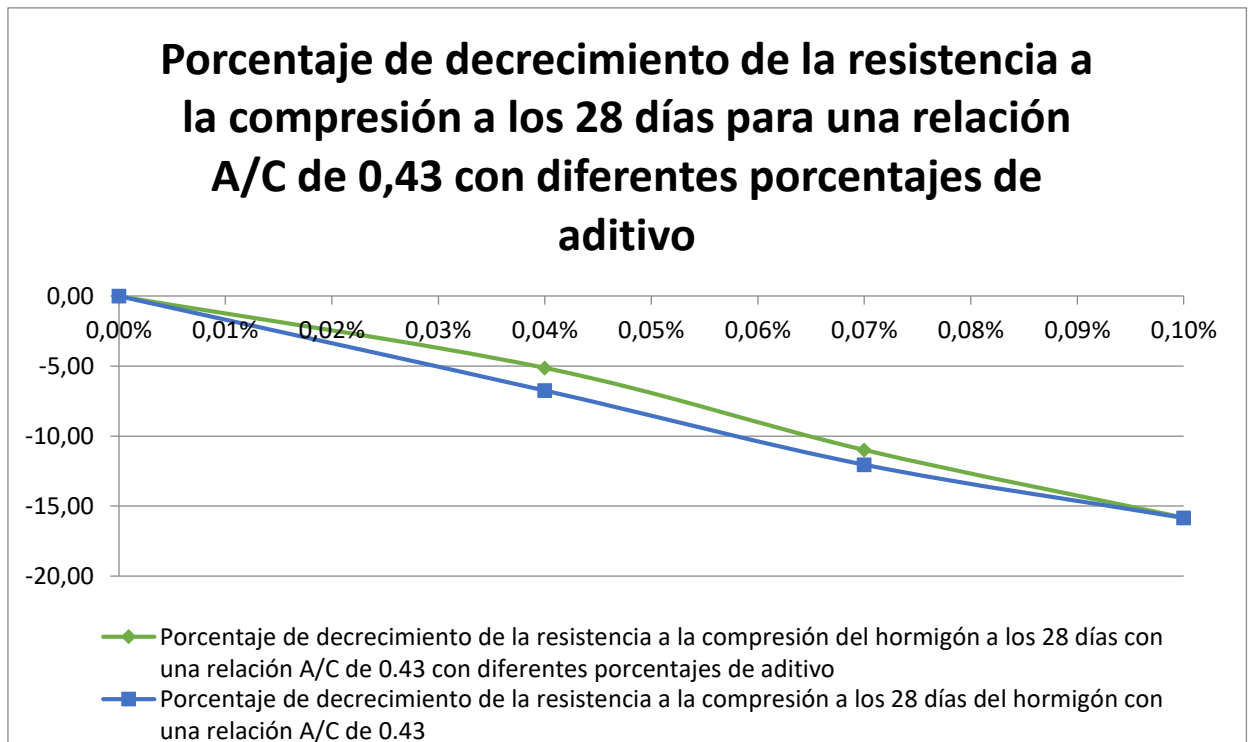
**Figura 4.5.** Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 7 días para una relación A/C de 0.54 con varios porcentajes de aditivo



**Figura 4.6.** Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 28 días para una relación A/C de 0.54 con varios porcentajes de aditivo



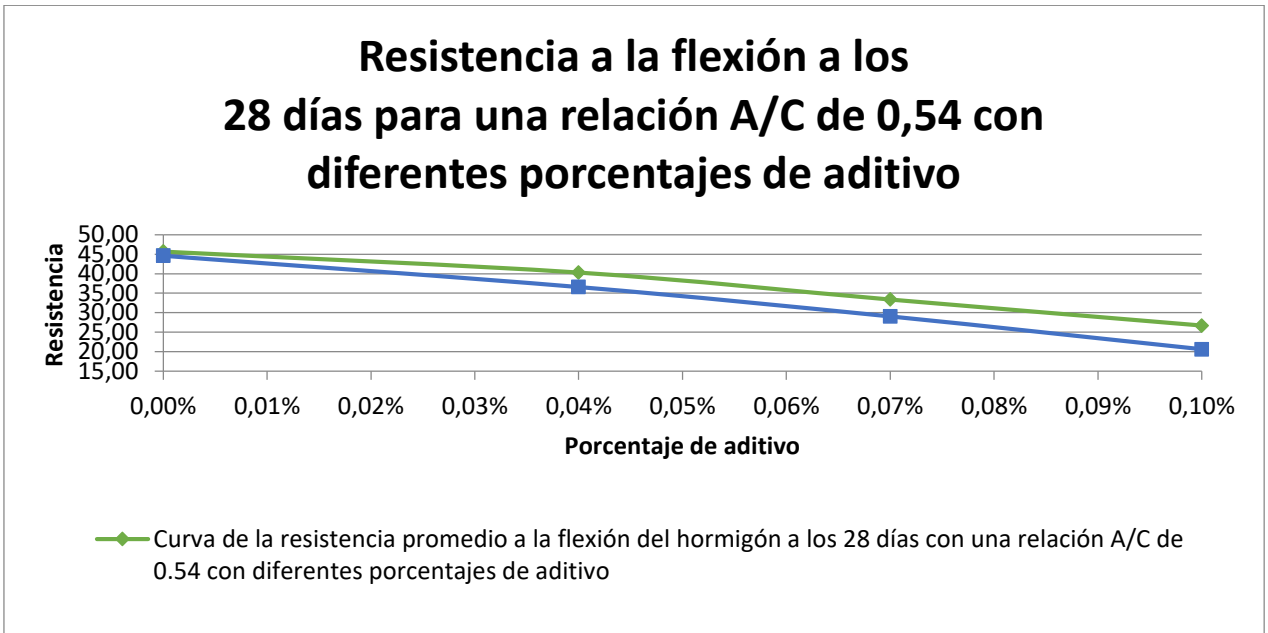
**Figura 4.7.** Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 7 días para una relación A/C de 0.43 con varios porcentajes de aditivo



