

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis:**

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL CURADO INTERNO DE UN  
CONCRETO CON ADICIONES DE ARCILLA COCCIONADA EN  
REEMPLAZO DEL AGREGADO GRUESO”**

**Para optar el Título Profesional de:  
INGENIERO CIVIL**

**Presentado por:  
Bach. JENNY LÓPEZ MEGO**

**Asesor:  
M. en I. HÉCTOR A. PÉREZ LOAYZA**

**CAJAMARCA- PERÚ  
2017**

## **DEDICATORIA**

*A Dios: quien bendice mis días e ilumina mi camino, dándome fortaleza en los momentos de debilidad para hacerme una persona virtuosa.*

*A mis amados padres María Violeta y Víctor Manuel: con mucho cariño e infinita gratitud por ser impulsores de mi formación académica y moral y motivándome a dar siempre un paso más.*

*Jenny*

## **AGRADECIMIENTO**

A la **Escuela Académico – Profesional de Ingeniería Civil**, a sus autoridades, docentes, directores, personal en general; por albergarme en sus aulas, formándome en valiosos conocimientos.

Al **M. en I. Ing. Héctor Pérez Loayza**, asesor de la presente tesis, quien supo guiarme y encaminarme en la elaboración de este trabajo y es siempre un gran apoyo.

Al **Jurado** de esta tesis; MCs. Ing. Jaime Raúl Valera Guerra, Ing. William Prospero Quiroz Gonzales, Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo y Ing. Lucio Marcial Sifuentes Inostroza por las sugerencias, aportes y observaciones realizadas.

A mis abnegados Padres **Víctor Manuel** y **María Violeta** por el apoyo durante mis estudios en sus diferentes etapas; especialmente en mis estudios universitarios, de forma especial a mi madre quien ha sido mi incondicional compañía en este largo camino.

A mis hermanos Javier, Henry y Liz por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar; por llenar mi vida de alegrías y amor en todo momento.

A todas las personas quienes colaboraron de diferentes formas para la elaboración de este trabajo.

Jenny

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	iv
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema .....	4
1.3. Hipótesis.....	4
1.4. Justificación de la investigación .....	5
1.5. Delimitación de la investigación.....	7
1.6. Objetivos .....	7
<b>CAPÍTULO II</b> .....	9
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	9
2.1. Antecedentes históricos de la investigación.....	9
2.2. Bases Teóricas.....	16
2.3. Definición de términos básicos .....	47
<b>CAPÍTULO III</b> .....	52
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	52
3.1. Periodo de estudio .....	52
3.2. Ubicación Geográfica.....	52
3.3. Diseño de la investigación .....	53
3.4. Población, muestra y tratamientos de estudio .....	59
3.5. Equipos y materiales .....	61
3.6. Obtención de Resultados.....	63

3.7. Procesamiento y análisis de datos .....	70
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>75</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>75</b>
4.1. Presentación y análisis de resultados .....	75
4.2. Interpretación de resultados .....	99
<b>CAPITULO VI</b> .....	<b>110</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>110</b>
CONCLUSIONES .....	110
RECOMENDACIONES.....	111
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>112</b>
<b>APÉNDICE A:</b> .....	<b>116</b>
<b>RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS</b> .....	<b>116</b>
I    ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.....	116
II.   PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS .....	123
III.  MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DE LOS AGREGADOS .....	123
IV.   ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO .....	124
V.    PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS .....	125
<b>APÉNDICE B:</b> .....	<b>126</b>
<b>RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL LADRILLO TRITURADO PARA EL CURADO INTERNO</b> .....	<b>126</b>
I.    PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL LADRILLO.....	126
<b>APÉNDICE C:</b> .....	<b>128</b>
<b>DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO USANDO EL MÉTODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS</b> .....	<b>128</b>
<b>APÉNDICE D:</b> .....	<b>136</b>
<b>ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO</b> .....	<b>136</b>
I.    RESULTADOS PARA EL CURADO POR INMERSIÓN .....	136

II. RESULTADOS PARA EL CURADO CON ADITIVO MEMBRANIL REFORZADO .....	136
III. RESULTADO PARA EL CURADO INTERNO CON REEMPLAZO DEL 5% ..	137
IV. RESULTADO PARA EL CURADO INTERNO CON REEMPLAZO DEL 10%	137
V. RESULTADO PARA EL CURADO INTERNO CON REEMPLAZO DEL 20%	137
<b>APÉNDICE E:</b> .....	138
<b>GRAFICA ESFUERZO Vs. DEFORMACIÓN</b> .....	138
<b>APÉNDICE F: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b> .....	153
<b>APÉNDICE G: FOTOGRAFÍAS</b> .....	154
<b>ANEXO A</b> .....	162
FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I.....	162
<b>ANEXO B</b> .....	163
FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO MEMBRANIL REFORZADO .....	163
<b>ANEXO C</b> .....	165
CONSTANCIA DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES .....	165

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Tamaño de muestra para especímenes cilíndricos para ensayo de Resistencia a compresión Según tratamiento .....	60
<b>Tabla N° 2:</b> Tamaño de muestra para especímenes prismáticos para ensayo de Resistencia a flexión Según tratamiento.....	60
<b>Tabla N° 3:</b> Estándares de control del Concreto (ACI 24 – 77).....	71
<b>Tabla N° 4:</b> Matriz de consistencia metodológica.....	72
<b>Tabla N° 5:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado por inmersión .....	75
<b>Tabla N° 6:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado con aditivo.....	75
<b>Tabla N° 7:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5% ..	75
<b>Tabla N° 8:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%	75
<b>Tabla N° 9:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%	76
<b>Tabla N° 10:</b> Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 7 días.....	76
<b>Tabla N° 11:</b> Medias para cada tratamiento .....	76
<b>Tabla N° 12:</b> Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95% .....	76
<b>Tabla N° 13:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado por inmersión .....	78
<b>Tabla N° 14:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado con aditivo.....	78
<b>Tabla N° 15:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5%	78
<b>Tabla N° 16:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10% .....	78

<b>Tabla N° 17:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20% .....	78
<b>Tabla N° 18:</b> Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 14 días.....	79
<b>Tabla N° 19:</b> Medias para cada tratamiento .....	79
<b>Tabla N° 20:</b> Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95% .....	79
<b>Tabla N° 21:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión .....	81
<b>Tabla N° 22:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado con aditivo.....	81
<b>Tabla N° 23:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5% 81	
<b>Tabla N° 24:</b> Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10% .....	81
<b>Tabla N° 25:</b> Porcentaje de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20% .....	81
<b>Tabla N° 26:</b> Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 28 días.....	82
<b>Tabla N° 27:</b> Medias para cada tratamiento .....	82
<b>Tabla N° 28:</b> Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95% .....	82
<b>Tabla N° 29:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días- Tratamiento de curado por inmersión.....	84
<b>Tabla N° 30:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días - Tratamiento de curado con aditivo .....	84
<b>Tabla N° 31:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5% .....	85
<b>Tabla N° 32:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10% .....	85

<b>Tabla N° 33:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20% .....	85
<b>Tabla N° 34:</b> Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 7 días. ....	86
<b>Tabla N° 35:</b> Medias para cada tratamiento .....	86
<b>Tabla N° 36:</b> Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95% .....	86
<b>Tabla N° 37:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado por inmersión .....	88
<b>Tabla N° 38:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días - Tratamiento de curado con aditivo .....	88
<b>Tabla N° 39:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5% .....	89
<b>Tabla N° 40:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10% .....	89
<b>Tabla N° 41:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20% .....	89
<b>Tabla N° 42:</b> Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 14 días. ....	90
<b>Tabla N° 43:</b> Medias para cada tratamiento .....	90
<b>Tabla N° 44:</b> Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95% .....	90
<b>Tabla N° 45:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión .....	92
<b>Tabla N° 46:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado con aditivo .....	92
<b>Tabla N° 47:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5% .....	92
<b>Tabla N° 48:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10% .....	93
<b>Tabla N° 49:</b> Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20% .....	93
<b>Tabla N° 50:</b> Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 28 días. ....	94

<b>Tabla N° 51:</b> Medias para cada tratamiento .....	94
<b>Tabla N° 52:</b> Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95% .....	94
<b>Tabla N° 53:</b> Resistencia a flexión de especímenes prismáticos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión .....	96
<b>Tabla N° 54:</b> Resistencia a flexión de especímenes prismáticos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con 10% de reemplazo .....	96
<b>Tabla N° 55:</b> Resistencia a flexión de especímenes prismáticos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con 20% de reemplazo .....	97
<b>Tabla N° 56:</b> Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 28 días. ....	97
<b>Tabla N° 57:</b> Medias para cada tratamiento .....	97
<b>Tabla N° 58:</b> Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95% .....	98
<b>Tabla N° 59:</b> Diferencia de las medias de humedad de la propuesta de curado Interno a edades de 7, 14 y 28 días. ....	101
<b>Tabla N° 60:</b> Diferencia de las medias de Resistencia a Compresión con la resistencia a compresión especificada a edades de 7, 14 y 28 días. ....	105
<b>Tabla N° 61:</b> Diferencia de las medias de Resistencia a Compresión de la propuesta de curado Interno a edades de 7, 14 y 28 días. ....	106
<b>Tabla N° 62:</b> Diferencia de las medias de Resistencia a Flexión a edad de 28 días .....	107
<b>Tabla N° 63:</b> Diferencia de las medias de Resistencia a Flexión con la propuesta de curado Interno a edad de 28 días .....	107
<b>Tabla N° 64:</b> Tabla de contrastación de hipótesis de estudio. ....	108

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Producción, Despacho nacional y total de Cemento .....	2
<b>Figura N° 2:</b> Despacho nacional mensual de Cemento .....	2
<b>Figura N° 3:</b> Relación entre el tiempo de curado húmedo y la resistencia a Compresión. . .	9
<b>Figura N° 4:</b> Distribución de la humedad relativa, retracción por secado y pérdida de masa .....	11
<b>Figura N° 5:</b> Efectos de adición de agregados cerámicos en la Resistencia a Compresión del concreto de Alta resistencia. ....	13
<b>Figura N° 6:</b> Efectos de la sustitución de agregado grueso por material cerámico en la Resistencia a Compresión, a/c=0.50. ....	13
<b>Figura N° 7:</b> Efectos de la sustitución de agregado grueso por material cerámico en la Resistencia a Compresión, a/c=0.30. ....	14
<b>Figura N° 8:</b> Relación entre la Resistencia del Concreto con curado interno y la edad. ....	14
<b>Figura N° 9:</b> Volumen absoluto de las proporciones del concreto. ....	16
<b>Figura N° 10:</b> Porcentaje de Resistencia según edad para varios concretos. ....	23
<b>Figura N° 11:</b> : Variación de resistencias típicas para relaciones agua – cemento de concreto más de 100 diferentes mezclas de concreto moldeadas entre 1985 y 1999. ....	24
<b>Figura N° 12:</b> Fases del concreto fresco: Líquido, transición y rigidización. ....	25
<b>Figura N° 13:</b> Cambios volumétricos del concreto. ....	26
<b>Figura N° 14:</b> Contracción Autógena y química de un concreto .....	27
<b>Figura N° 15:</b> Hundimiento, agua de sangrado, contracción química y autógena. ....	28
<b>Figura N° 16:</b> Fisuras por contracción plástica .....	29
<b>Figura N° 17:</b> Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre .....	31
<b>Figura N° 18:</b> Esquema comparativo del curado interno y externo .....	34
<b>Figura N° 19:</b> Hidratación del concreto en un sistema cerrado. ....	36
<b>Figura N° 20:</b> Hidratación del concreto en un sistema abierto .....	36
<b>Figura N° 21:</b> Efecto del curado Interno en la Retracción Autógena. ....	42
<b>Figura N° 22:</b> Efecto de curado interno en el Agrietamiento .....	43
<b>Figura N° 23:</b> Efecto de curado interno en el Modulo de elasticidad .....	44
<b>Figura N° 24:</b> Flujograma de los procesos realizados .....	53
<b>Figura N° 25:</b> Fotografía satelital de la cantera Rio Chonta. años del Inca- Cajamarca. ....	62

<b>Figura N° 26:</b> Graficas de intervalos y valores individuales para el porcentaje de humedad a la edad de 7 días.....	77
<b>Figura N° 27:</b> Graficas de intervalos y valores individuales para el porcentaje de humedad a la edad de 14 días.....	80
<b>Figura N° 28:</b> Graficas de intervalos y valores individuales para el porcentaje de humedad a la edad de 28 días.....	83
<b>Figura N° 29:</b> Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 7 días .....	87
<b>Figura N° 30:</b> Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 14 días .....	91
<b>Figura N° 31:</b> Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 28 días .....	95
<b>Figura N° 32:</b> Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a flexión a la edad de 28 días.....	98
<b>Figura N° 33:</b> Grafica de retención de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio.....	100
<b>Figura N° 34:</b> Grafica de Resistencia a compresión a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio.....	102
<b>Figura N° 35:</b> Gráfica de resistencia a compresión Vs. Porcentaje de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio .....	103
<b>Figura N° 36:</b> Grafica de módulo de elasticidad Vs. la edad del concreto y según el tratamiento de estudio.....	104
<b>Figura N° 37:</b> Gráfica de Modulo de elasticidad Vs. Porcentaje de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio .....	104
<b>Figura N° 38:</b> Tipo de curado Vs. La resistencia a Flexión .....	107

## **RESUMEN**

En nuestro medio local, es común en las construcciones el empleo de un Curado superficial; el cual suele realizarse por inmersión o también usando aditivo; subestimando la importancia de esta etapa. Es necesario conocer la influencia del curado en el desarrollo de las propiedades del concreto; además conocer otros métodos de curado más prácticos y eficaces. El objetivo de esta investigación es determinar la efectividad que tiene el curado interno reemplazando parcialmente el agregado grueso por fragmentos de ladrillo saturado; evaluando la resistencia a la Compresión y flexión; a comparación del curado por inmersión y el curado usando aditivo. Planteo diferentes porcentajes de reemplazo de agregado grueso por el material cerámico; este material fue producido a partir de la trituración de ladrillo King Kong, comúnmente usado en la construcción de viviendas en la ciudad de Cajamarca. Se evalúa tres porcentajes de fragmentos de ladrillo: 5%, 10% y 20% del volumen de agregado grueso; para una resistencia de  $f'c$ : 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, se estudia el porcentaje de humedad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. Se concluyó que el curado interno mediante el reemplazo del agregado grueso por fragmentos de ladrillo triturado y saturado es efectivo, mostrándonos que a mayor porcentaje de reemplazo los resultados son mejores referente a retención de humedad y aumento de resistencia a compresión y flexión del concreto 5.21%, 259.69 Kg/cm<sup>2</sup> y 54.247 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad respectivamente, a diferencia del tratamiento utilizando aditivo que obtuvo 3.62% y 165.07 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el curado por inmersión nos muestra resultados ligeramente superiores: 7.18%, 276.01 Kg/cm<sup>2</sup> y 45.780 Kg/cm<sup>2</sup>, cabe mencionar que nuestra propuesta ha sido empleando exclusivamente el curado interno y exponiendo a la intemperie los especímenes, situación que se asemeja a lo que acontece al pie de obra.

### **PALABRAS CLAVE:**

Material cerámico, curado interno, efectividad, Retención de Humedad, resistencia a compresión, Resistencia a Flexión.

## **ABSTRACT**

In our local environment, the use of a surface curing is common in constructions; Which has also been done by immersion or also using additive; Underestimating the importance of this stage It is necessary to know the influence of curing on the development of concrete properties; In addition to knowing other methods of curing more practical and effective. The objective of the investigation is to determine the effectiveness of the internal curing to partially replace the coarse aggregate by the fragments of saturated brick; Evaluating resistance to compression and flexion; A comparison of curing by immersion and curing using additive. I posed different percentages of coarse aggregate replacement by the ceramic material; This material was produced from the grinding of King Kong brick, commonly used in housing construction in the city of Cajamarca. Three percentages of brick fragments are evaluated: 5%, 10% and 20% of the volume of coarse aggregate; For a resistance of  $f_c$ : 210 kg / cm<sup>2</sup>. Also, the percentage of moisture, compressive strength and flexural strength are studied. It was concluded that the internal curing by replacing the coarse aggregate with the crushed and saturated brick fragments is effective, showing that a higher percentage of replacement results its better reference a moisture retention and increased resistance a compression and flexion Of concrete 5.21%, 259.69 kg / cm<sup>2</sup> and 54.247 kg / cm<sup>2</sup> at 28 days of age respectively, a treatment difference with a goodbye that obtained 3.62% and 165.07 kg / cm<sup>2</sup>, while curing by Immersion shows the slightly higher result: 7.18%, 276.01 kg / cm<sup>2</sup> and 45.780 kg / cm<sup>2</sup>, it should be mentioned that our proposal has been exclusively used for internal curing and exposing the specimens to the weather, a situation that is similar to that Which occurs at the foot of work.