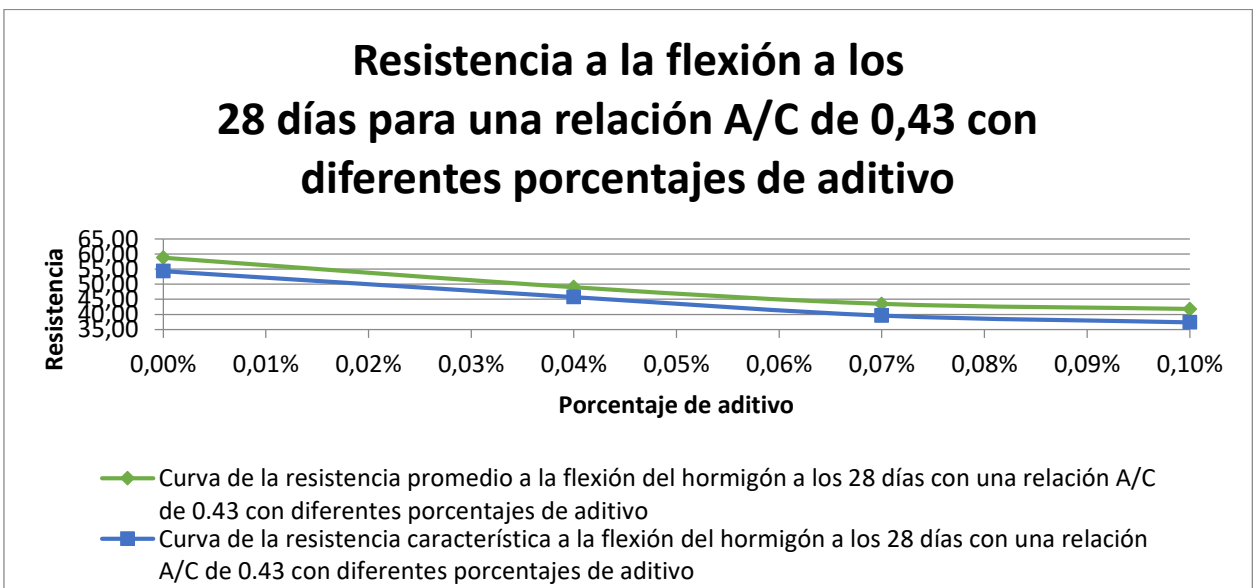
**Figura 4.8.** Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a la compresión simple a los 28 días para una relación A/C de 0.43 con varios porcentajes de aditivo

- Para los resultados obtenidos del ensayo de módulo de elasticidad se puede observar que se obtuvo diferencias notables entre los valores de la resistencia característica y la resistencia promedio para todos los cilindros ensayados, lo cual demuestra una concordancia de todos los incluyendo los que tienen el aditivo.
- Dentro del ensayo de módulo de elasticidad se calcula los valores de  $\alpha$  los cuales mantienen una coherencia entre ellos, dando un promedio de 13998 con un peso unitario del hormigón promedio de 2141 Kg/m<sup>3</sup>, lo cual es muy similar al establecido por el código ACI 318-19 que para un peso normal de hormigón existe un valor de  $\alpha$  de 14000.
- En el ensayo de flexión de vigas se puede observar que los valores de la resistencia de las probetas tienen para una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm<sup>2</sup> un porcentaje equivalente del 13.75% y para la resistencia de 280 Kg/cm<sup>2</sup> un porcentaje equivalente de 14.88%.

- En la siguiente gráfica que corresponde a los valores obtenidos de la resistencia a la flexión a los 28 días, se puede observar que la mayor diferencia entre la resistencia promedio y la resistencia característica se da cuando el porcentaje de aditivo es del 0.10%, lo que se puede tomar como referencia que al aumentar el contenido de aire incorporado artificialmente se debe tomar una cantidad de muestras necesarias para que la desviación estándar permanezca con un valor aproximado del 3%.