### **KEYWORDS:**

Ceramic material, internal curing, effectiveness, Moisture Retention, compressive strength, Flexural Strength.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

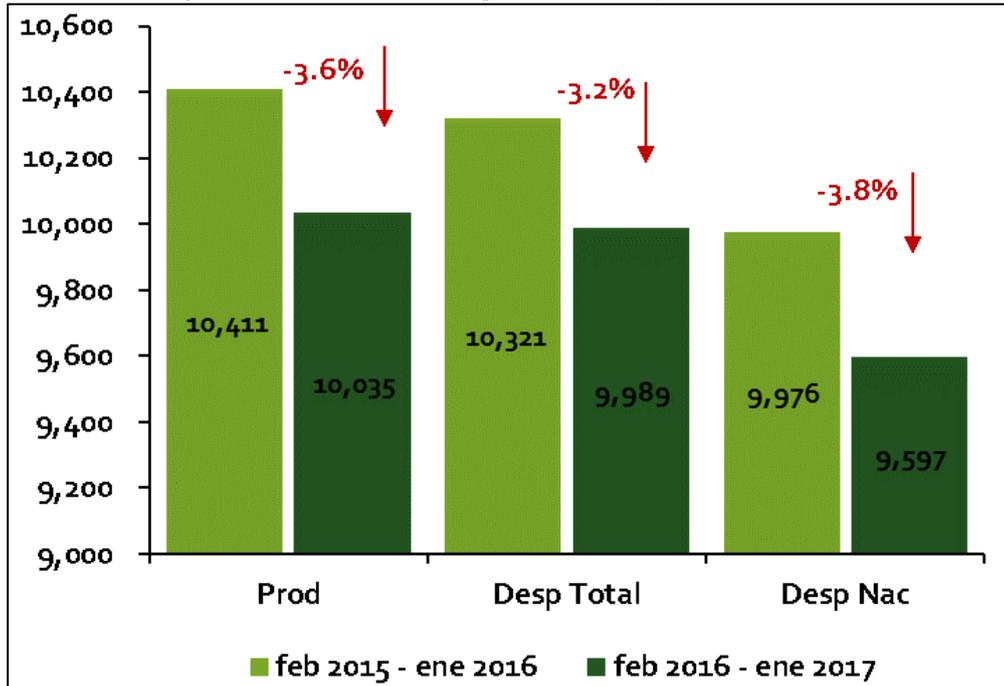
#### 1.1.1. Contextualización.

El concreto es el material de construcción más usado y el más versátil en el mundo por su capacidad de moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturas, para utilizarse en un número ilimitado de aplicaciones en la industria de la construcción. Esta versatilidad permite su utilización en todo tipo de formas estructurales, así como en los climas más variados.

Es básicamente un producto artificial y heterogéneo producto de la mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados que normalmente son arena y grava (roca triturada, o roca natural zarandeada), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua, además contiene un pequeño volumen de aire atrapado, y puede contener también aire intencionalmente incorporado mediante el empleo de un aditivo (Kosmatka, y otros, 2004).

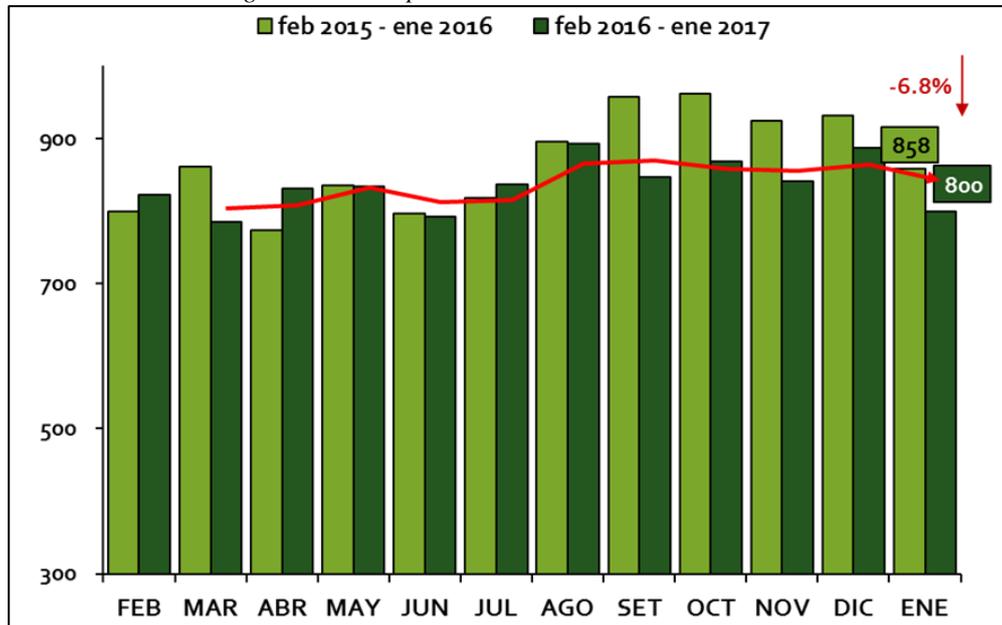
En el Perú, según la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), se despacharon aproximadamente 9.989 millones de toneladas métricas de cemento portland desde febrero del 2016 hasta enero del 2017 con los cuales se produjeron aproximadamente 30 millones de metros cúbicos de concreto en todo el país. Como se expone en la figura N° 1, donde se muestra el crecimiento de la producción, el despacho nacional y total en el año 2017 y 2016. Asimismo, en la figura 2 se puede apreciar el crecimiento mensual y la comparación de este respecto al año anterior.

Figura N° 1: Producción, Despacho nacional y total de Cemento



Fuente: ASOCEM, 2016 - 2017

Figura N° 2: Despacho nacional mensual de Cemento



Fuente: ASOCEM, 2016 - 2017

Para obtener un concreto que cumpla con las especificaciones para el cual va a ser utilizado, como son la resistencia a la compresión, flexión o durabilidad, es necesario que, en los primeros días de edad, se encuentre en un entorno que reúna adecuadas condiciones de

temperatura y humedad, que aseguren la hidratación del cemento. Los métodos utilizados para mantener estas condiciones que favorezcan esta hidratación se llama “curado”. El grado de hidratación (la cantidad de cemento hidratado) tiene influencia sobre la resistencia y la durabilidad del concreto. El concreto recién mezclado normalmente contiene más agua que la requerida para la hidratación del cemento, sin embargo, la pérdida excesiva de agua por evaporación puede disminuir la hidratación adecuada (Kosmatka, y otros, 2004). Por lo cual, evidenciamos la importancia de emplear un método de curado adecuado en el concreto.

En el caso de la presente tesis de investigación se presentará un método para lograr un curado óptimo que nos brinde una solución a los problemas descritos en los párrafos anteriores.

### 1.1.2. Descripción del Problema

Hoy en nuestra ciudad; el curado es realizado de manera superficial; es decir se realiza un curado externo; el cual generalmente se realiza de dos maneras. La primera por humedecimiento de la estructura; la cual se realiza los primeros días de edad. Y la segunda es mediante un aditivo formador de membrana impermeable. Pese a estas prácticas usuales en nuestro medio; no se conoce a cabalidad la eficiencia de estos métodos, así como también de su influencia en las propiedades mecánicas del concreto. Un problema frecuente en el concreto es la aparición de grietas en losas o estructuras expuestas a la intemperie; esto es asociado a un curado inadecuado.

Por lo tanto, este proceso es de suma importancia en el desempeño del concreto, resulta ser un requisito fundamental en la resistencia mecánica de este. El aumento de dicha resistencia con la edad continúa debido a varios factores, el primero por la presencia de partículas de cemento no hidratado en la mezcla, segundo por la presencia de un ambiente o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80% (Powers 1948), otro factor es la temperatura del concreto; la cual debe permanecer en cierto rango favorable y por ultimo; debe haber espacio suficiente para la formación de los productos de hidratación (Kosmatka, y otros, 2004).

Esta tesis se propuso estudiar y evaluar un método de curado interno mediante la saturación máxima de un material cerámico capaz de absorber un máximo de agua, este será reemplazo en porcentajes del agregado grueso, encontrando el porcentaje adecuado de esta adición y sin que sea afectada su resistencia a compresión última.

## **1.2. Formulación del problema**

Conociendo el problema de investigación y los argumentos para realizar la presente tesis de investigación es que se formula el siguiente problema:

¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de arcilla coccionada en reemplazo del 5%, 10% y 20% del agregado grueso, referente a la retención de humedad y aumento de la resistencia a la compresión y flexión, en comparación al curado del concreto sumergido en agua?

## **1.3. Hipótesis**

### **1.3.1. Hipótesis.**

El curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en ciertos porcentajes de reemplazo de agregado grueso (5%, 10% y 20%) es más efectivo en retención de humedad y resistencia mecánica del concreto, que los curados mediante inmersión en agua y usando aditivo curador.

### **1.3.2. Variables de Estudio**

Las variables dependientes e independientes consideradas en el estudio, y que se evaluaron a partir de los ensayos en especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto a edades de 7, 14 y 28 días, fueron las siguientes:

#### **a. Variables dependientes**

Efectividad del curado del concreto: es la variable dependiente principal de este estudio, la cual se determina estudiando las siguientes variables:

- Resistencia a la compresión del concreto.
- Resistencia a la flexión del concreto.

#### **b. Variable independiente:**

- Porcentaje de reemplazo y propiedades de los fragmentos de arcilla coccionada
- Propiedades de los agregados naturales

## **1.4. Justificación de la investigación**

### 1.4.1. Justificación científica.

Este estudio se justifica de forma científica por lo siguiente:

- a. Se brinda un aporte informativo y conclusiones importantes, producto de una intensa investigación y recopilación de información referente a los métodos de curado del concreto, en especial forma respecto al curado interno del concreto que es un tipo de curado nuevo en la localidad de Cajamarca y el país, encontrándose en la práctica escasos antecedentes locales de este tipo de curado. Y tampoco del curado interno mediante la adición de material cerámico que es el tema de fondo de esta tesis.
- b. Esta tesis obtuvo resultados positivos en la efectividad del curado interno por reemplazo del agregado grueso por material cerámico. Así, podría ser la base para investigaciones futuras referentes a este tipo de curado interno propuesto, como estudiar su combinación con otros tipos de curados comunes y estudiar la influencia de esta propuesta de curado en otras propiedades del concreto, como en la durabilidad, disminución de aparición de fisuras y control de altas temperaturas del concreto en clima cálido o masivo; a partir de esta investigación se amplía las posibilidades de aplicación y las alternativas de curado en nuestro medio y en general en el país.

### 1.4.2. Justificación técnica – práctica.

Este estudio se justifica de forma técnica y práctica por lo siguiente:

- a. La investigación es original, ya que, si bien desde 1991 se estudia el curado interno del concreto, no se encuentran investigaciones referentes a curado interno mediante la incorporación de material cerámico en reemplazo del agregado grueso, ni tampoco hay investigaciones sobre el tema en el país y mucho menos en nuestra región, se ha encontrado un estudio realizado por la Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito pero no brinda idea clara del curado bajo nuestras condiciones ambientales y con los materiales propios de nuestra localidad.

b. Se obtuvieron resultados positivos como se esperaba al plantear esta tesis; es decir el curado interno con incorporación de material cerámico en reemplazo de porcentajes del agregado grueso es efectivo, lo que permite proponerlo como un nuevo tipo de curado a utilizar a diferencia del curado más común empleando aditivo.

c. La investigación ha respondido a un problema común y constante al que se enfrentan los involucrados en el área de construcción, siendo común encontrar fisuración o agrietamiento en losas o estructuras expuestas a la intemperie; lo que se debe a la pérdida temprana de agua de mezcla y también resistencias a compresión y flexión del concretas menores a las requeridas, todo por falta de un curado óptimo.

d. Se puede decir que la investigación es trascendente en la sociedad; ya que los resultados obtenidos van dirigidos a la comunidad relacionada con la construcción en el país, como son los ingenieros, maestros de obra, empresas fabricantes de concreto premezclado, Universidades e instituciones educativas técnicas con carreras afines a la construcción civil, para poder utilizar la información obtenida al aplicarse en los métodos de elaboración de concreto o realizar investigaciones referentes.

#### 1.4.3. Justificación institucional y personal.

Este estudio se justifica de forma institucional y personal por lo siguiente:

a. La Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) a través de su Facultad de Ingeniería, específicamente a través de su escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, está en capacidad de desarrollar investigaciones a través de sus estudiantes a fin de resolver los problemas sociales que se enmarcan en su campo de acción; siendo en este caso el estudio de la propuesta de un curado interno del concreto mediante la adición de material cerámico, el cual de aplicarse podría solucionar los problemas comunes por falta de un curado óptimo del concreto.

## **1.5. Delimitación de la investigación**

La investigación se enmarca en la determinación de la retención de humedad, la resistencia a la compresión y a la flexión de un concreto utilizando fragmentos de arcillas coccionadas para reemplazar el agregado grueso en ciertos porcentajes. Para la presente investigación se tuvo como delimitaciones las siguientes:

- a. En cuanto a confiabilidad, técnica y metodológica, se realizarán una serie de ensayos en el laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca: estos ensayos correctamente normados y empleando equipos debidamente calibrados, los cuales cuentan con sus respectivos certificados de calibración. Como ya se mencionó, los ensayos se realizarán siguiendo las normas técnicas NTP, ASTM o recomendaciones de ACI respectivas actualizadas al presente año 2017, siendo realizados por técnicos de concreto capacitados y supervisados por el tesista. Por lo tanto, se puede afirmar que hay confiabilidad en los resultados.
- b. En cuanto a la delimitación teórica, se llevó a cabo una rigurosa búsqueda de investigaciones nacionales e internacionales por medio de buscadores especializados de investigaciones en idioma español e inglés, para obtener todos los antecedentes existentes.
- c. En cuanto a delimitación temporal, la investigación se inicia a mediados del año 2016, por lo que la información obtenida actualizada a esta fecha de las Normas NTP, ASTM o recomendaciones ACI, pueden variar respecto a los próximos años, por estar sujetas a actualizaciones constantes. Así mismo, las características de los agregados utilizados pueden cambiar a través del tiempo.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar que efectividad tiene el curado interno del concreto reemplazando ciertos porcentajes del agregado grueso por fragmentos de material cerámico y evaluar su capacidad para proveer curado interno a la mezcla, mediante la valoración de algunas de sus propiedades físicas y mecánicas, en comparación a otro tipo de curado.

### 1.6.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de esta investigación están planteados a continuación:

- a. Determinar la efectividad que tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de material cerámico en reemplazo del 5%, 10% y 20% del agregado grueso referente a la retención de humedad del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.
  
- b. Determinar la efectividad que tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de material cerámico en reemplazo del 5%, 10% y 20% del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.
  
- c. Determinar la efectividad que tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de arcilla coccionada en reemplazo del 10% y 20% del agregado grueso referente a la resistencia a la flexión del concreto; a la edad de 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.

## CAPÍTULO II

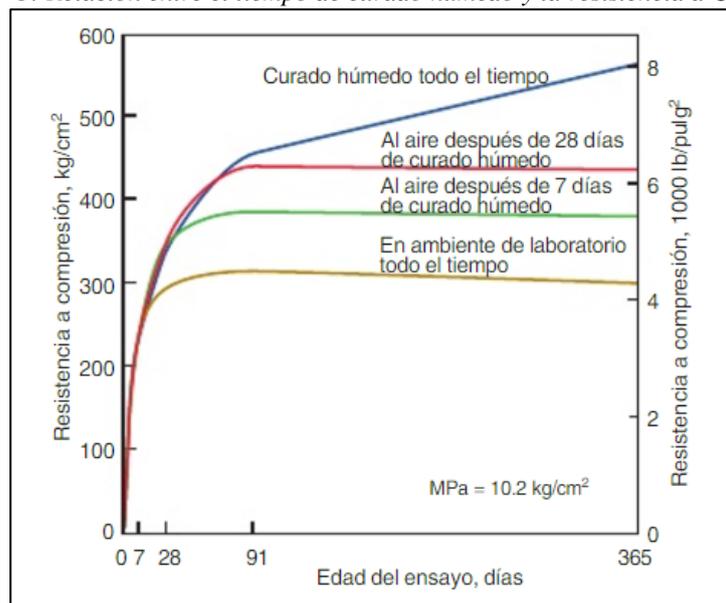
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes históricos de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes de estudios del curado del concreto

Según Kosmatka, la hidratación es relativamente rápida en los primeros días después de la colocación del concreto. Por lo tanto, es importante que se retenga agua en el concreto durante este período. Con un curado adecuado, el concreto se vuelve más impermeable y más resistente a esfuerzos, a abrasión y a congelación deshielo. El desarrollo de las propiedades es muy rápido en los primeros días, pero después continúa más lentamente. En la Figura N° 3 se observa el desarrollo de la resistencia a compresión de acuerdo a diferentes tiempos de curado húmedo. La exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través del contacto con el suelo y la lluvia. Los concretos en ambientes internos normalmente secan completamente después del curado y no continúan a desarrollar resistencia (Kosmatka, y otros, 2004).

Figura N° 3: Relación entre el tiempo de curado húmedo y la resistencia a Compresión.



Fuente: (Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

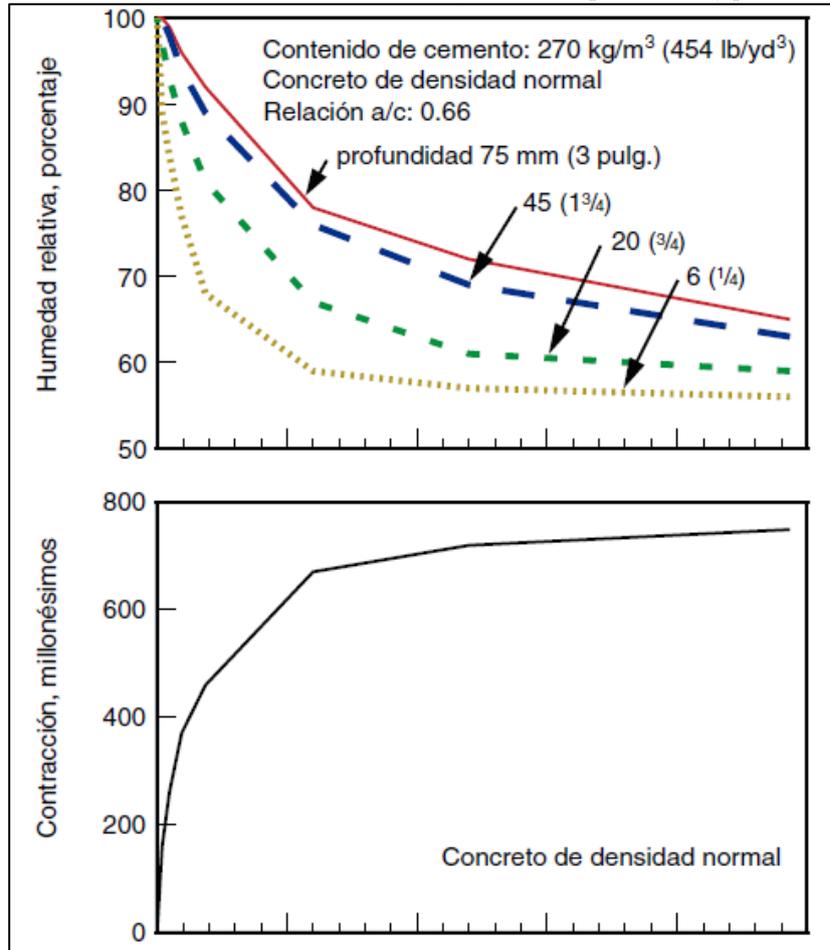
Según Powers (1947), cuando el curado húmedo se interrumpe, el desarrollo de la resistencia continúa por un corto período de tiempo y se paraliza después que la humedad relativa interna baja a 80%. Sin embargo, si se empieza nuevamente el curado húmedo, el desarrollo de la resistencia se reactiva, pero la resistencia potencial original tal vez no se logre. Aunque se puede lograr en el laboratorio, la restauración del concreto en la obra es difícil. Por lo tanto, la mejor opción es el curado húmedo continuo, desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya desarrollado suficientes resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Además, Neville concluye que, es complicado controlar las condiciones ambientales en la práctica, ya que hay factores impredecibles como viento, diferencias en temperatura y otros, siempre habrá migración de humedad desde el concreto hacia el ambiente, por lo que “curado natural” no existe (Kosmatka, y otros, 2004).

Con este estudio se tiene evidencia de la importancia del curado apropiado y continuo en los primeros días de edad del concreto para poder obtener concretos sin problemas de inadecuada hidratación del cemento, como son mayor permeabilidad del concreto y cemento no hidratado dentro del concreto que producen bajas resistencias a la compresión y que afectan la durabilidad de éste.

#### 2.1.2. Antecedente de estudios de la velocidad de secado y la hidratación del cemento

Según Kosmatka (2002), el concreto no se endurece o cura con el secado, más bien el concreto y más precisamente el cemento dentro de él, necesita de cierta humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, como ya se mencionó la resistencia deja de crecer. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie para el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba de los 80%. Mientras que la superficie del elemento de concreto se seca rápidamente, mucho más tiempo es necesario para el secado de su interior. La Figura N° 4 muestra la tasa de secado en varias profundidades en cilindros de concreto de 150 x 300 mm sometidos a curado húmedo por 7 días y posteriormente a desecación al aire del laboratorio a 23°C. Los miembros de concreto en el campo tendrían perfiles de desecación distintos debido a las condiciones ambientales, los efectos del tamaño y las propiedades del concreto. La cantidad de humedad en el concreto depende de sus componentes, cantidad original de agua, condiciones de secado y el tamaño del miembro de concreto (Hedenblad 1997 y 1998).

Figura N° 4: Distribución de la humedad relativa, retracción por secado y pérdida de masa .



Fuente: Hanson, 1968

Según Weber y Reinhardt (1997), a medida que la hidratación del cemento procede, un sistema de porosidad capilar se forma en la pasta de cemento. El radio de estos poros y la humedad relativa al interior de ellos disminuyen a medida que más productos de hidratación se forman, llegando un cierto punto en que estos poros son capaces de absorber agua de la fuente de almacenamiento por acción capilar. A medida que más hidratación ocurre y los poros se hacen más finos dicha fuerza capilar aumenta siendo capaz de succionar más agua de la fuente. Este proceso se detiene cuando el agua de la fuente se ha agotado o cuando la totalidad del cemento se ha hidratado o si la permeabilidad de la pasta es muy baja y no permite el transporte de agua (López, y otros, 2005). En este antecedente, se explica cómo funciona el proceso de hidratación y la relación y eficacia que tendría el curado interno del concreto, ya que se concluye que, al avanzar el proceso de hidratación del cemento, los poros capilares se hacen más pequeños y aumentan su propiedad de absorción, ya que, por propiedades físicas del agua, ésta siempre va de los poros grandes a los más pequeños, favoreciendo que el agregado saturado aporte agua de curado a la pasta de cemento.

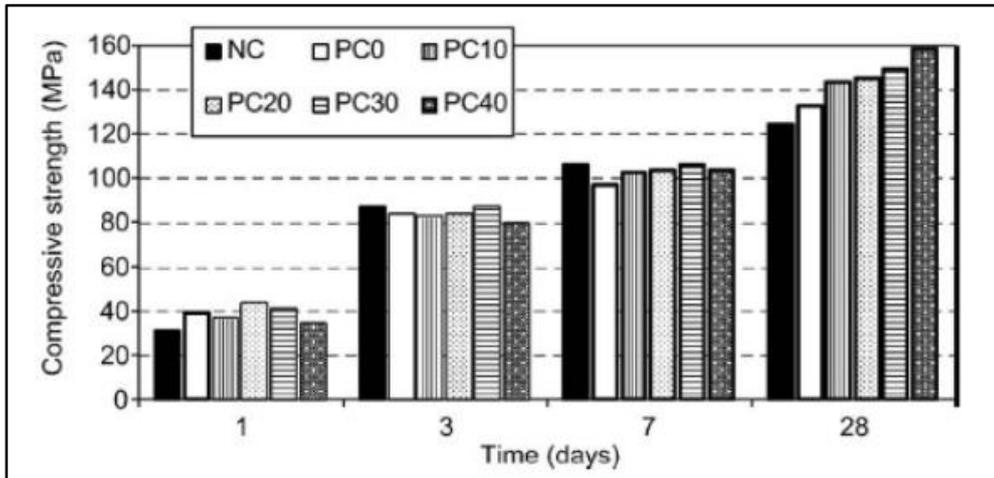
### 2.1.3. Antecedentes de estudios del curado interno

La primera publicación encontrada y que abordaba el tema de curado interno fue obra de Paul Klieger en 1957, quien escribió cierta idea “Los agregados absorben considerable agua durante la mezcla que aparentemente puede transferir a la pasta durante la hidratación”. El documento buscaba un curado adecuado y evitar la contracción del concreto de alta resistencia. Luego, el reconocido tecnólogo de concretos, Robert Philleo escribió estas palabras proféticas en 1991, "la naturaleza básica del cemento portland debe ser cambiada para que la auto-deseccación se reduzca, o una manera hay que encontrar para conseguir agua de curado en el interior de los miembros estructurales de alta resistencia. Este último es posible a través del uso de agregados ligeros saturados. (Aldana, 2014). En estos antecedentes, se observa claramente la existencia de bases teóricas sobre el curado interno, lo que da sustento a la propuesta de la presente tesis, autores importantes brindan respaldo a la idea de aportar agua de curado de forma interna mediante la absorción de los agregados; lo cual lo podemos extender a materiales lo suficiente porosos para ser saturados de agua y posteriormente capaces de liberarla.

### 2.1.4. Antecedentes de curado interno mediante saturación de agregado ligero, polímeros súper absorbentes, arcillas expandidas

La investigación hecha en la Universidad de Hiroshima realizado por Suzuki y colaborador han mostrado aumentos significativos en la resistencia a la compresión de las mezclas con curado interno, donde se obtuvieron resistencias alrededor de un 20% superiores, comparadas con una muestra patrón como se muestra en la Figura N° 5, donde se puede apreciar el incremento que se obtuvo para la resistencia a la compresión de un concreto de alto rendimiento a 28 días, con una relación a/c de 0.15, comparada con una muestra patrón sin material cerámico. En dicho estudio se hizo reemplazo de material cerámico poroso hasta un porcentaje de 40% (PC40), el cual obtuvo una resistencia un 30% superior a la mezcla patrón (Suzuki, y otros, 2009).

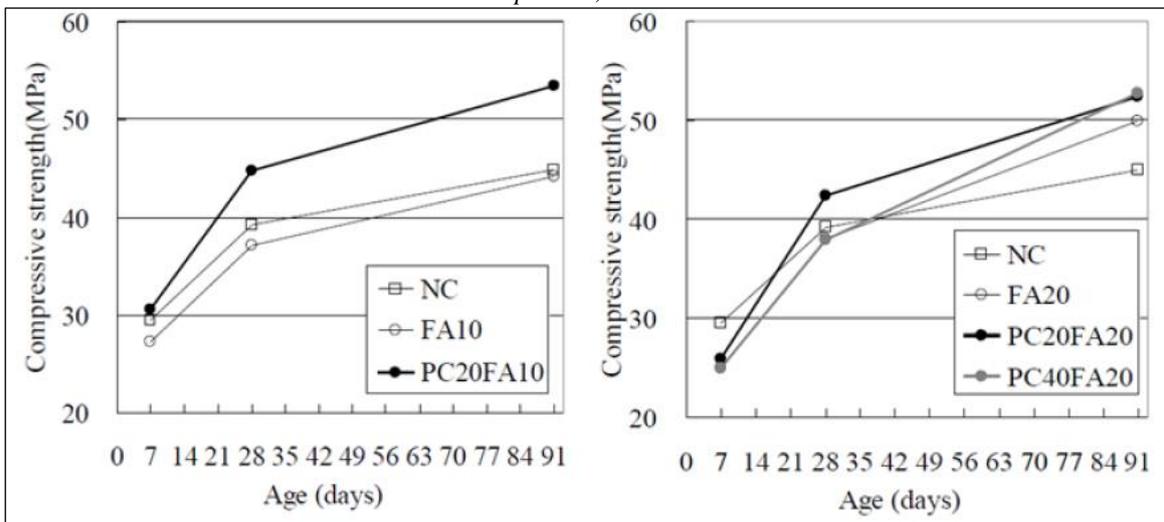
Figura N° 5: Efectos de adición de agregados cerámicos en la Resistencia a Compresión del concreto de Alta resistencia.



Fuente: Univ. Hiroshima. 2009

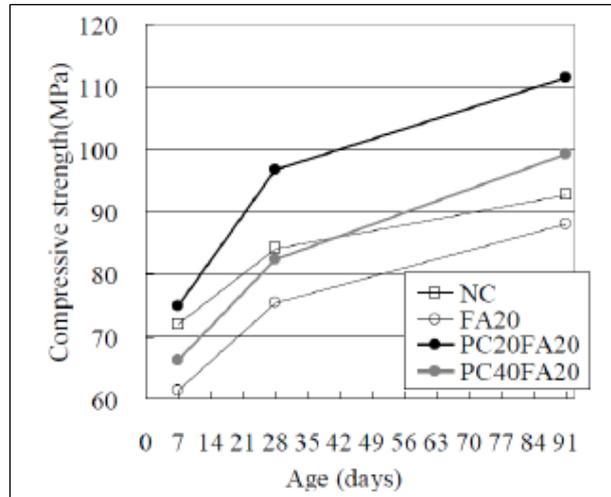
Otro estudio ha demostrado que la inclusión de materiales como residuos de tejas hechas por quema de arcilla, incrementa la resistencia a la compresión de mezclas de concreto cuando se reemplaza su agregado grueso en proporciones alrededor del 20% y 40%. En la Figura N° 6 y Figura N° 7 se presentan las gráficas de la resistencia a compresión para las mezclas con porcentajes de adición de ceniza volante y material cerámico poroso, en las que se observa que las resistencias a compresión para mezclas con material cerámico poroso, en un porcentaje del 20% y relación a/c de 0.50, son mayores que la mezcla patrón y con adiciones de ceniza volante tanto a los 28 días como a los 90. Mientras que la mezcla con reemplazo del 40% tiene una resistencia a compresión mayor sólo a los 90 días. (Shohei, y otros, 2010).

Figura N° 6: Efectos de la sustitución de agregado grueso por material cerámico en la Resistencia a Compresión, a/c=0.50.



Fuente: Univ. Coventry. 2010

Figura N° 7: Efectos de la sustitución de agregado grueso por material cerámico en la Resistencia a Compresión,  $a/c=0.30$ .

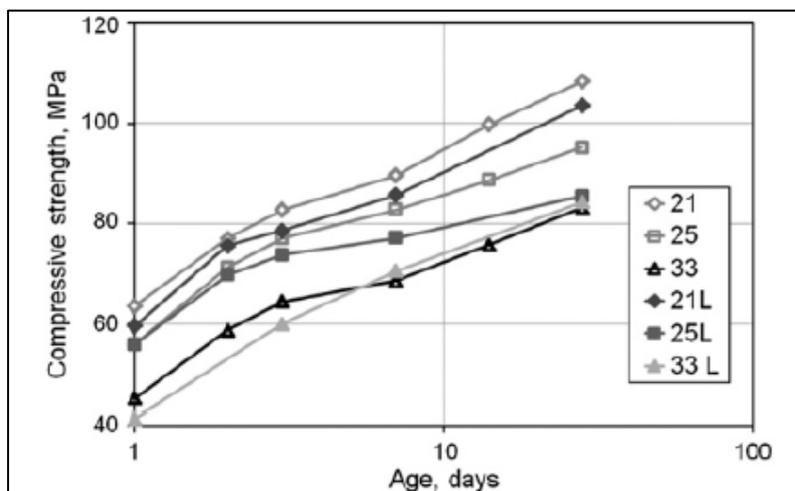


Fuente: Univ. Coventry. 2010

Según el estudio de Zhutovsky (2012), el material cerámico tiene influencia significativa en las características y propiedades del concreto con dicho material. De igual manera, la cantidad de material cerámico usado en los diseños, así como sus propiedades, inciden en el comportamiento del concreto con material cerámico.

En la Figura N° 8 se presentan las resistencias a la compresión para concretos de alto rendimiento, con valores de relación  $a/c$  de 0.21, 0.25 y 0.33 y reemplazando un 30% del agregado grueso por material cerámico poroso. En la gráfica, las muestras 21, 25 y 33 son las muestras patrón, mientras que las muestras 21L, 25L y 33L son las que tienen curado interno a través del material cerámico. (Zhoutovsky, y otros, 2012).

Figura N° 8: Relación entre la Resistencia del Concreto con curado interno y la edad.



Fuente: Zhoutovsky. 2012

Existe un estudio, aún más reciente, realizado en Colombia, por Aldana titulado: “Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto” se concluye que: La resistencia a la compresión de los concretos con material cerámico sólo aumenta cuando se tiene la relación a/c baja. En la medida en que aumenta la relación a/c, la resistencia a la compresión disminuye, por lo que pierde efectividad el uso de material cerámico para curado interno de mezclas de concreto. Con la relación a/c más baja se obtuvieron incrementos en la resistencia a la compresión del orden del 24% a los 90 días, con porcentajes de reemplazo del 40% de material cerámico y respecto a la resistencia a la compresión, el curado interno realizado a través del uso de material cerámico resulta útil para mezclas de concreto de alta resistencia, que ayudaría a obtener resistencias superiores a las de un concreto convencional cuando se necesiten concretos con resistencias del orden de 42 Mega Pascales o superiores, estos resultados (para a/c de 0.30) (Aldana, 2014).

Otras conclusiones a las que se han llegado, según diversos autores y utilizando métodos de curado distintos se resumen a continuación:

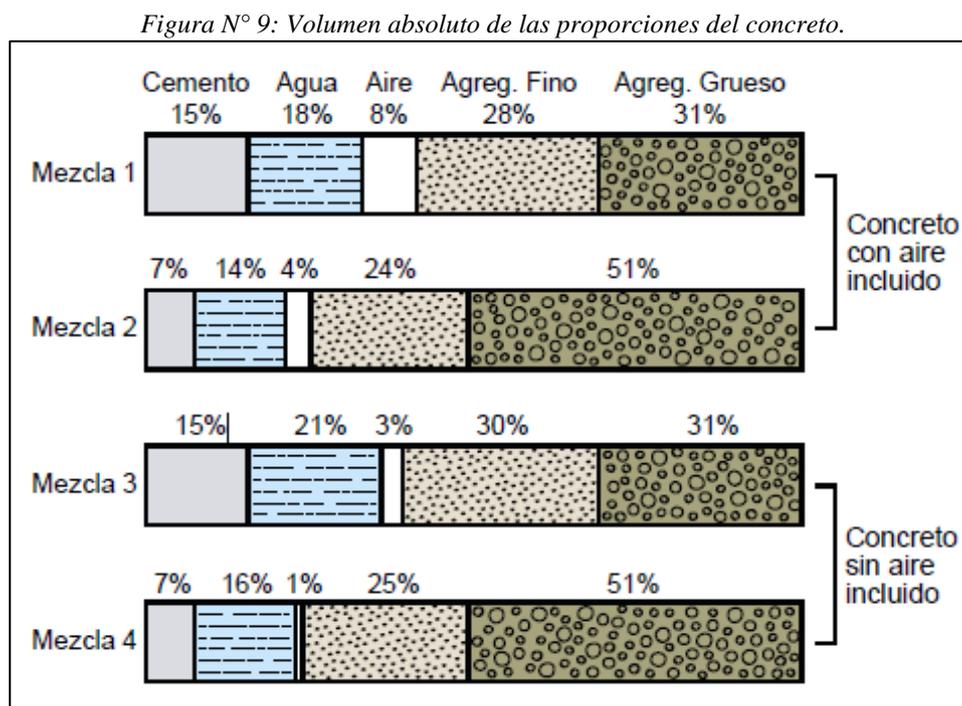
- Se ha demostrado que los agregados con porosidades de aproximadamente 50% en volumen, un tamaño de unos pocos milímetros, y un contenido menor de 50 kg/m<sup>3</sup> podría proporcionar una reducción altísima de la retracción autógena en hormigones con relación a/c tan bajas como 0,25, con sólo un pequeño efecto sobre la resistencia (Kovler, 2004).
- La cantidad de arena previamente saturada utilizada en las muestras de hormigón estudiadas (hasta 178 kg/m<sup>3</sup>) no afectó negativamente ni la resistencia ni el módulo elástico del concreto a los 7 días. Esto fue logrado mediante la reducción del agua de mezcla por la cantidad de agua de curado interno contenida en los agregados de peso ligero (hasta 27 kg/m<sup>3</sup>) (Cusson y Hoogeveen, 2008).
- Los resultados experimentales han demostrado que el uso de agregados de peso ligero previamente saturados mitiga eficazmente la retracción autógena del concreto (Akçay y Ali Tasdemir, 2010).
- Para reemplazos de material cerámico en porcentajes de 9% a 14% se observa una pequeña reducción de la densidad de hormigón y no tiene ningún efecto apreciable en la resistencia a compresión del hormigón a los 7 o 28 días (Browning, 2011).