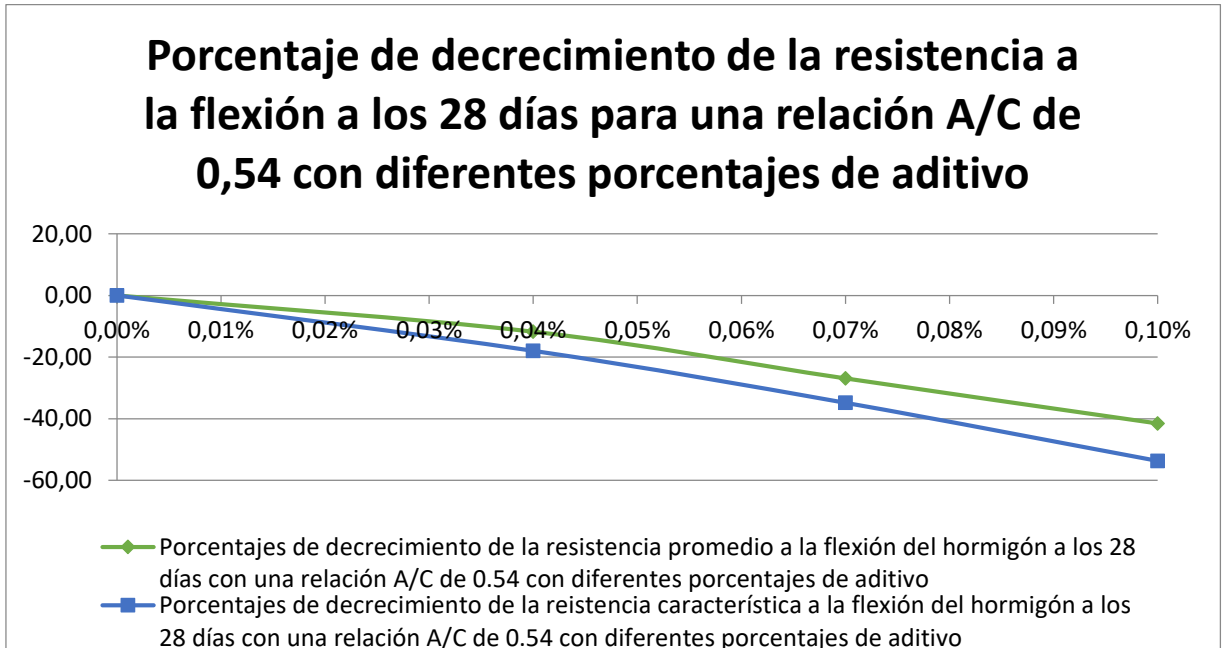


*Figura 4.9. Curva de la resistencia a flexión promedio y característica del hormigón a los 28 días con una relación A/C de 0.54 con diferentes porcentajes de aditivo*

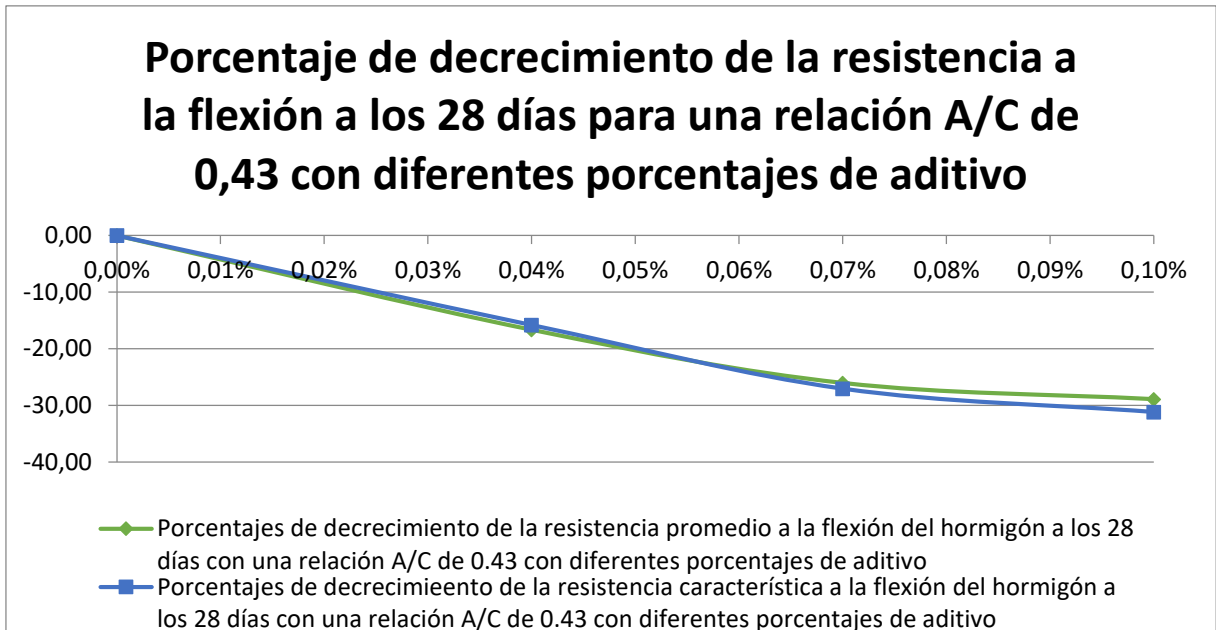


*Figura 4.10. Curva de la resistencia a flexión promedio y característica del hormigón a los 28 días con una relación A/C de 0.43 con diferentes porcentajes de aditivo*

- En la gráfica que se presenta a continuación, se puede observar de mejor manera el decremento que presentan las mezclas de hormigón con los diferentes contenidos de aditivo incluso de aire con respecto de la resistencia a flexión en vigas, comprobando que mientras mayor es el porcentaje el decrecimiento es mayor.