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.3.1. El concreto y sus generalidades

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamados aditivos o adiconantes, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. (Cuevas, 2005).

La pasta, como ya se mencionó se compone de los materiales cementantes, agua y aire ya sea atrapado o incluido. Este componente ocupa el 25% hasta el 40% del volumen total del concreto. Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta. En la Figura N° 9 se presenta las proporciones de los elementos del concreto en donde las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes. (Kosmatka, 2004)



*Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004*

La pasta de concreto, según Rivva, (2004) comprende a cuatro elementos fundamentales: (a) El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento, (b) Los poros incluidos en ella, (c) El cemento no hidratado, si lo hay, (d) Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento. Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

Las propiedades de la pasta dependen de: (a) Las propiedades físicas y químicas del cemento, (b) Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla, (c) El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre éste y el agua; siendo el grado de hidratación del concreto el factor más importante en esta investigación. Siendo mejores las propiedades del concreto y menor su porosidad cuanto más baja es la relación agua/cemento de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento. Dependiendo el grado de hidratación del cemento de la reacción química entre éste y el agua, todas aquellas condiciones que favorezcan la hidratación tienen importancia en la influencia de la pasta en el concreto. Por lo cual, acá yace la importancia de la retención de agua por el curado. Cabe decir que lo que se busca con la propuesta de curado interno del concreto mediante la saturación de agregado grueso es aumentar de manera uniforme el grado de hidratación del cemento.

### 2.3.2. Porosidad de la pasta

Según Rivva, (2004), existen en la pasta cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida, aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua. Los poros presentes en la pasta se clasifican en cuatro categorías definidas por el origen, tamaño promedio, o ubicación de ellos (poros por aire atrapado, por aire incorporado, capilares y poros gel) sin haber una línea clara de demarcación que separe un rango de otro. Los poros de estas cuatro categorías son:

#### a. Poros por aire atrapado.

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, aproximadamente del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapado en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. Los espacios que este aire forma

en la masa de concreto se conocen como poros por aire atrapado. Son parte inevitable de toda pasta. Estos poros varían en tamaño desde aquellos que no son perceptibles a simple vista hasta aquellos de un centímetro o más de diámetro. Su perfil puede ser irregular y no necesariamente están interconectados. La presencia de los poros de aire atrapado es inevitable pero el inconveniente dado es que contribuyen a la disminución de la resistencia y durabilidad del concreto, pudiendo adicionalmente incrementar la permeabilidad.

b. Poros capilares.

Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel. El gel sólo puede desarrollarse en los espacios originalmente llenos de agua. Por tanto, si la relación agua/cemento es alta o el curado es pobre, la cantidad de espacios ocupables por el gel será alta y sólo una parte de ellos será ocupada por el gel durante el proceso de hidratación, quedando los espacios residuales en la condición de poros capilares.

Los poros capilares no pueden ser apreciados a simple vista, varían en perfil y forman un sistema, en muchos casos interconectado, distribuido al azar a través de la pasta. En la pasta en proceso de formación los espacios llenos de agua son continuos. Conforme progresa la hidratación los capilares son separados por el gel al comenzar a ocupar éstos los espacios originalmente llenos de agua, pudiéndose llegar a un sistema parcialmente discontinuo, el cual definitivamente se presenta en relaciones agua/cemento bajas.

Los poros capilares son los principales responsables de la vulnerabilidad de la pasta al ataque de las heladas debido a que están en capacidad de contener agua que puede congelarse. Esta agua al pasar al estado sólido debido a las bajas temperaturas incrementa su volumen en un 9%, originando esfuerzos de tensión que el concreto no está en capacidad de soportar, aumentando con ello la capacidad de deterioro del mismo.

c. Poros gel.

Durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de éste, totalmente aislados unos de otros, así como del exterior, un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce con el nombre de “poros gel” Estos poros se presentan en el gel en forma independiente de la relación agua/cemento y el grado de hidratación de la pasta, ocupando aproximadamente el 28% de la misma. Tienen un diámetro muy pequeño, del orden de aproximadamente 0.0000010 mm, equivalente al de las moléculas de agua. Debido a su muy pequeño diámetro

el agua no congela en ellos. Estos poros no están interconectados. La imposibilidad que tiene el agua para congelar en los poros gel es debida, fundamentalmente, a que no hay espacio suficiente para que se pueda producir la nuclearización del hielo. Las partículas que conforman el gel son cuatro o cinco veces mayores que los poros gel.

### 2.3.3. Los Agregados

Son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes, formando el concreto, su importancia radica en que constituyen alrededor del 75% del volumen del concreto, por lo anterior es indispensable que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica. (Abanto,2004).

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son (Rivva, 2004):

- a. Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica de concreto.
- b. Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas, de desgaste, o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento; de humedecimiento y secado; o de calentamiento de la pasta.

### 2.3.4. Interrelación agregado-concreto

Las propiedades del concreto resultante del empleo de un agregado determinado dependen de (Rivva, 2004):

- a. La composición mineral de las partículas de agregado, la cual influye fundamentalmente sobre la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto.
- b. Las características superficiales de las partículas, las cuales influyen especialmente sobre la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto; así como sobre la adherencia entre la pasta y el agregado.
- c. La granulometría de los agregados fino y grueso, definida por sí misma, así como por la superficie específica, módulo de fineza, y tamaño máximo del agregado grueso. Estas

propiedades influyen fundamentalmente sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido, sobre su densidad y sobre la economía de la mezcla.

d. El volumen de agregado por unidad de volumen del concreto, el cual influye especialmente en los cambios de volumen debidos a los procesos de humedecimiento y secado; a los procesos de calentamiento y enfriamiento; así como en el costo de la unidad cúbica de concreto.

### 2.3.5. El Agua en el Concreto

El agua está presente durante todo el ciclo de vida del hormigón. Empieza durante el mezclado, continúa durante el curado y se perpetua durante el servicio ya sea voluntariamente (canales presas, etc.) o involuntariamente en la forma de precipitaciones o contacto con cuerpos de agua. (López, 2005)

El agua es un elemento importante en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido, deberá ser limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias (Abanto, 2004)

#### a. Agua de Mezclado

El comité 116 del American Concrete Institute (ACI-116) define agua de mezclado como el agua presente en el concreto, mortero o groute en estado fresco en adición a cualquier agua absorbida por el agregado. Esta agua primero llena los espacios entre las partículas sólidas (materiales cementicios, y agregados) y después crea una película entre ellas que las separa. Este último efecto lubricante es lo que hace una mezcla trabajable (Mindess, 2003).

#### b. Agua de Hidratación

Una vez que el agua de mezclado y los materiales cementicios entran en contacto, diferentes reacciones químicas se llevan a cabo. El agua que era originalmente agua de mezclado se transforma en diferentes tipos de agua a medida que la hidratación ocurre. Parte del agua pasa a estar químicamente combinada en el principal compuesto que otorga resistencia al hormigón, silicatos de calcio hidratados. Otra parte del agua es adsorbida en la superficie de los productos de hidratación y la otra parte queda atrapada en los poros capilares originados durante la hidratación. Dichos capilares se forman debido a que el volumen de los productos

de hidratación es menor que el volumen de los materiales previos a la hidratación (Neville, 2003).

c. Agua de Curado

Según Neville (1996), el objetivo del agua de curado es mantener el hormigón en condición saturada de manera que los espacios originalmente llenos de agua se llenen de productos de hidratación. Si dicha agua no está presente, se detiene la hidratación dejando excesiva porosidad que reduce las propiedades mecánicas y durabilidad del hormigón.

d. Agua de Servicio

En la mayoría de los casos el hormigón estará expuesto a agua durante su vida útil, ya sea porque es parte de estructuras para el manejo y distribución de agua (presas, canales, tuberías) o porque está expuesto al ambiente donde agua de precipitaciones, subterráneas y superficiales entrarán en contacto con el hormigón.

### 2.3.6. La Hidratación del cemento Portland.

La expresión “hidratación del cemento Portland” y “reacción de hidratación” se utilizan para describir el conjunto de procesos físico-químicos y termodinámicos que se desarrollan simultáneamente cuando el cemento Portland entra en contacto con el agua. Al progreso de este fenómeno desde que una partícula de cemento comienza a reaccionar hasta que se completa la misma y a los niveles intermedios se les denomina “grado de hidratación” ( $\alpha$ ).

El agua es un ingrediente clave en las pastas de cemento, mortero y concreto base cemento Portland, ya que las diferentes fases que conforman al cemento Portland tienen que reaccionar químicamente con el agua para la formación de las fases hidratadas que dan resistencia al sistema.

La calidad de unión (adhesión, adherencia) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación. El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland, siendo los siguientes: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (aluminio ferrito tetracálcico). Además de estos compuestos principales, muchos otros desempeñan un papel importante en el proceso de hidratación. (Kosmatka, 2005)

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos: hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio). Este último es, sin duda, el más importante compuesto del concreto. Las propiedades del concreto fraguado y endurecido, resistencia y estabilidad dimensional dependen principalmente del silicato de calcio hidratado. Éste es el corazón del concreto. La composición química del silicato de calcio hidratado es un tanto variable, pero contiene cal (CaO) y dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) en una proporción de 3 a 2.

Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta, sobre todo en el silicato de calcio hidratado y en los compuestos cristalinos. (Copeland y Schulz, 1962).

Cuanto menos porosa es la pasta de cemento, más resistente es el concreto. Por lo tanto, al mezclarse el concreto, no se debe usar más agua que aquélla estrictamente necesaria para obtenerse un concreto plástico y trabajable. Incluso, la cantidad de agua usada es normalmente mayor que la necesaria para la hidratación completa del cemento. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramos de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento (Powers 1948 y 1949). Sin embargo, la hidratación completa es rara en los concretos de las obras, debido a una falta de humedad y al largo periodo de tiempo (décadas) que se requiere para obtener la hidratación total. (Trujillo R., 2011), por lo cual la propuesta de curado interno del concreto podría acelerar la hidratación completa del cemento.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado por la hidratación del cemento puede ser útil para el planeamiento de la construcción. En invierno, el calor de hidratación va a ayudar a proteger el concreto contra los daños causados por las temperaturas muy bajas. Sin embargo, el calor puede ser perjudicial, como por ejemplo en estructuras masivas, tales como las presas, pues puede producir temperaturas diferenciales indeseables. (Kosmatka ,2014).

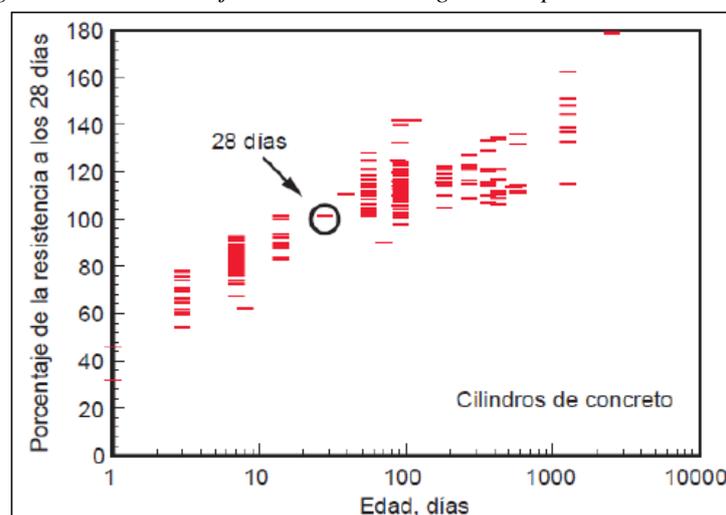
El conocimiento de la velocidad de reacción entre el cemento y el agua es importante porque determina el tiempo de fraguado y endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que haya tiempo para transportar y colocar el concreto. Una vez que el concreto ha sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido. (Kosmatka ,2014).

### 2.3.7. Resistencia a compresión del concreto

La resistencia es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse. La resistencia a compresión se utiliza como índice de la calidad del concreto. En pavimentos suele utilizarse la resistencia en flexión. Por su propia naturaleza, la resistencia del concreto no puede ser mayor que la de sus agregados. Sin embargo, la resistencia a la compresión de concretos convencionales dista mucho de la que corresponde a la mayoría de las rocas empleadas como agregado, las mismas que se encuentran por encima de los 1000 Kg/cm<sup>2</sup>. Por esta razón no se ha profundizado el análisis de la influencia del agregado en la resistencia del concreto, Rivva (1995).

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm<sup>2</sup>), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg<sup>2</sup> o psi) a una edad de 28 días. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días, como se puede observar en la Figura N°10. La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo  $f'_{cr}$  y la resistencia a compresión real del concreto  $f'_c$  debe excederla. La resistencia a compresión que el concreto logra,  $f'_c$ , es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), cuando la hidratación ha progresado, el curado, las condiciones ambientales y la edad del concreto. (Kosmatka, y otros, 2004)

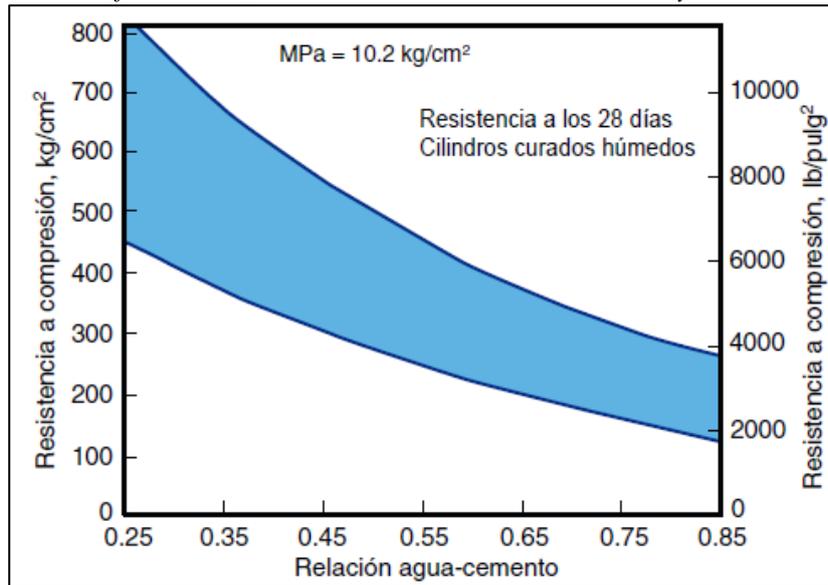
Figura N° 10: Porcentaje de Resistencia según edad para varios concretos.