**Figura 4.11.** Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a flexión a los 28 días del hormigón con una relación A/C de 0.54 con varios porcentajes de aditivo



*Figura 4.12. Curva del porcentaje de decrecimiento de la resistencia promedio y característica a flexión a los 28 días del hormigón con una relación A/C de 0.43 con varios porcentajes de aditivo*

## 5 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Los agregados seleccionados para la fabricación del hormigón son los de la cantera del volcán Antisana en el sector de Pintag, de acuerdo a las normas INEN 872:2011 se evalúa si los materiales cumplen con los requisitos establecidos en esta norma tanto para agregado fino y grueso. Se puede concluir de acuerdo a las siguientes tablas que el agregado fino el requerimiento que no cumple es con el porcentaje del pasante del tamiz #200 y para el agregado grueso cumple con los requerimientos, por lo tanto se pueden aceptar los agregados para la fabricación de las mezclas de hormigón.

*Tabla 5.1. Resultados de las características del agregado fino de acuerdo a la normativa INEN*

ENSAYO	RESULTADOS	DISPOSICIÓN INEN 872:2011	COMPROBACIÓN
Contenido Orgánico, [ppm].	0	Menor o igual a 500	Cumple
Porcentaje pasante el tamiz #200, [%].	11.46	Menor al 5%	<b>No Cumple</b>
Gravedad Específica	2.24	N/A	N/A
Absorción del agregado, [%]	5.36	N/A	N/A

*Tabla 5.2. Resultados de las características del agregado grueso de acuerdo a la normativa INEN*

ENSAYO	RESULTADOS	DISPOSICIÓN INEN 872:2011	COMPROBACIÓN
Gravedad Específica	2.54	N/A	N/A
Absorción del agregado, [%]	3.06	N/A	N/A
Desgaste Maquina de los Ángeles, [%].	24.47	Menor o igual al 50%	Cumple

- Se puede concluir mediante los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a las compresiones simples realizadas a los 7 días de los cilindros sin aire incluido, se mantienen como promedio sobre el 60% de

la resistencia esperada a los 28 días lo cual es un parámetro indicativo que si se llega a cumplir con el valor de la resistencia esperada.

- En el ensayo de resistencia a la compresión simple realizado en las muestras de hormigón a los 28 días de los cilindros sin aire incluido se obtuvo una resistencia promedio de 226.82 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia característica de 221.75 kg/cm<sup>2</sup> para el diseño de la resistencia f 'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>, y una resistencia promedio de 304.08 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia característica de 298.70 kg/cm<sup>2</sup> para el diseño de la resistencia f 'c de 280 kg/cm<sup>2</sup> obteniendo así resistencias aceptables.
- Las probetas de hormigón simple ensayadas a la compresión simple con el 0.04% de aditivo inductor de aire respecto al peso del cemento de la mezcla, para un f 'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> se obtuvo un decremento del 3.47% de la resistencia característica a los 7 días y un decremento del 17.76% de la resistencia característica a los 28 días, respecto a las muestras normales sin aditivo inductor de aire.
- Las probetas de hormigón simple ensayadas a la compresión simple con el 0.07% de aditivo inductor de aire respecto al peso del cemento de la mezcla, para un f 'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> se obtuvo un decremento del 14.37% de la resistencia característica a los 7 días y un decremento del 30.63% de la resistencia característica a los 28 días, respecto a las muestras normales sin aditivo inductor de aire.
- Las probetas de hormigón simple ensayadas a la compresión con el 0.10% de aditivo inductor de aire respecto al peso del cemento de la mezcla, para un f 'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> se obtuvo un decremento del 34.57% de la resistencia característica a los 7 días y un decremento del 32.32% de la resistencia característica a los 28 días, respecto a las muestras normales sin aditivo inductor de aire.
- Las probetas de hormigón simple ensayadas a la compresión simple con el 0.04% de aditivo inductor de aire respecto al peso del cemento de la mezcla, para un f 'c = 280 kg/cm<sup>2</sup> se obtuvo un decremento del 4.99% de

la resistencia característica a los 7 días y un decremento del 6.75% de la resistencia característica a los 28 días, respecto a las muestras normales sin aditivo inclusor de aire.