Fuente: Lange, 1994

Al final del siglo XIX y principio del siglo XX (Ferret 1897 y Abrams 1918) estudiaron la correspondencia entre resistencia y la relación agua cemento, la Figura N° 11 nos muestra las resistencias a compresión para una gran variedad de mezclas de concreto y relaciones agua cemento a los 28 días de edad. Las resistencias aumentan con la disminución de la relación agua-cemento. Estos factores también afectan la resistencia a flexión y la tracción y la adherencia entre concreto y acero. (Kosmatka, y otros, 2004)

Figura N° 11: : Variación de resistencias típicas para relaciones agua – cemento de concreto más de 100 diferentes mezclas de concreto moldeadas entre 1985 y 1999



Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

### 2.3.8. Resistencia a flexión del concreto

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de ser medida que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. (Kosmatka, y otros, 2004)

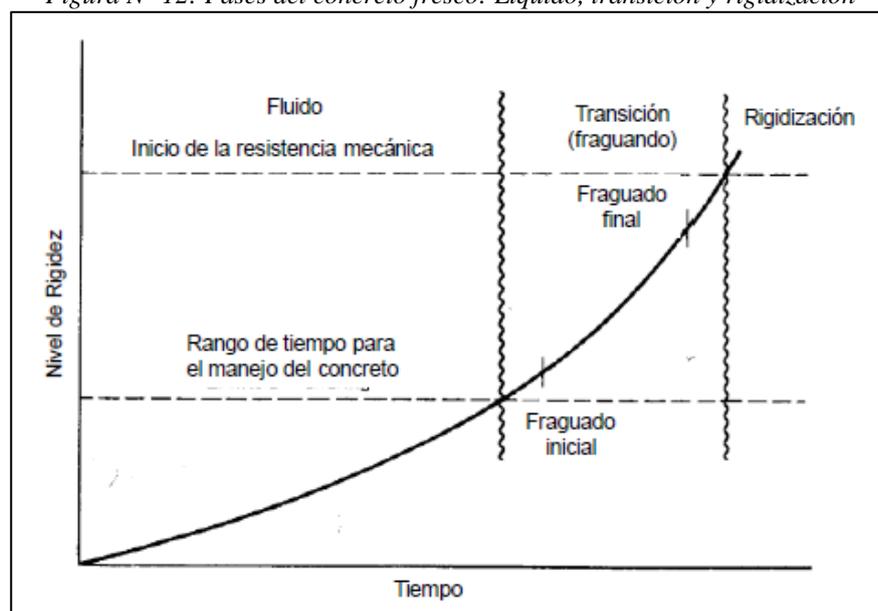
La resistencia a flexión de concretos de peso normal es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en megapascales o de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados (7.5 a 10 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgadas cuadradas). Wood (1992) presenta la relación entre resistencia a flexión y resistencia a compresión para concretos expuestos a curado húmedo, curado al aire y exposición al aire libre.

### 2.3.9. Cambios de volumen en el concreto.

El concreto cambia ligeramente de volumen por varias razones y la comprensión de la naturaleza de estos cambios es útil para el planeamiento o el análisis de las obras en concreto. Si el concreto fuera libre de cualquier restricción para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían pocas consecuencias, pero, como el concreto en servicio normalmente se restringe por los cimientos (cimentación, fundación), subrasantes, refuerzo o elementos conectados, se pueden desarrollar esfuerzos considerables. Esto es principalmente verdad para los esfuerzos de tensión (tracción). Este cambio de volumen o de longitud puede variar del 0.01% al 0.08%. Los cambios de volumen por temperatura en el concreto endurecido son similares a los de acero. El concreto bajo tensión se deforma elásticamente. Si se mantiene la tensión (esfuerzo), va a ocurrir una deformación adicional llamada fluencia (deformación diferida, flujo plástico). La tasa de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo. El concreto mantenido continuamente húmedo se expande (dilata) ligeramente. Pero cuando se permite su secado, el concreto se retrae. El factor que más influye en la magnitud de la contracción por secado es el contenido de agua en el concreto recién mezclado. La retracción por secado aumenta directamente con el aumento del contenido de agua. (Kosmatka, y otros, 2004).

Las grietas (fisuras) se desarrollan porque el concreto es relativamente débil en tensión, pero bastante resistente a compresión. El control de las variables que afectan los cambios de volumen puede minimizar las tensiones elevadas y el agrietamiento.

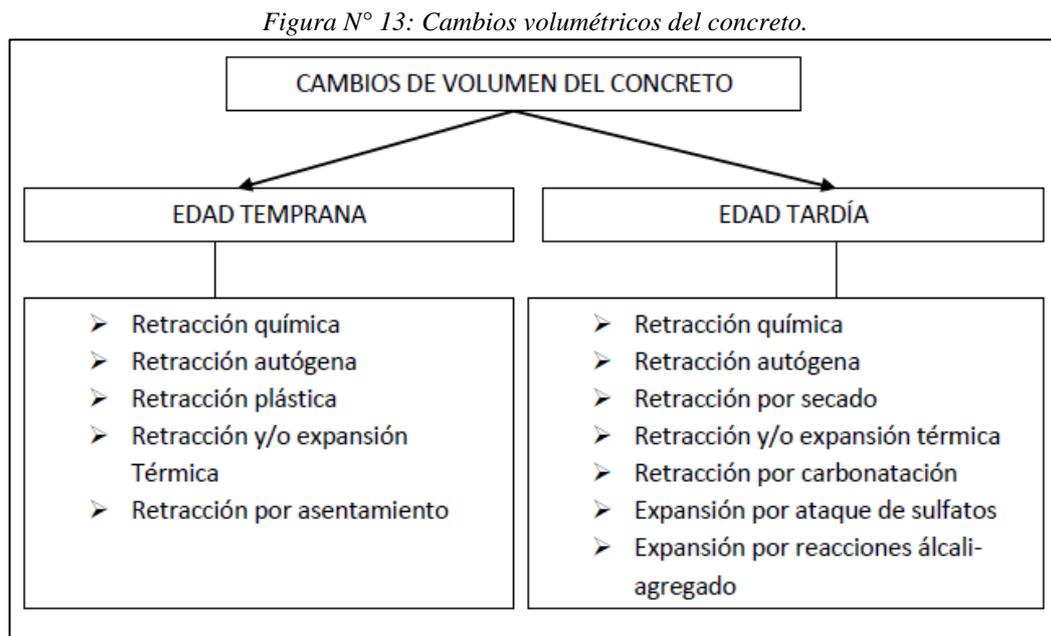
Figura N° 12: Fases del concreto fresco: Líquido, transición y rigidización



Fuente: Metha & Monteiro 1993

La retracción del concreto se debe al movimiento o pérdida de agua. Esta pérdida de agua por evaporación (retracción por secado) o reacciones internas (retracción química y autógena) genera esfuerzos de tensión que ocasionan un bloqueo de la red de poros capilares, que se traduce en un cambio de volumen. Estos cambios son expansiones y contracciones, cuando los elementos del concreto están restringidos, la expansión origina esfuerzos de compresión y la contracción origina esfuerzos de tensión. El concreto es débil ante estos últimos y produce agrietamientos cuando el esfuerzo sobrepasa su resistencia a la tensión. A edades tempranas, la contracción es incluso más crítica, puesto que el concreto aún no ha ganado mucha resistencia, incluso el esfuerzo más pequeño durante la edad temprana puede inducir contracciones significativas.

En la Figura N° 13 se presenta una imagen que muestra los fenómenos que producen cambios volumétricos, ya sea expansiones o contracciones en las diferentes etapas de la elaboración del concreto, en la edad temprana o tardía. En específico en la edad temprana se tienen la retracción química, autógena y por secado.



*Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004*

a. Cambios de volumen en edad temprana.

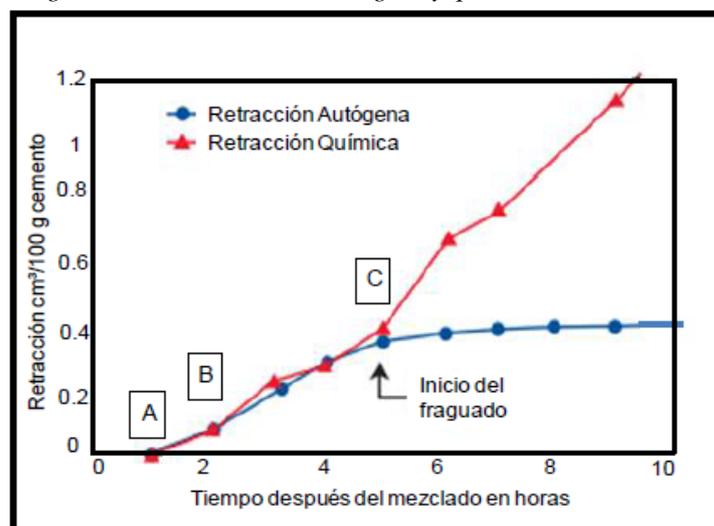
El cambio del volumen del concreto empieza justo después del colado (colocación). Los cambios tempranos de volumen, durante las primeras 24 horas, pueden influenciar los cambios de volumen y la formación de fisuras en el concreto endurecido, especialmente en concretos con baja relación agua-cemento (Kosmatka, y otros, 2004).

## b. Contracción Autógena.

La contracción autógena es la reducción macroscópica del volumen (cambio dimensional visible) de la pasta de cemento, mortero o concreto, causada por la hidratación del cemento, se da en concretos que no se curan durante las primeras edades de endurecimiento. La reducción macroscópica del volumen de la contracción autógena es mucho menor que la reducción del volumen absoluto de la contracción química, debido a la rigidez de la estructura de la pasta endurecida. La contracción química es la fuerza que conduce a la contracción autógena. Algunos investigadores y organizaciones consideran que la contracción autógena empieza con el inicio del fraguado y otros la evalúan desde el momento de la colocación (colado) del concreto (Kosmatka, y otros, 2004).

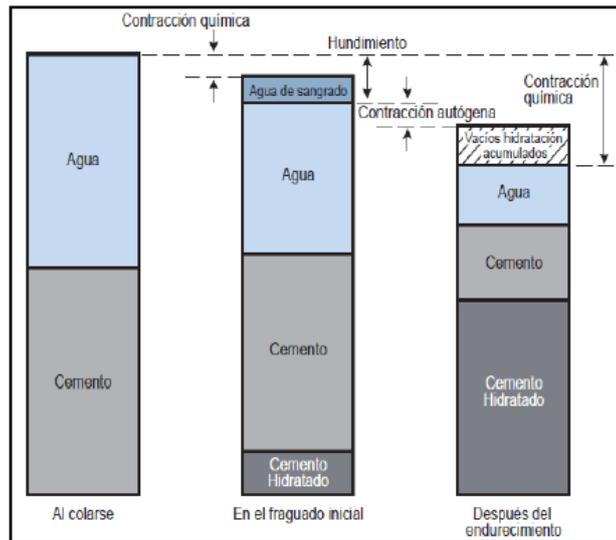
La contracción autógena después del fraguado es la contracción que nos interesa ya que este cambio de volumen se produce por desecación del concreto por falta de curado, cuando el agua no se encuentra disponible, el cemento consume agua en los poros, causando auto-desecación de la pasta y una reducción uniforme del volumen. En la Figura 14 se observa que la retracción autógena es proporcional a la retracción química (sección A-B, primera etapa después del colado). Esto significa que la retracción autógena se debe sólo a los cambios químicos; después de este punto, la retracción autógena comienza a perder proporcionalidad. Más allá del punto C, la retracción autógena se compone de menos retracción química, por lo que las futuras reducciones de volumen se deben solamente a la auto-desecación. En la Figura N° 15 se ilustra cómo la retracción autógena es una porción de la retracción química. Mientras la retracción química es un volumen de retracción interna, la retracción autógena es un volumen de retracción externa. (Boivin, 1999).

Figura N° 14: Contracción Autógena y química de un concreto



Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

Figura N° 15: Hundimiento, agua de sangrado, contracción química y autógena



Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

Cuando hay agua externa disponible, la contracción autógena no puede ocurrir. Cuando el agua externa no está disponible, la hidratación del cemento consume el agua de los poros, resultando en auto desecación de la pasta y en una reducción uniforme del volumen (Copeland, y otros, 1955). La contracción (retracción) autógena aumenta con la disminución de la relación agua/cemento y con el aumento de la cantidad de pasta de cemento. El concreto normal tiene una contracción autógena insignificante, sin embargo, es muy prominente en concretos con relación agua-cemento menor que 0.42. El concreto de alta resistencia y baja relación agua- cemento (0.30) puede experimentar una contracción autógena de 200 a 400 millonésimos. La contracción autógena puede ser la mitad de la contracción por secado en concretos con relación agua-cemento de 0.30 (Kosmatka, y otros, 2004).

c. Hundimiento o contracción por asentamiento.

El hundimiento (asentamiento) se refiere a la contracción vertical de los materiales cementantes frescos, antes del inicio de fraguado, y es resultado del sangrado o la exudación (asentamiento de los sólidos con relación a los líquidos), de la subida de los vacíos de aire hacia la superficie y de la contracción química. El hundimiento también se llama contracción por asentamiento. El hundimiento del concreto bien consolidado, con un sangrado mínimo, es insignificante. La relación entre hundimiento y otros mecanismos de contracción se muestra en la Figura N° 16 (Kosmatka, y otros, 2004).

d. Contracción Plástica

Contracción plástica se refiere a los cambios que ocurren mientras el concreto aún está en estado fresco, antes de endurecerse (etapa plástica) y resulta de la combinación de la

retracción química y autógena junto con la rápida evaporación de la humedad de la superficie. Normalmente, se presenta en la forma de fisuras por contracción plástica, que ocurren antes o durante el acabado. Las grietas frecuentemente parecen rasgaduras en la superficie. Así, la contracción plástica se puede controlar con la disminución de la evaporación de la superficie a través del curado del concreto: uso de rociado, rompevientos, sombreado, cubiertas de láminas de plástico, yute (arpillera, estopa) húmedo, auxiliares de acabado aerosol (retardadores de evaporación) y fibras plásticas (Kosmatka, y otros, 2004).

El agua que se encuentra por debajo de la superficie del concreto forma un menisco entre las partículas finas de cemento y de agregados, causando una fuerza de tensión que se desarrolla en las capas superficiales. Si la superficie del concreto ha comenzado a fraguar y ha desarrollado suficiente resistencia a la tensión para resistir dichas fuerzas, no se forman grietas. Si la superficie se seca muy rápidamente, el concreto puede permanecer plástico y las grietas no se desarrollan en ese momento, pero se formarán tan pronto como el concreto se endurezca un poco más. (Trujillo, 2011)

Las grietas por retracción plástica son usualmente paralelas entre sí, a una distancia de 0.3 a 0.9 m, aunque también se pueden presentar en direcciones preferentes y distribuidas al azar; son relativamente superficiales (de 20 a 40mm de profundidad), pudiendo en ocasiones atravesar las losas. Son antiestéticas, aparecen en las primeras horas (de 1 a 10 horas), se manifiestan en grupos, no atraviesan las partículas de agregado grueso, más bien las rodean, no presentan peligro estructural y raramente afectan la resistencia o la durabilidad del concreto. (Corral, 2004)

*Figura N° 16: Fisuras por contracción plástica*



*Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004*

e. Expansión o Hinchazón.

El concreto, el mortero y la pasta de cemento se expanden con la presencia de agua externa. El volumen de la masa del concreto aumenta cuando el agua externa reemplaza el agua drenada de los capilares por la contracción química. Como no hay auto desecación, no hay contracción autógena. El agua externa puede venir del curado húmedo o sumersión. La expansión (hinchazón) ocurre debido a la combinación del crecimiento de los cristales, absorción de agua y presión osmótica. La magnitud de la expansión no es muy grande, sólo cerca de 50 millonésimos en las edades tempranas. Cuando se remueve la fuente de agua externa, las contracciones autógenas y de secado revierten el cambio de volumen (Kosmatka, y otros, 2004).

f. Expansión Térmica Temprana.

A medida que el cemento se hidrata, la reacción exotérmica proporciona una cantidad significativa de calor. En elementos de grandes volúmenes, el calor se retiene y no se disipa como en los elementos menores. Este aumento de temperatura, que ocurre durante las primeras horas y días, puede inducir a una pequeña expansión que compensa las contracciones autógenas y de secado (Kosmatka, y otros, 2004).

#### 2.3.10. El curado del concreto

Según Kosmatka, y otros, 2004, el curado es la mantención de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación (colado) y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto.

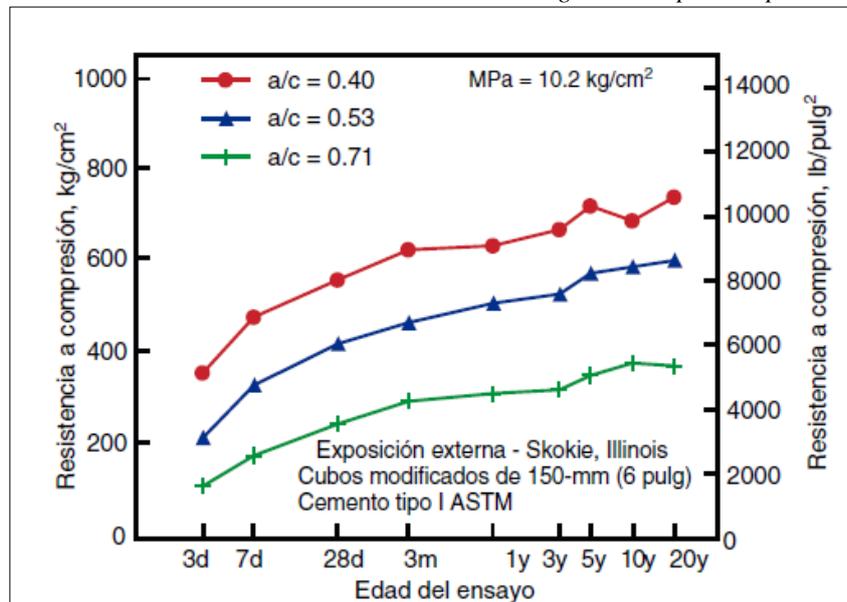
Otra definición de curado es la que encontramos según Mehta y Monteiro (1993), quienes definen curado como todos aquellos procedimientos para promover la hidratación del cemento los que consisten en manejo del tiempo, de la temperatura y la humedad inmediatamente después de la colocación del hormigón.

Siempre se debe enfatizar la necesidad de curado pues tiene una fuerte influencia sobre las propiedades del concreto endurecido, o sea, el curado adecuado hace con que el concreto tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad dimensional, resistencia a congelación-deshielo y a descongelantes. Las losas expuestas son especialmente sensibles al curado, pues se puede reducir significativamente el desarrollo de

la resistencia mecánica y la resistencia a la congelación-deshielo en su superficie, cuando el curado no es apropiado.

Cuando estas condiciones son afectadas el concreto deja de ganar resistencia. Estas condiciones son manejables en un laboratorio; pero en la realidad se vuelve complicado regularlas; ya que las condiciones son desfavorables. Por ejemplo, En la Figura N° 17 se observa la resistencia de un concreto expuesto al aire libre; se aprecia la tendencia a incrementar pese a su exposición a la intemperie; esta tendencia en el tiempo se da siempre y cuando la humedad sea satisfactoria en este caso prevista por fuentes medio ambientales por la lluvia, etc. (Kosmatka y otros, 2004)

Figura N° 17: Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre



Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

Como se viene manifestando; es complicado manejar el curado en obra; ya que las condiciones reales no siempre son controlables; es por ello que resulta necesario encontrar otros tipos de curado que nos brinden solución ante esta problemática; o por otro lado encontrar un equilibrio usando métodos conocidos e innovar con nuevas prácticas para que de esta manera mejoremos la resistencia del concreto, así como también la durabilidad; además de promover a la investigación.

Otro problema de gran importancia y relacionada con la durabilidad del concreto es la fisuración, el concreto al secarse se retrae por la pérdida de agua, la retracción por secado es la principal causa de fisuración y el ancho de las fisuras (grietas, rajaduras) es función del grado de desecación, espaciamiento y frecuencia de las fisuras y edad del apareamiento de las fisuras.

Asimismo, la PCA (Kosmatka, y otros, 2004), menciona que se puede mantener el concreto húmedo (y en algunos casos a una temperatura favorable) a través de tres métodos convencionales de curado:

a. Encharcamiento e Inmersión:

En superficies planas, tales como pavimentos y losas, se puede curar por encharcamiento. Los diques (bordes) de arena o suelo que se colocan alrededor del perímetro de la superficie del concreto pueden retener el agua del encharcamiento, método ideal para prevenir la pérdida de humedad y es eficiente para mantener la temperatura del concreto; Este método es usualmente utilizado en la localidad para losas o pisos de concreto expuestos al ambiente. Como el encharcamiento requiere mucho trabajo y supervisión, este método sólo se lo emplea en pequeñas obras.

El método de curado con agua, más minucioso, consiste en la inmersión total del elemento de concreto. Este método se usa normalmente en laboratorio para el curado de especímenes (probetas) de ensayo. Cuando la apariencia del concreto es importante, el agua utilizada en el curado por encharcamiento o inmersión debe estar libre de sustancias que manchen o decoloren el concreto. El material usado para los diques también puede decolorir el concreto.

b. Rociado o Aspersión:

El rociado y la aspersión con agua son excelentes métodos cuando la temperatura ambiente está bien arriba de la temperatura de congelación y la humedad es baja. Frecuentemente, se aplica una niebla o llovizna fina a través de un sistema de boquillas o rociadores para aumentar la humedad relativa del aire, disminuyendo la evaporación de la superficie. El costo de la aspersión puede ser una desventaja. El método requiere un gran abastecimiento de agua y una supervisión cuidadosa. Si la aspersión se hace en intervalos, se debe prevenir que el concreto seque entre las aplicaciones del agua, a través del uso de arpillera o material similar, pues los ciclos alternados de saturación y secado pueden causar la fisuración de la superficie.

c. Coberturas Húmedas:

Normalmente para el curado, se usan las cubiertas de telas saturadas con agua, como los yutes, esteras de algodón, mantas u otras telas que retengan humedad

### Papel Impermeable:

El papel impermeable para el curado del concreto consiste en dos hojas de papel kraft (o de pulpa sulfútica), cementadas entre sí por un adhesivo bituminoso con refuerzo de fibras. Este papel, según la ASTM C 171 es un método eficiente de curado de superficies horizontales y concreto estructural de formas relativamente sencillas. Una ventaja importante de este método es que no requiere el riego periódico. El curado con papel impermeable auxilia la hidratación del cemento, pues previene la pérdida de agua del concreto.

### Hojas de Plástico

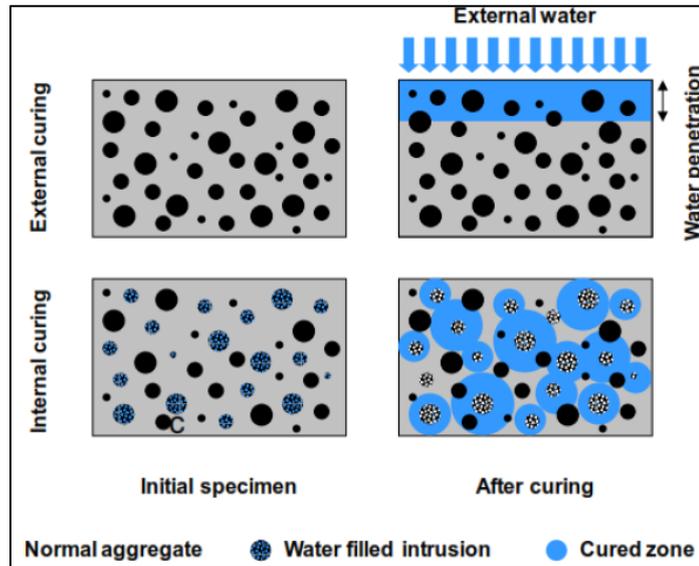
Los materiales de láminas (hojas) de plásticos, tales como la película de polietileno, se pueden usar en el curado del concreto. La película de polietileno, además de tener un peso ligero, retiene la humedad de manera eficiente y se la puede aplicar fácilmente tanto en elementos de formas sencillas como complejas. Su aplicación es semejante a la aplicación descrita para el papel impermeable.

#### 2.3.11. El Curado Interno del Concreto

El curado interno consiste en incorporar a los concretos ingredientes con pequeñas reservas de agua dentro de la mezcla de concreto, como lo son los agregados porosos (agregados ligeros) arcillas expandidas o polímeros súper absorbentes que sirvan como agentes de curado. Este agente puede ser cualquier componente (aditivo o agregado especial) o un agregado normal introducido dentro de la mezcla de concreto en estado saturado. (Trujillo R., 2011).

Los beneficios de curar internamente el concreto van más allá de solo mejorar la resistencia a la compresión. Principalmente, se logra un mayor grado de hidratación y una reducción de la permeabilidad; incrementando así la impermeabilidad de la matriz cementante. Según Aldana: El concepto de Philleo de curado interno del concreto (1991) se ilustra esquemáticamente en la siguiente Figura N° 18, donde el agua de curado externo sólo es capaz de penetrar varios mm bajo el nivel del concreto, mientras que el curado interno permite que el agua sea distribuida de manera más equitativa a través de la sección transversal.

Figura N° 18: Esquema comparativo del curado interno y externo



Fuente: Robert Philleo, 1991.

La idea de curado interno fue tocada también en el año 2006, año en el que Jensen y Laura describieron algunas técnicas para la incorporación de agua de curado en el concreto, utilizando polímeros súper-absorbentes, arcillas, pumicita, perlita, tierra diatomáceas, y determinaron aquellos agregados que retienen mayor cantidad de agua de curado interno para evitar desecación en la pasta de cemento. Entre ellos destacan los polímeros súper absorbentes, seguidos de la perlita y la pumicita.

#### a. El Modelo de Powers

En el año 1947, Powers desarrolló un simple grupo de ecuaciones empíricas para modelar las diferentes fases presentes en un sistema que contiene cemento portland y agua. En su modelo Powers define 5 entidades: (a) cemento sin hidratar, (b) agua, (c) productos de hidratación, (d) porosidad de los productos de hidratación y (e) porosidad capilar. El volumen ocupado por cada una de estas fases depende del grado de hidratación del cemento. Por ejemplo, para un grado de hidratación igual a cero, hay solamente cemento y agua, y su volumen está dado por el volumen de cada uno de ellos adicionado originalmente. Para un grado de hidratación completo (100 %), el volumen de cemento es cero, y el volumen de productos de hidratación es aproximadamente  $0.68 \text{ cm}^3$  por gramo de cemento originalmente adicionado y el volumen de porosidad (en los productos de hidratación y capilares) está dado por la razón agua – cemento (a/c). Dicha razón determina el espaciamiento inicial entre las

partículas de cemento y por lo tanto el espaciamiento dentro de la pasta de cemento (porosidad) después de que el cemento se ha hidratado.

La formación de los silicatos de calcio hidratados y del hidróxido de calcio puede llevarse a cabo sólo si se reúnen dos requisitos: (a) si hay suficiente espacio para que los productos de hidratación se formen y (b) si hay suficiente agua para ser usada durante la hidratación (Mindess et al., 2003).

El espacio disponible para los productos de hidratación disminuye a medida que la hidratación progresa, en este sentido se puede alcanzar cierto punto donde el espacio no es suficiente para continuar la hidratación. Utilizando las ecuaciones propuestas por Powers, se puede demostrar que esto ocurre para  $a/c$  bajo 0.36. Como consecuencia, en sistemas bajo ese límite no ocurrirá hidratación completa, incluso entregando agua externamente. Cuando la  $a/c$  está ligeramente sobre 0.36, si bien se tiene espacio suficiente para los productos de hidratación, no se cuenta con el agua suficiente para hidratarlos. En un sistema cerrado en el que no se pierde agua al ambiente ni se recibe agua desde el ambiente, la  $a/c$  debe ser mayor a 0.42 para poder alcanzar una hidratación del 100 % (Mindess et al., 2003).

Basado en lo anterior cualquier sistema con  $a/c$  entre 0.36 y 0.42 requiere de agua adicional para alcanzar el 100 % de hidratación. De la misma manera, mezclas con  $a/c$  menores a 0.36 requieren del suministro de agua externa para alcanzar el máximo grado de hidratación que no será 100 % por no contar con el espacio suficiente.

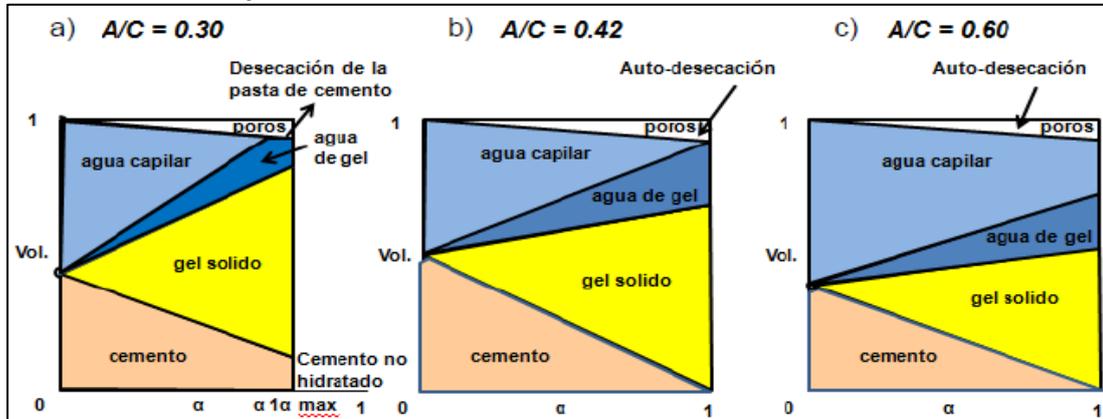
Todo lo anterior se concluye asumiendo que no hay pérdidas de agua por evaporación al ambiente. En realidad, puede haber pérdidas importantes al ambiente debido a diferencias en temperatura, viento, diferencias en humedad relativa, y radiación solar (Neville, 1996). Tomando en cuenta dichas pérdidas, se requiere suplir aún una mayor cantidad de agua para alcanzar el máximo grado de hidratación.

Si bien las ecuaciones desarrolladas en el modelo de Powers se aplican sólo a sistemas de cemento portland y agua, las conclusiones respecto a la necesidad de agua de curado pueden ser extendidas a sistemas más complejos.

El modelo mencionado anteriormente estudiado por Powers, también fue estudiado por Jensen y Hansen, quienes esquemáticamente, representaron los resultados de sus trabajos sobre el desarrollo de la hidratación, como se presenta en la Figura N° 19 y 20. Estos esquemas muestran claramente que la hidratación completa no puede alcanzarse en un

sistema cerrado, que es un sistema donde no hay intercambio de humedad con el exterior, a menos de que la relación agua-cemento (a/c) sea igual o mayor que 0.42, la cual será un sistema que contiene más agua de la necesaria para hidratar por completo al cemento.

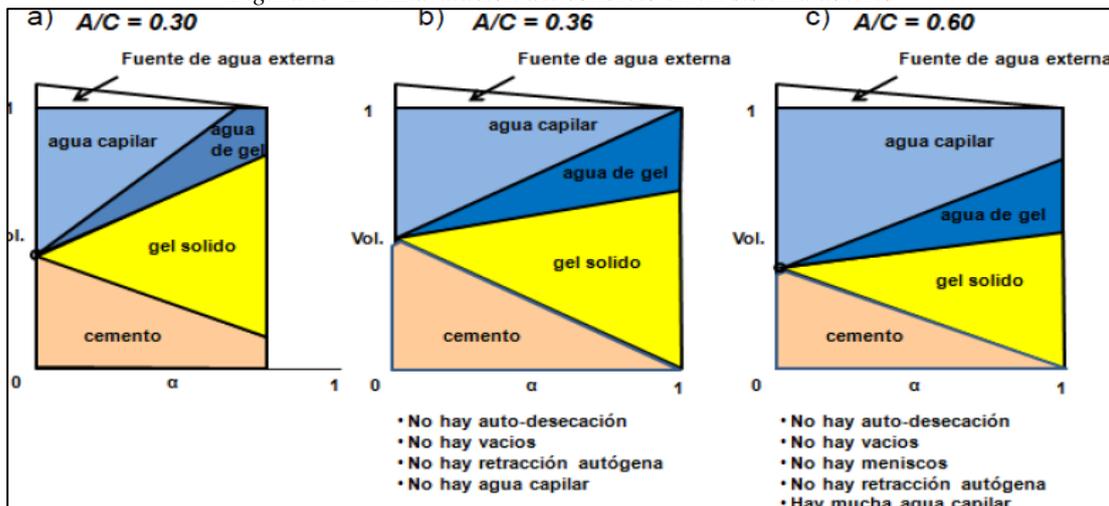
Figura N° 19: Hidratación del concreto en un sistema cerrado



Fuente: Trujillo R., 2011

Jensen y Hansen, además, demostraron que cuando una fuente de agua externa se encuentra disponible durante la hidratación del cemento portland, es posible obtener una pasta de cemento sin poros cuando la relación a/c es menor o igual que 0.36, a relaciones menores existiría auto desecación y no se llegaría a un grado de hidratación completo ( $\alpha < 1$ ) (Trujillo R., 2011).

Figura N° 20: Hidratación del concreto en un sistema abierto



Fuente: Trujillo R., 2011

Para los concretos de resistencia normal (menores de 35 MPa), el máximo grado de hidratación de la pasta es 1 o 100%, que se alcanza después de muchos años. En concretos de alta resistencia, ya sea en un sistema cerrado o en un sistema abierto, la hidratación puede no ser capaz de continuar debido a la carencia de agua, que es necesaria para la hidratación

completa del cemento. En tal caso, el grado de hidratación puede solamente proceder hasta  $\alpha \ll 1$  (por ejemplo, un grado de hidratación  $\alpha_{\text{máx.}} = 0.5$  para una relación  $a/c = 0.21$ ) (Trujillo R., 2011).

Para estimar el grado de hidratación del material hidratado, se usa normalmente el contenido de agua no evaporable. Para convertir la cantidad de agua no evaporable en un indicador del grado de hidratación, se hace necesario el conocimiento del valor de la relación agua no – evaporable/cemento ( $A_n/C$ ). El agua no evaporable es aquella que esta químicamente ligada con las partículas de cemento.

Durante la reacción de hidratación, el agua fluye por la red de capilares finos, dentro de los cuales los meniscos que se forman generan grandes esfuerzos de tensión en un medio en el que la resistencia a estos esfuerzos es prácticamente nula. Estos esfuerzos son los responsables de la retracción volumétrica aparente y cuando se detiene la reacción de hidratación, la retracción autógena comienza, debido a la falta de disponibilidad de agua en este sistema cerrado, ya que el agua en el exterior no alcanza el interior del concreto. El efecto desfavorable de la escasez de agua, combinado con el calor de hidratación y la auto-deseccación, afectan las propiedades mecánicas y la durabilidad; disminuyendo la resistencia a la compresión, aumentando la porosidad, resultando, en consecuencia, en un concreto más susceptible al agrietamiento. Esto es característico en concretos con relaciones  $A/Cem$  bajas (menores que 0.42), el agua de curado o neblina en los primeros días no es perceptible para mejorar las propiedades en los CAC, por ello la importancia de un curado satisfactorio.

### 2.3.12. Principios del curado interno

Dada la importancia del agua de curado y la dificultad de proveerla desde el exterior en hormigones de alto desempeño, la idea de proveer agua desde el interior del hormigón cobra una especial importancia (Weber y Reinhardt, 1997).

A partir del Modelo de Powers se concluye que a menor  $a/c$ , menor es la porosidad capilar. Por otro lado, del mismo modelo se puede observar que a  $a/c$  bajas puede no existir suficiente agua para hidratar todo el cemento. De lo anterior se tiene que al momento de mezclado se requiere de una  $a/c$  lo más baja posible, pero al cabo de un tiempo cuando el agua se ha acabado se requiere de agua adicional para continuar con la hidratación (Bentz y Snyder, 1999; Jensen y Hansen, 2001b).

Así, el principio fundamental del curado interno es el incorporar agua en la mezcla que no está disponible para la hidratación al comienzo (baja a/c), pero que es liberada más tarde cuando es requerida para continuar la hidratación.