- Las probetas de hormigón simple ensayadas a la compresión simple con el 0.07% de aditivo inclusor de aire respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  se obtuvo un decremento del 11.04% de la resistencia característica a los 7 días y un decremento del 12.05% de la resistencia característica a los 28 días, respecto a las muestras normales sin aditivo inclusor de aire.
- Las probetas de hormigón simple ensayadas a la compresión simple con el 0.10% de aditivo inclusor de aire respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  se obtuvo un decremento del 15.26% de la resistencia característica a los 7 días y un decremento del 15.86% de la resistencia característica a los 28 días, respecto a las muestras normales sin aditivo inclusor de aire
- En las figuras 53, 54, 55 y 56 del presente trabajo se observa que la adición del aditivo inclusor de aire a la mezcla de hormigón a los 7 y 28 días respectivamente para cada resistencia a la compresión simple esperada de 210 y 280  $\text{Kg/cm}^2$ , reduce la resistencia a la compresión característica con respecto a la promedio de manera lineal igual o menor al 1%.
- En las vigas de hormigón con el 0.04% de aditivo inclusor de aire con respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  ensayadas a flexión, se presentó un decremento del 17.99% en su resistencia característica, referente a las vigas sin contenido de aditivo.
- En las vigas de hormigón con el 0.07% de aditivo inclusor de aire con respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  ensayadas a flexión, se presentó un decremento del 34.87% en su resistencia característica, referente a las vigas sin contenido de aditivo.

- En las vigas de hormigón con el 0.10% de aditivo inclusor de aire con respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  ensayadas a flexión, se presentó un decremento del 53.73% en su resistencia característica, referente a las vigas sin contenido de aditivo.
- En las vigas de hormigón con el 0.04% de aditivo inclusor de aire con respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  ensayadas a flexión, se presentó un decremento del 15.82% en su resistencia característica, referente a las vigas sin contenido de aditivo.
- En las vigas de hormigón con el 0.07% de aditivo inclusor de aire con respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  ensayadas a flexión, se presentó un decremento del 27.07% en su resistencia característica, referente a las vigas sin contenido de aditivo.
- En las vigas de hormigón con el 0.10% de aditivo inclusor de aire con respecto al peso del cemento de la mezcla, para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  ensayadas a flexión, se presentó un decremento del 31.19% en su resistencia característica, referente a las vigas sin contenido de aditivo.
- Se observa en la figuras 59 y 60 de resultados obtenidos para las resistencias de 210 y 280  $\text{kg/cm}^2$  que existe un patrón de reducción, a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo a la mezcla, la resistencia a la flexión decrece. La curva de resistencia característica y de resistencia promedio decrecen de manera polinómica de primer grado.
- Los valores de  $\alpha$  del módulo de elasticidad del hormigón presenta una disminución a medida que aumenta el porcentaje de aditivo inclusor de aire, este valor tiende a decrecer de acuerdo a la siguiente tabla:

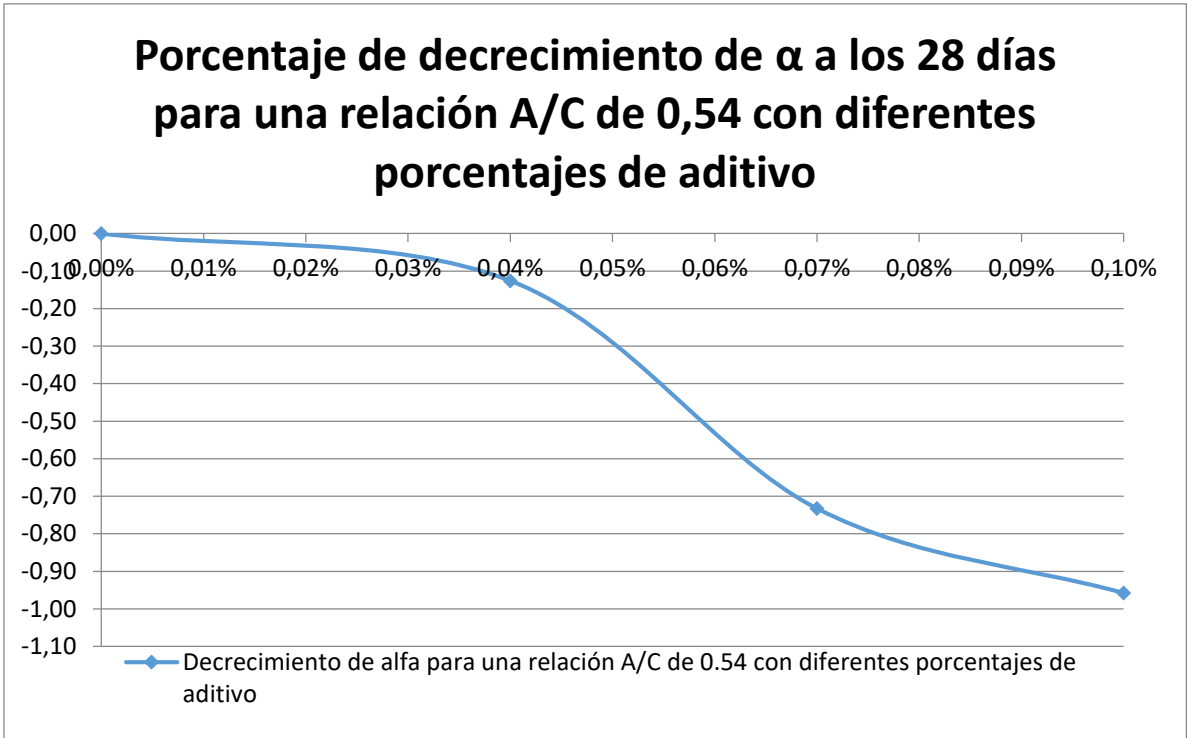
**Tabla 5.3.** Valores de alfa promedio para el cálculo de la resistencia a la compresión por módulo de elasticidad a los 28 días para una relación agua – cemento de 0.54