Bentz y Snyder (1999) destacaron la importancia de una aplicación del curado interno de manera homogénea. No es suficiente el contar con el agua al interior del hormigón, sino que ésta debe encontrarse disponible para la hidratación. La mayoría de los granos de materiales cementicios deben estar cercanos a la fuente de almacenamiento de agua ya que la distancia de viaje del agua es muy variable.

Lura et al., (2003) midieron desplazamiento de agua desde la fuente de almacenamiento de hasta 4 mm en mezclas de a/c de 0.3. Sin embargo, ellos concluyeron que el transporte de agua dentro del hormigón está afectado por factores como: (a) permeabilidad de la mezcla, la cual se reduce a medida que la hidratación continúa; (b) a/c y; (c) uso de microsílica u otros materiales cementicios. La distancia de viaje del agua dentro del hormigón puede ser entonces reducida a los niveles reportados por Bentz y Snyder (1999) de tan sólo 0.1 a 0.2 mm.

Independiente del método utilizado para almacenar agua dentro del hormigón, el mecanismo de liberación de ella es básicamente el mismo. Weber y Reinhardt (1997) y Holm, (2003) explicaron que a medida que la hidratación del cemento procede, un sistema de porosidad capilar se forma en la pasta de cemento. El radio de estos poros y la humedad relativa al interior de ellos disminuyen a medida que más productos de hidratación se forman, llegando un cierto punto en que estos poros son capaces de absorber agua de la fuente de almacenamiento por acción capilar. A medida que más hidratación ocurre y los poros se hacen más finos dicha fuerza capilar aumenta siendo capaz de succionar más agua de la fuente. Este proceso se detiene cuando el agua de la fuente se ha agotado o cuando la totalidad del cemento de ha hidratado o si la permeabilidad de la pasta es muy baja y no permite el transporte de agua.

### 2.3.13. Métodos para realizar el curado Interno del Concreto

En la sección anterior se explica el mecanismo del curado interno. Ahora, se revisan diferentes métodos de incorporar el agua dentro del hormigón.

De acuerdo con Bentz y Snyder (1999), Philleo fue el primero en sugerir la idea de curado interno en 1991, mediante el uso de agregado liviano. Desde entonces, diversos autores han estudiado el uso de agregado liviano como método de incorporar agua en el hormigón. Estos autores han explorado el uso de agregado liviano natural y artificial, agregado liviano fino y grueso, y el reemplazo parcial o total de agregado normal por agregado liviano. En todos estos estudios se ha demostrado un alto grado de efectividad en el curado interno usando agregados livianos. Debido a su estructura porosa, los agregados livianos pueden presentar una absorción después de 24 horas de inmersión entre 5 a más 25 % (Holm y Bremner, 2000), ello permite la incorporación de altas cantidades de agua para curado interno. La cantidad de agua incorporada depende de la absorción y cantidad de agregados liviano, ésta puede alcanzar valores de 60 l/m<sup>3</sup> de hormigón (Holm, 2003) y de hasta 190 l/m<sup>3</sup> si se utiliza agregado fino y grueso de alta absorción (Jensen y Lura, 2003).

El agua busca espontáneamente niveles de energía más bajos; por ello en el hormigón el agua se mueve desde los poros más grandes a los más pequeños. Como consecuencia, los poros de mayor diámetro son los primeros en vaciarse continuando con poros cada vez más pequeños. Cuando un cierto límite en el diámetro de los poros es alcanzado, el agua se encuentra en niveles suficientemente bajos de energía y no es cedida. Según Jensen y Lura (2003), dicho límite es aproximadamente 0.1 m y por lo tanto poros de menos tamaño no contribuyen al curado interno.

Una de las posibles desventajas de reemplazar agregado normal por liviano es que la resistencia y módulo de elasticidad del hormigón disminuyen (ACI- 213, 2003; Aïtcin, 1997; Shah y Ahmad, 1994; Holm y Bremner, 2000). Los polímeros súper absorbentes surgen, así como una alternativa a los agregados livianos como agente incorporador de agua (Jensen y Hansen, 2002).

#### 2.3.14. Efectos del Curado Interno

Cuando no hay una fuente externa de agua durante la hidratación del cemento, se desarrolla una porosidad muy fina dentro de la pasta. Esta porosidad fina drena el agua desde los capilares y, como resultado, el concreto se seca sin perder peso. El agua simplemente se mueve de un capilar grueso hacia los capilares finos (Trujillo R, 2011)

Las mezclas con relación agua/cemento bajas experimentan auto desecación, especialmente en condiciones selladas de curado. La auto desecación ocurre como resultado de la retracción química. Durante la hidratación del cemento, los productos de hidratación ocupan un volumen que es aproximadamente 10% más pequeño que los reactivos. Esto resulta en la creación de vacíos llenos de vapor dentro del concreto. Estos vacíos llenados de vapor crecen con el incremento de la hidratación y penetran poco a poco en los poros. Los agregados ligeros pueden utilizarse como reserva de agua para remplazar la demanda de agua producto de la hidratación de la pasta del cemento, de tal modo que reduce los vacíos llenos de vapor y, por lo tanto, mitiga los efectos de la auto desecación en mezclas de concreto con relaciones agua/cemento bajas. La razón es que cuando el agua deja el material cerámico saturado, la pasta continúa hidratándose, resultando en una micro estructura más densa en la pasta. Esto es similar a una fuente de agua externa. Además, en términos de durabilidad del concreto, ha sido probado que el agua de curado interno, llamado también “curado autógeno” es el método más seguro y eficiente para reducir la retracción autógena en comparación con el uso de aditivos expansivos en el concreto. La idea es que la auto desecación pueda ser contrarrestada mediante el remplazo parcial de material cerámico saturado en lugar del agregado grueso, como ha sido demostrado por varios autores (Durán Herrera, y otros, 2007).

##### a. Efectos en Resistencia a Compresión

Weber y Reinhardt (1997) investigaron el curado interno en una mezcla de hormigón de alta resistencia. La mezcla consideró una a/c de 0.3 y un 10 % de microsílica. Además, una fracción del agregado fino fue reemplazada por agregado liviano saturado de manera de aplicar un curado interno. Se comparó la resistencia de probetas sometidas a tres regímenes de curado: (a) selladas inmediatamente después de desmoldar, (b) mantenidas bajo condiciones de secado después de desmoldar, y (c) curadas inmersas en agua por 6 días después de desmoldar. Al cabo de un año las diferencias en resistencia a compresión fueron

del orden del 3 % lo que demuestra que el efecto del curado externo no es significativo si se cuenta con un adecuado curado interno.

López et al., (2006), compararon la resistencia entre dos hormigones livianos de alta resistencia, uno con curado interno y el otro sin. Las mezclas consideraron una W/CM de 0.23, cemento de alta resistencia temprana, microsíllica y ceniza volante. Se consideró además dos tipos de agregado, arena silíceo como agregado fino y pizarra expandida como agregado liviano grueso. Con el objetivo de medir el efecto del curado interno, una de las mezclas utilizó el agregado liviano en condición saturada para proveer curado interno mientras que la otra utilizó el agregado en condición seca al aire. La mezcla que recibió el curado interno presentó una resistencia 1 y 12 % mayor que la mezcla sin curado interno para las edades de uno y 365 días, respectivamente. Esto quiere decir que a la edad de un día cuando las probetas fueron recién desmoldadas, la diferencia entre las dos mezclas fue despreciable, pero al cabo de un año las probetas que recibieron curado interno alcanzaron una resistencia a compresión considerablemente mayor.

Centrándonos solo en el uso del material cerámico para el curado interno, varias investigaciones han demostrado que la calidad, resistencia y especificaciones del material cerámico tiene influencia significativa en las características y propiedades del concreto con dicho material. De igual manera, la cantidad de material cerámico usado en los diseños, así como sus propiedades, inciden en el comportamiento del concreto con material cerámico.

#### b. Efectos de Porosidad

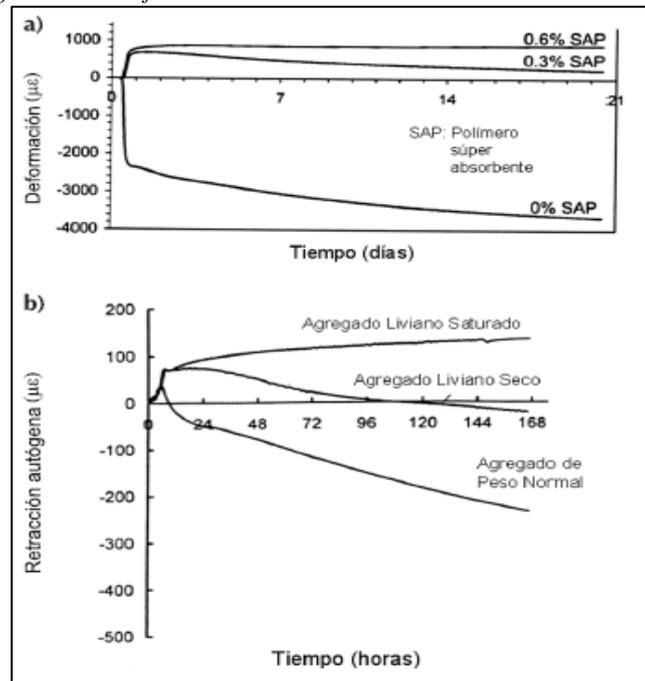
Weber y Reinhardt (1997) midieron el cambio de la porosidad en hormigones de alta resistencia sometidos a curado interno. Ellos concluyeron que, a pesar de no contar con ningún tipo de curado externo, la porosidad total se redujo entre 180 y 365 días, demostrando un aumento en el grado de hidratación. Ellos además observaron que los poros de mayor diámetro disminuyeron y los de menor diámetro aumentaron, lo que implica una disminución en el tamaño promedio de los poros y la consiguiente disminución de la permeabilidad del hormigón.

#### c. Efectos en Retracción Autógena

Una de las principales ventajas del uso de curado interno en hormigones de alta resistencia es la reducción o eliminación del secado y retracción autógenas. Todos concluyeron que las mezclas con agregado liviano saturado o polímeros súper absorbentes presentaron

considerablemente menos retracción autógena que las contrapartes sin curado interno. En algunos casos la retracción autógena fue completamente eliminada (Jensen y Hansen, 2002; Bentur et al., 2001) como se muestra en la Figura N° 21. La disminución o eliminación de la retracción autógena se debe a que la fuente del curado interno no permite que la humedad relativa decaiga en el sistema de poros.

Figura N° 21: Efecto del curado Interno en la Retracción Autógena



Fuente: Jensen y Hansen, 2002 y Bentur 2001

Cabe destacar que las mezclas sometidas a curado interno mostradas en la Figura N° 21, no sólo no demostraron retracción autógena, sino que experimentaron expansión. Esto puede actuar como una “reserva” de deformaciones cuando las mezclas están sometidas a retracción hidráulica y/o creep. Dichas deformaciones tendrán primero que contrarrestar la expansión producida por curado interno antes de causar acortamiento aparente en el hormigón.

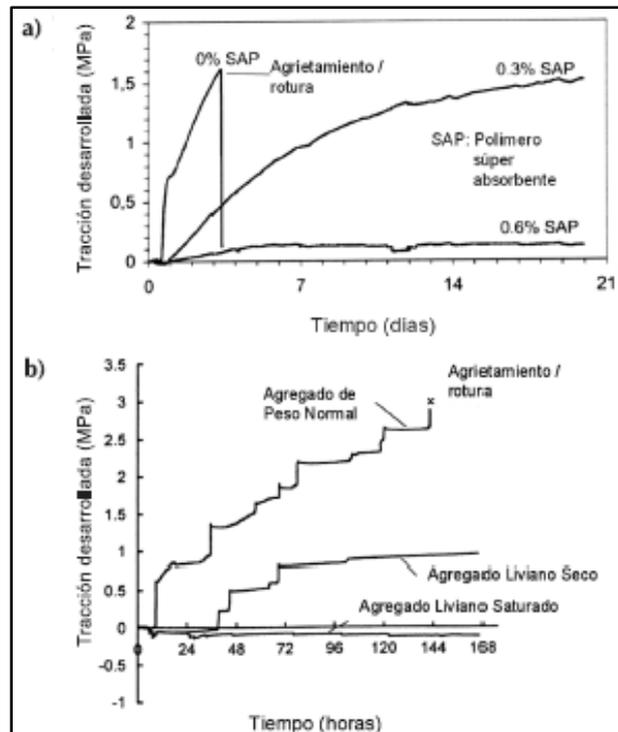
#### d. Efecto en Agrietamiento

Algunos autores han investigado el efecto del curado interno en la tendencia al agrietamiento. Dicha susceptibilidad se mide en probetas bajo retracción restringida. Cuando la probeta intenta contraerse, un sistema externo impide dicha deformación. Como resultado la probeta desarrolla tensiones de tracción que una vez que superan la resistencia de la probeta, se produce rotura en forma de agrietamiento.

Jensen y Hansen (2002) realizaron pruebas de retracción restringida en morteros con y sin curado interno. Los resultados de Jensen y Hansen son presentados en la Figura N° 22 (a). La probeta de mortero sin curado interno se agrietó después de sólo 3.5 días bajo retracción autógena con una tensión equivalente a 1.5 MPa en tracción. La probeta con polímero súper absorbente (0.6 % del peso de cemento) no sólo no se agrietó en 20 días de monitoreo, sino que además alcanzó una tracción de solamente 0.1 MPa.

Bentur, (2001) compararon la tendencia a agrietamiento de diferentes mezclas de hormigón de alta resistencia de a/c de 0.33 con microfílica. Una de las mezclas consideró sólo agregado de peso normal (fracciones gruesa y fina) y otras dos el total reemplazo del agregado grueso por arcilla expandida. La primera de las mezclas con agregado liviano utilizó el agregado en condición saturada y la otra en condición seca al aire. La Figura N° 22 (b) muestra los resultados de Bentur, (2001). La mezcla con agregado normal y por lo tanto sin curado interno falló bajo una tracción de aproximadamente 3 MPa después de seis días. Ninguna de las mezclas con agregado liviano se agrietó en el período de monitoreo de siete días. Las mezclas con agregado liviano en estado saturado y seco desarrollaron tracción de 0.7 MPa y compresión de 0.15 MPa, respectivamente, lo que está lejos del valor de falla medido en la probeta con agregado normal.

Figura N° 22: Efecto de curado interno en el Agrietamiento



Fuente: Jensen y Hansen, 2002 y Bentur 2001

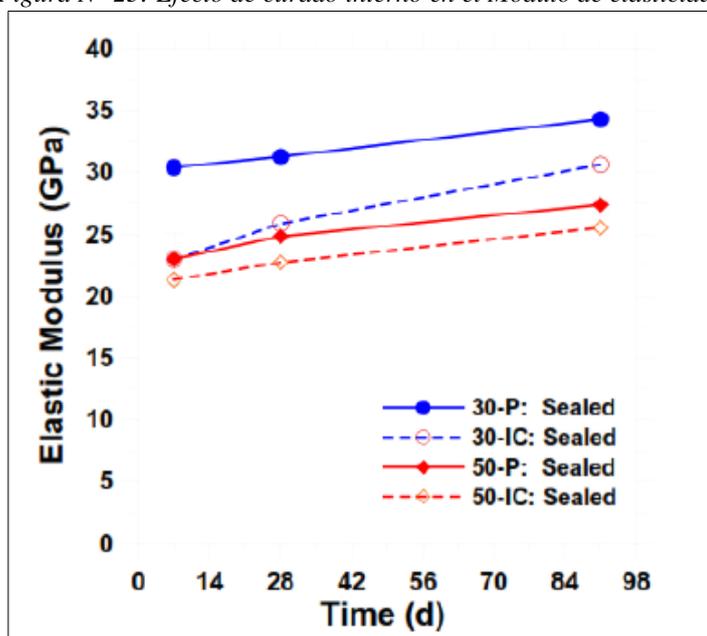
e. Efectos en Modulo de Elasticidad

Los módulos de elasticidad de los concretos con material cerámico siempre han arrojado valores inferiores a las muestras patrón con las que se ha comparado en los estudios realizados anteriormente (Suzuki, 2009 – Zhutovsky, 2011), ya que los materiales cerámicos son elementos que tienen grandes deformaciones ante la aplicación de las cargas.

Para Suzuki, el módulo de elasticidad se reduce por la introducción de agregados porosos de peso ligero. La mayor reducción a la edad de 28 días fue del 6,6% para una relación a/c de 0,21. La reducción del módulo de elasticidad para relaciones a/c de 0,25 y 0,33 fue 18,3% y 19,2%, respectivamente.

Una reducción en el módulo elástico también puede estar relacionada con la reducción en el potencial de agrietamiento (Weiss, Yang, y Shah, 1999). La reducción del módulo elástico tiene una influencia beneficiosa en la reducción de la tensión residual debido a la restricción como una función del tiempo. Se han llevado a cabo una serie de simulaciones para comprender mejor la influencia de la reducción de la rigidez en el agrietamiento a edad temprana. Los resultados de ese estudio se ilustran en la Figura N° 23, en la cual se aprecia la reducción del módulo elástico en aproximadamente un 10% a 20%, debido a la inclusión de agregados de peso ligero.

Figura N° 23: Efecto de curado interno en el Modulo de elasticidad



Fuente: Weiss, Yang, y Shah, 1999.