<b>Resumen de <math>\alpha</math> f ' c = 210 kg/cm2</b>		
<b>Porcentaje de aditivo</b>	<b><math>\alpha</math> Promedio</b>	<b>Porcentaje Decremento respecto al % de aditivo</b>
%	kg/cm2	%
0%	14142,58	0,00
0.04%	14124,79	-0,13
0.07%	14038,98	-0,73
0.10%	14007,14	-0,96

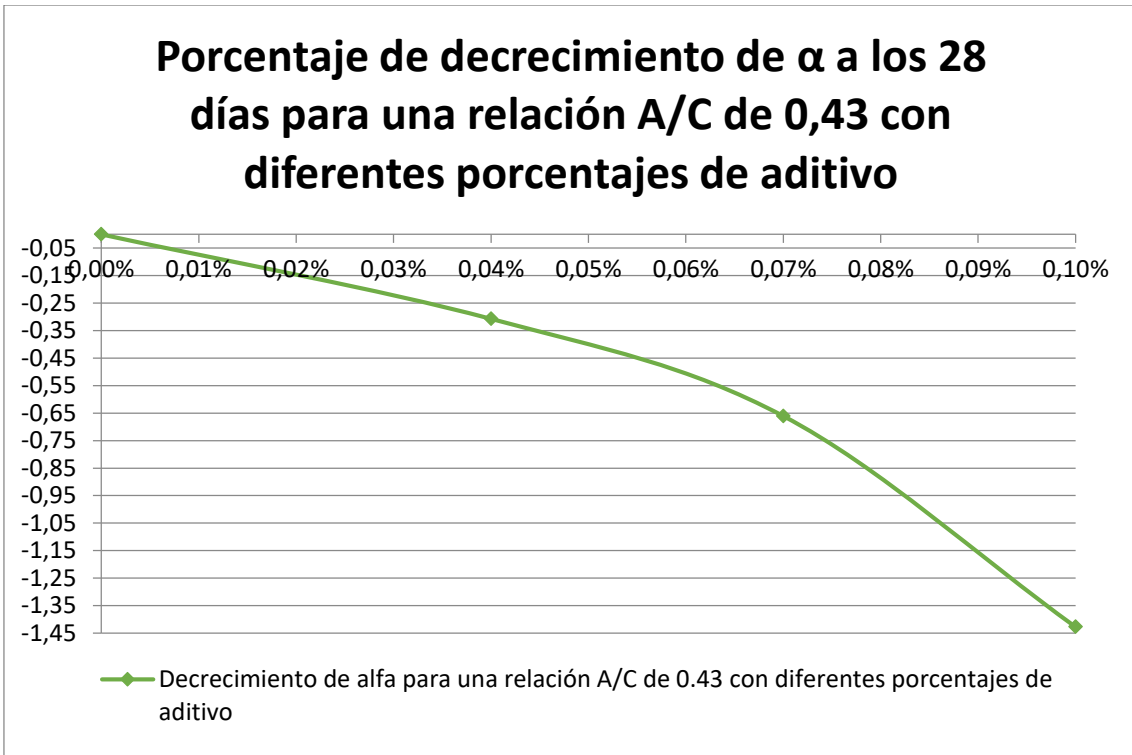
**Tabla 5.4.** Valores de alfa promedio para el cálculo de la resistencia a la compresión por módulo de elasticidad a los 28 días para una relación agua – cemento de 0.43

<b>Resumen de <math>\alpha</math> f ' c = 280 kg/cm2</b>		
<b>Porcentaje de aditivo</b>	<b><math>\alpha</math> Promedio</b>	<b>Porcentaje Decremento respecto al % de aditivo</b>
%	kg/cm2	%
0%	14596,11	0,00
0.04%	14551,28	-0,31
0.07%	14499,72	-0,66
0.10%	14387,82	-1,43

- Se puede observar en las siguientes figuras que el valor  $\alpha$  decrece respectivamente a medida que el porcentaje de aditivo incorporado aumenta; esto surge debido a que  $\alpha$  está directamente relacionado con el peso unitario del hormigón promedio de cada uno de las probetas realizadas.



*Figura 5.1. Curva de decrecimiento del valor de  $\alpha$  promedio para el cálculo del módulo de elasticidad para una relación agua - cemento de 0.54*



*Figura 5.2. Curva de decrecimiento del valor de  $\alpha$  promedio para el cálculo del módulo de elasticidad para una relación agua - cemento de 0.43*

- En base al decremento en los resultados de los ensayos de compresión simple, módulo de elasticidad, y flexión en vigas, en función del aumento del porcentaje de aditivo inclusor de aire respecto al peso del cemento de la mezcla, se concluye que mientras la relación agua – cemento se mantiene y si se desea obtener la resistencia esperada la adición dicho aditivo debe aumentar, caso contrario influye de manera negativa en el hormigón.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda el uso del aditivo inclusor de aire, puesto que no afecta a las propiedades mecánicas del hormigón, ya que su trabajabilidad mejora según aumenta el porcentaje de aditivo, sin embargo para no perder resistencia se recomienda cambiar la relación agua – cemento de acuerdo a la tabla establecida en el método ACI 211.1 y de acuerdo a la norma ASTM C260 que establece los valores de acuerdo a la resistencia de diseño establecida.
- Se recomienda tomar en cuenta hasta de realizar los ensayos en el laboratorio verificar que este cuente con todos los equipos y materiales a necesitar para el desarrollo de los mismos, y a su vez sea certificado que pueda garantizar los resultados obtenidos de los ensayos, mediante el uso de equipos normados y bien calibrados.
- Se recomienda realizar una investigación a futuro, con mayor cantidad de probetas de ensayo y con otros materiales inclusores de aire, con las diferentes relaciones de agua – cemento, establecidas en la norma ASTM C260 debido a la posibilidad de obtener un diferente comportamiento al ser adicionados en el hormigón.
- Para obtener una dosificación con las características de diseño, se recomienda seguir los procedimientos indicados en cada una de las normativas establecidas de acuerdo con cada uno de los ensayos.

- Se recomienda adicionar el componente inclusor de aire a la mezcla de hormigón una vez que se haya mezclado de manera uniforme todos los demás componentes para garantizar la distribución uniforme de las burbujas de aire en la pasta cementante de la mezcla de hormigón.

## Referencias

- American Concrete Institute. (2004). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Illinois.
- American Concrete Institute. (2011). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Michigan.
- American Concrete Institute. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Michigan.
- ASTM. (01 de Febrero de 2016). Libro Anual de normas ASTM. *Método de prueba estándar para Contenido de aire en el hormigón recién mezclado por el método volumétrico*. Estados Unidos.
- CARLOS ARCOS d'HAINAUT. (Diciembre de 1976). *Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado*. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- EcuRed. (30 de Junio de 2022). *Relación agua-cemento*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Relaci%C3%B3n\\_agua-cemento](https://www.ecured.cu/Relaci%C3%B3n_agua-cemento)
- Lara, I. L. (2022). Cátedra de clases Laboratorio de Hormigones. *Método ACI 211.1 modificado*. Quito, Ecuador.
- Lucas, Q. M. (2006). Trabajo de titulación. *APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN LA ASIGNATURA DE "TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN"*. Cochabamba, Bolivia.
- Portland Cement Association PCA. (2004). *Diseño y Control de mazclas de concreto*. Illinois.
- Proaño, M. R. (2008). *Temas de hormigón armado*. Quito: ESPE.
- Ramirez, A. P. (2004). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto*. Chihuahua.

RUSSELL, M. J. (2017). *Diseño de Concreto Reforzado*. Ciudad de México:  
Alfaomega.

# **ANEXOS**



UCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

HOJA DE CAMPO:

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -  
Referentado No Adherido

LMC-MFT-54-ARM-25



N DE TRABAJO N°:

Tests Varo - Karmi

1	2	3	1	2	3	1	2	3
acción	sin adherivo	sin adherivo	sin adherivo	sin adherivo	sin adherivo	0,04% AD	0,04% AD	0,04% AD
edad	7 dias	7 dias	7 dias	28 dias	28 dias	7 dias	7 dias	7 dias
masa de diseño esperada a las	210	210	210	210	210	210	210	210
MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm2 <input checked="" type="checkbox"/>								
del Neopreno utilizado								
fabricación (dia/mes/año)								
curado (dia/mes/año)								
con de la Superficie de Carga								
en el esp. Transversal de la								
en el esp. Longitudinal de la								
en el esp. Longitudinal de la								
en el esp. Longitudinal de la								
o 1 (mm)	151,02	151,12	151,99	149,67	151,00	150,75	153,46	150,54
o 2 (mm)	151,02	152,56	152,90	149,58	151,85	150,30	153,54	151,36
(mm)	291,42	306,49	306,17	300,63	299,33	298,39	306,60	301,58
(mm)	291,02	303,36	304,37	300,85	300,06	298,59	304,96	301,89
(mm)	296,44	305,71	305,45	299,10	299,77	299,19	304,88	301,15
kg	11,83	12,23	12,08	11,72	11,88	11,62	12,18	11,57
(gramos) (libras)								
sección (KN)	193,80	189	152,70	395	404,30	388,20	188,35	194,98
falla	V	V	V	V	V	V	V	V

DE RESISTENCIA

PKIPAKA

INJAYVA

JINIKMII

FECHA	NOMBRE Y APELLIDOS	CARGO

FIRMAS RESPONSABLES DE LA FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS

OBSERVACIONES









Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

HOJA DE CAMPO:

**DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -**  
 Refrenado No Adherido

LMC-MPT-5.4-ARM-15R



N. DE TRABAJO N.º:	Testes D <sub>90mm</sub> - Kcm <sup>2</sup>								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Fecha	0,07/.AD	0,07/.AD	0,07/.AD	0,07/.AD	0,07/.AD	0,07/.AD	0,10/.AD	0,10/.AD	0,10/.AD
Edad	7 días	7 días	7 días	28 días	28 días	28 días	7 días	7 días	7 días
Clase de diseño esperada a los 28 días	280	280	280	280	280	280	280	280	280
M <sub>pa</sub> <input type="checkbox"/> Kg/cm <sup>2</sup> <input checked="" type="checkbox"/>	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Leí Neopreno utilizado									
Lubricación (dia/mcs/abo)									
Ensayo (dia/mcs/abo)									
Con de la Superficie de Carga									
Material (Transversal de la									
mm/Libano)									
o 1 (mm)	152,26	150,68	151,46	153,53	149,79	152,23	151,80	152,34	152,07
o 2 (mm)	151,88	152,10	151,95	155,96	150,31	153,58	151,62	152,45	152,04
(mm)	299,33	299,22	305,54	301,01	298,31	303,50	302,95	305	303,98
(mm)	300,86	299,83	306,50	302,65	298,23	302,59	301,75	304,57	303,16
(mm)	299,89	300,81	305,09	303,37	299,29	302,25	301,64	303,86	302,75
4)	11,21	11,52	11,44	12,16	11,70	12,44	11,60	11,59	11,60
Ensayo (lib/mm)									
Maximo (KN)	315,50	316,20	329,30	555,80	627,40	536,70	269	263,20	266,10
falla	V	V	V	V	V	V	V	V	V

**DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**

PREPARACIÓN	ENSAYO	INSTRUMENTO

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS		
FECHA	NOMBRE Y APT. (R. F. I.)	SEÑA

OBSERVACIONES



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

HOJA DE CAMPO:

**DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -**  
 Refrentado No Adherido



LMC-MPT-54-ARM-1-R

N DE TRABAJO N°: **Tests kome - Drama**

	1	2	3							
Fecha	01/10/AD	01/10/AD	01/10/AD							
Edad	28 dias	28 dias	28 dias							
Clase de diseño esperada a las										
M <sup>pa</sup> <input type="checkbox"/> Kg/cm <sup>2</sup> <input checked="" type="checkbox"/>	280	280	280							
Labrificación (dia/mes/año)										
Curado (dia/mes/año)										
Con de la Superficie de Carga										
si al eje Transversal de la										
si al eje Longitudinal de la										
mm/ (diámetro)										
Ø 1 (mm)	150,70	151,45	150,86							
Ø 2 (mm)	150,87	151,90	150,18							
(mm)	299,48	300,90	300,23							
(mm)	300,64	301,05	299,09							
(mm)	300,49	300,39	300,61							
%	10,90	11,49	10,89							
resaca (diámetro)										
resaca (KN)	357,84	348,60	350,68							
falla	V	V	V							

RE RESPONSAIBILIDAD

PREPARA	ENSAYA	INSTRUMENTOS								

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS		
FECHA	NOMBRE Y APELLIDOS	FUNCIÓN

OBSERVACIONES

--



PUCE

Escuela de Ingeniería Civil  
Laboratorio de Materiales de Construcción



### ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN

N. de orden Tests Komr - Diana →  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Muestra N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Fecha de fabricación												
Fecha de Ensayo												
Identificación	S <sup>NO</sup> OBRERO	S <sup>NO</sup> OBRERO	S <sup>NO</sup> OBRERO	0,04/.AD	0,04/.AD	0,04/.AD	0,03/.AD	0,03/.AD	0,03/.AD	0,03/.AD	0,10/.AD	0,10/.AD
Longitud (mm)	560	545	530	540	556	540	560	540	560	560	560	540
Ancho (mm)	153	150	150	150	150	150	155	150	150	150	150	150
Altura (mm)	150	150	150	150	155	150	150	150	150	150	150	145
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
Masa (kg)	28,13	27,65	27,15	26,03	27,78	26,70	26,95	25,90	27,34	26,15	26,53	24,60
Carga Máxima (KN)	33,78	33,97	33,66	35,26	29,29	26,19	26,56	26,83	21,08	20,32	17,02	20,13

ENSAYA												
INFORME												



PUCE

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN



N. de orden

Testes Mono - Kani

→  $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Muestra N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Fecha de fabricación												
Fecha de Ensayo												
Identificación	SRN OADRK10	SRN OADRK10	SRN OADRK10	0,04/AD	0,04/AD	0,04/AD	0,07/AD	0,07/AD	0,07/AD	0,10/AD	0,10/AD	0,10/AD
Longitud (mm)	560	560	540	540	565	560	560	560	560	540	560	560
Ancho (mm)	150	150	150	150	150	150	152	154	153	150	150	155
Altura (hmm)	150	120	145	150	145	150	150	151	155	150	150	150
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	480	450
Masa Kg	27,50	22,43	26	24,74	27,08	26,18	28,57	28,85	28,68	25,50	26,57	26,34
Carga Maxima (KN)	36,78	32,90	38,86	35,26	29,29	26,19	23,09	34,25	33,11	34,29	32,64	26,16
ENSAYO												
INFORME												