### 2.3.15. Materiales Cerámicos

Se entiende por material cerámico el producto de diversas materias primas, especialmente arcillas, que se fabrican en forma de polvo o pasta (para poder darles forma de una manera sencilla) y que al someterlo a cocción sufre procesos físico-químicos por los que adquiere consistencia pétreo. Dicho de otro modo, más sencillo, son materiales sólidos inorgánicos no metálicos producidos mediante tratamiento térmico. Todos ellos se obtienen al hornear materiales naturales, como la arcilla o el caolín, junto con una serie de aditivos como colorantes, desengrasantes, entre otros, todo ello mezclado y cocido en un horno sucesivas veces.

Algunas de las propiedades de los materiales cerámicos son las siguientes:

- Comparados con los metales y plásticos, son duros, no combustibles y no oxidables.
- Su gran dureza los hace un material ampliamente utilizado como abrasivo y como puntas cortantes de herramientas.
- Gran resistencia a altas temperaturas, con gran poder de aislamiento térmico y, también, eléctrico.
- Gran resistencia a la corrosión y a los efectos de la erosión que causan los agentes atmosféricos.
- Alta resistencia a casi todos los agentes químicos.
- Una característica fundamental es que pueden fabricarse en formas con dimensiones determinadas.
- Los materiales cerámicos son generalmente frágiles o vidriosos. Casi siempre se fracturan ante esfuerzos de tensión y presentan poca elasticidad. Dependiendo de la naturaleza y tratamiento de las materias primas y del proceso de cocción, se distinguen dos grandes grupos de materiales cerámicos: las cerámicas gruesas y las cerámicas finas:

**Materiales cerámicos porosos o gruesos:** No han sufrido vitrificación, es decir, no se llega a fundir el cuarzo con la arena debido a que la temperatura del horno es baja. Su fractura (al romperse) es terrosa, siendo totalmente permeables a los gases, líquidos y grasas.

**Materiales cerámicos impermeables o finos:** Los que se someten a temperaturas suficientemente altas como para vitrificar completamente la arena de cuarzo. Así, se obtienen productos impermeables y más duros.

Las partículas de estos materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% de su peso de agua. Esta característica hace que la arcilla en estado seco presente un aspecto terroso y quebradizo, pero al estar hidratada adquiere la plasticidad necesaria para ser remodelada.

En la etapa de endurecimiento (mediante cocción), el material cerámico adquiere características de notable solidez, con una disminución de su masa (de alrededor de 5 a 15%) en proporción a su masa inicial. La pérdida de agua que envuelve a las partículas provoca un acercamiento entre estas y por consiguiente una retracción volumétrica, lo descrito anteriormente hace que se presenten valores de absorción superiores al 10%, con tendencia al aumento para piezas de arcilla de menor calidad o especificación estructural. Fuertes, (2012)

#### 2.3.16. El Concreto con Material Cerámico

El concreto es el material de construcción más usado en el mundo por sus características que lo hacen apropiado y versátil para cualquier tipo de construcción. Sin embargo, los costos ambientales que implican su producción, incluidas la explotación de canteras, contaminación por transporte y entrega de concreto e insumos para fabricación de este material, emisión de CO<sub>2</sub> en la producción de cemento, entre otros, han aumentado la conciencia de emplear técnicas de fabricación cada vez más amigables con el medio ambiente y así contribuir al desarrollo sostenible, Laverde, (2013).

Una de las alternativas usadas hoy en día para minimizar los impactos ambientales negativos generados por la consecución de los materiales es el uso de material cerámico en las mezclas de concreto, teniendo en cuenta que el agregado grueso ocupa un alto porcentaje del volumen en el concreto.

El material cerámico usado para la elaboración de mezclas de concreto se obtiene de la trituración de ladrillos de arcilla usados en la construcción de viviendas y obras generales en mampostería en todas las ciudades del país. De ahí que este material cerámico debe ser estudiado al detalle para la elaboración de cada mezcla puesto que puede tener propiedades

físicas, químicas y mecánicas particulares, dependiendo de la ladrillera donde haya sido fabricado.

El material cerámico debe ser triturado con especificaciones similares a las que se tienen en cuenta para los agregados naturales, para así garantizar su calidad. En su proceso de acopio se debe garantizar que no haya contaminación con elementos como plástico y yeso, los cuales afectarían considerablemente las mezclas de concreto.

### 2.3. Definición de términos básicos

**Absorción de agua:** se define así al proceso por el cual el agua llena los poros permeables en un sólido poroso, la cantidad de agua absorbida se expresa como el porcentaje de la masa de la probeta de ensayo.

**Aditivo:** material, que no sea agua, agregado y cemento hidráulico, usado como ingrediente del concreto, del mortero, del groudé o del revoque y adicionado a la amasada inmediatamente antes o durante el mezclado.

**Agregado fino:** Se define como a aquel agregado proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz de 3/8" – 9.5 mm y queda retenido en el tamiz N° 200 – 75 mm. El más usual de los agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas (Rivva, 2004 pág. 17).

**Agregado grueso:** Se define como a aquel agregado que queda retenido en el Tamiz N°4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos. Se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural. La piedra chancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas y gravas (Rivva, 2004 pág. 17).

**Agregado Húmedo o mojado:** cuando el agregado está saturado superficialmente seco y adicionalmente presenta humedad superficial, la cual puede contribuir a incrementar el agua de mezclado y obliga a una corrección en la mezcla por humedad del agregado.

**Aire atrapado (aire ocluido)** – vacío de aire no intencional, con forma irregular, en el concreto fresco o endurecido, con tamaño igual o superior a 1 mm. (Kosmatka, 2004 pág. 84).

**Arcilla calcinada** – arcilla calentada en altas temperaturas para cambiar sus propiedades físicas, para que se la utilice como puzolana o como material cementante en el concreto. (Kosmatka, 2004 pág. 362).

**Consistencia en estado del concreto:** La consistencia del concreto es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuando más húmeda es la mezcla, mayor será a facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación (Rivva, 2010 p. 28).

**Consistencia en estado no endurecido:** La consistencia del concreto es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuando más húmeda es la mezcla, mayor será a facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.

**Contenido de aire en el concreto:** Las burbujas de aire pueden estar presentes en la pasta como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra, el cual depende del aporte de los materiales, las condiciones de operación, la granulometría, y el tamaño máximo del agregado, este aire se le conoce como aire atrapado o aire natural; o pueden encontrarse en la mezcla debido a que han sido intencionalmente incorporados a ella, en cuyo caso se les conoce como aire incorporado (Rivva, 2010 p. 57).

**Compactación** – proceso de inducción de una disposición más cerca de las partículas sólidas en el concreto, mortero o groute frescos, a través de la reducción de los vacíos, frecuentemente logrado con la vibración, el varillado, los golpes o la combinación de estos métodos. También llamada de consolidación. (Rivva, 2010 p. 205).

**Curado interno del concreto:** Este tipo de curado consiste en almacenar agua al interior del concreto que no está disponible durante el mezclado o en las primeras etapas de hidratación, pero es liberada más tarde para el curado.

**Curado sumergido en agua del concreto:** Este curado consiste en seguir los procedimientos indicados en la Norma ASTM C 31. El cuál es el procedimiento para curar especímenes cilíndricos de concreto sumergiéndolos en agua de curado. La Norma indica que Transcurridas  $24 \pm 8$  horas después de elaborar los especímenes, éstos serían sacados

de los moldes y se procede a realizar el curado por sumersión en agua que tenga una temperatura cercana a 21°C, para lo cual se puede saturar el agua con cal viva (ASTM C 31M–08a, 2008).

**Durabilidad** – habilidad del concreto, mortero, groute o revoque de cemento portland de resistir a la acción de las intemperies y otras condiciones de servicio, tales como ataque químico, congelación-deshielo y abrasión. (Kosmatka, 2004 pág. 343).

**El Agua de Curado** es la más importante durante la etapa del fraguado y el primer endurecimiento. Tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento y evitar la retracción prematura. El Agua de Curado tiene una actuación más duradera que el Agua de Amasado, y por lo tanto se corre más riesgos al aportar sustancias perjudiciales con el Agua de Curado que con el Agua de Mezcla (Rivva, 2004 pág. 254).

**Escoria de alto horno:** subproducto no metálico de la producción de acero que consiste básicamente en silicatos y aluminosilicatos del calcio que se desarrollan en la condición fundida simultáneamente con el hierro en el alto horno. (Rivva, 2004 pág. 353).

**Fluencia:** deformación del concreto o de cualquier material, dependiente del tiempo y provocada por el cargamento sostenido. (Rivva, 2004 pág. 232).

**Granulometría (gradación):** distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados. (Rivva, 2004 pág. 196).

**Groute:** mezcla de material cementante con o sin agregados o aditivos, a la cual se adiciona una cantidad suficiente de agua para producir una consistencia fluida o de bombeo sin segregación de los materiales constituyentes. (Rivva, 2004 pág. 12).

**Hidratación:** es la reacción entre el cemento hidráulico y el agua, a través de la cual se forman nuevos compuestos que confieren resistencia al concreto, mortero, groute y revoque. (Rivva, 2004 pág. 12).

**Lechada:** mezcla fina de una sustancia insoluble, tal como cemento portland, escoria o arcilla, con un líquido, tal como el agua. (Rivva, 2004 pág. 8).

**Módulo de elasticidad** – relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. También conocido como módulo de Young y módulo Young de elasticidad, designado por el símbolo E. (Rivva, 2004 pág. 245).

**Módulo de finura (MF)** – factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100. (Rivva, 2004 pág. 196).

**Pasta de cemento** – constituyente del concreto, mortero, groute y revoque que consiste en cemento y agua. (Rivva, 2004 pág. 78).

**Peso unitario del concreto:** Se define como densidad del concreto a la relación del volumen de sólidos al volumen total de una unidad cúbica. Puede también entenderse como el porcentaje de un determinado volumen del concreto que es material sólido (Rivva, 2004 p. 213).

**pH:** símbolo químico para el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno en átomos gramo por litro, usado para expresar la acidez y la alcalinidad (base). (Rivva, 2004 p. 217).

**Puzolana** – materiales silíceos o silíceos y aluminosos, tales como ceniza volante o humo de sílice, que, por si mismos, poseen poco o ningún valor cementante, pero que cuando están finamente molidos y en la presencia de agua, reaccionan con el hidróxido de calcio a las temperaturas normales, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes. (Kosmatka, 2004 pág. 203).

**Reactividad álcali-agregado:** producción de gel expansivo por la reacción entre los agregados que contienen ciertas formas de sílice o carbonatos y el hidróxido de calcio en el concreto. (Rivva, 2004 p. 226).

**Relación agua/material cementante:** relación de la masa de agua por la masa de materiales cementantes en el concreto, incluyéndose el cemento portland, el cemento mezclado, el cemento hidráulico, la escoria, la ceniza volante, el humo de sílice, la arcilla calcinada, la metacaolinita, el esquisto calcinado y la ceniza de cáscara de arroz. (Kosmatka, 2004 pág. 13).

**Sangrado (exudación):** La exudación es definida como la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los sólidos. El proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla. (Rivva, 2010 pág. 211).

**Segregación:** La segregación es definida como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero, debido a los diferentes tamaños y gravedades específicas de las partículas, por lo que se generan al interior del mismo fuerzas las cuales tienden a separar los materiales componentes cuando la mezcla aún no ha endurecido. (Rivva, 2010 pág. 210).

**Trabajabilidad:** Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto en estado no endurecido, la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado, y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que presente segregación (Rivva, 2010 p. 26).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODO**

#### **3.1. Periodo de estudio**

La investigación se realizó en el laboratorio de Ensayo de Materiales de nuestra Universidad Nacional de Cajamarca, abarcando el periodo desde mediados de abril de 2017 hasta el mes de julio del mismo año totalizando 03 meses. Cabe mencionar que este período de tiempo fue destinado a la parte experimental de la presente tesis, abarco las etapas desde el transporte del material a usar, el estudio de las propiedades de los agregados, la realización de diseños de mezcla, elaboración de especímenes, así como también el curado y ensayo tanto de resistencia a flexión y compresión. Finalmente, el procesamiento de resultados, y la elaboración del informe.

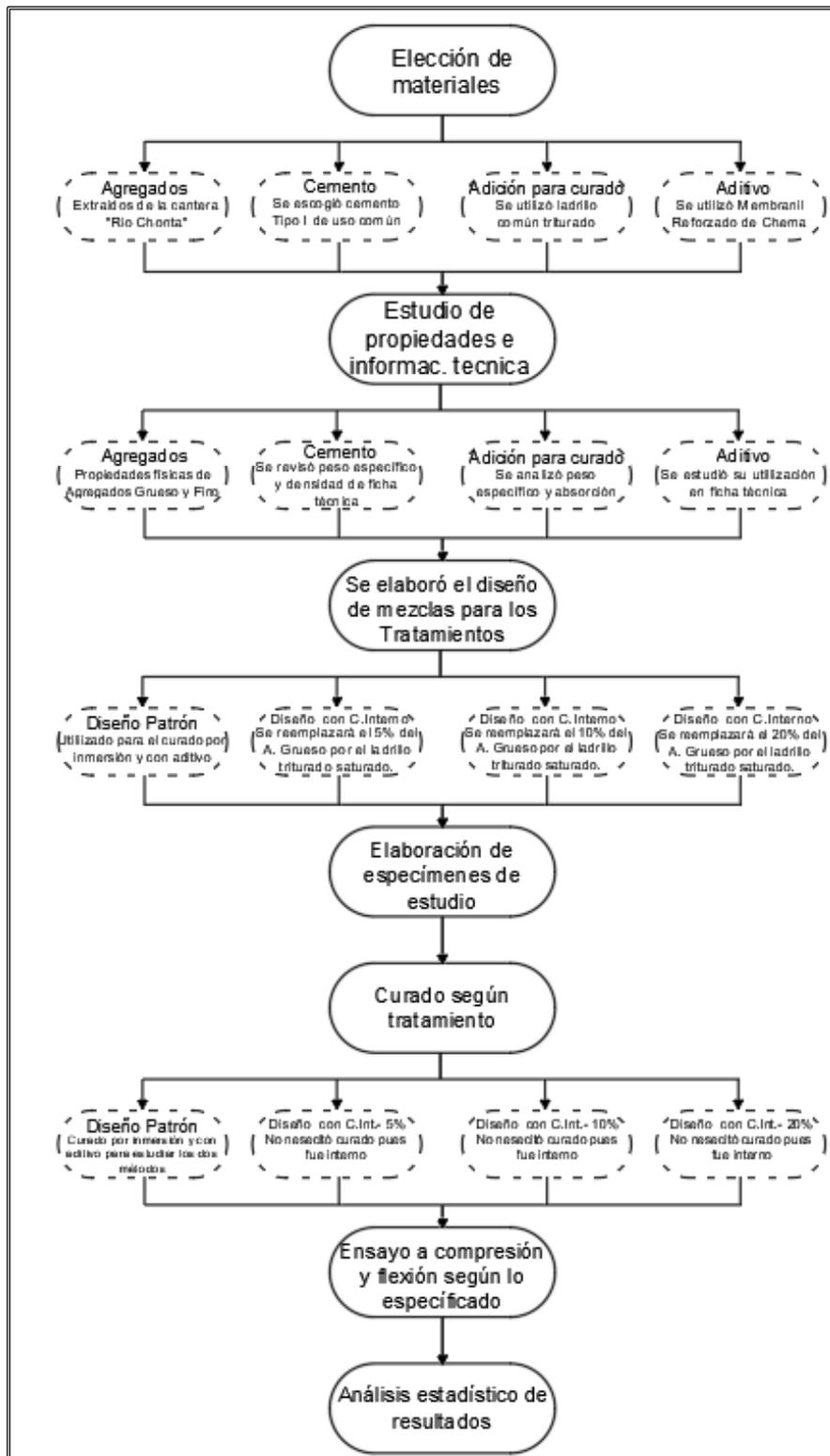
#### **3.2. Ubicación Geográfica**

La presente tesis tubo como lugar de investigación la ciudad de Cajamarca, ciudad más importante de la Sierra norte del Perú, capital de la provincia y del Departamento de Cajamarca. Está situada a 2750 msnm en la margen este de la cadena oriental de la cordillera de los andes, en el valle interandino que forman los ríos Mashcon y Chonta. Sus coordenadas geográficas 7°09'12'' de latitud sur y 78°30'57'' de longitud Oeste. Característica importante y con repercusión en esta tesis es el clima, el cual por su ubicación se puede denominar como templado, seco; soleado durante el día, pero frío en la noche, este factor es de suma importancia ya que las probetas a realizarse fueron curadas a la intemperie, expuestas a las condiciones climáticas de la ciudad, cuyos datos de temperatura fueron obtenidos de la estación meteorológica AUGUSTO WEBERBAUER ubicada en la Ciudad Universitaria de la UNC, donde se realizaron los especímenes de concreto y la aplicación de los curados de los tratamientos .

### 3.3. Diseño de la investigación

Las diferentes etapas de la investigación se pueden sintetizar mediante la siguiente gráfica, que nos muestra la secuencia de procesos realizados, esta será detallada posteriormente.

Figura N° 24: Flujoograma de los procesos realizados



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3.1. Tipo de Investigación

La presente tesis se puede definir como una investigación del tipo experimental, ya que se maneja variables en condiciones controladas replicando un fenómeno y observando el grado en que las variables manipuladas producen ese efecto, en este caso, se presenta un nuevo curado interno mediante la incorporación de material cerámico saturado como reemplazo de ciertos porcentajes de agregado grueso, este tipo de curado se comparó en laboratorio con otros dos tipos de curados ya conocidos, tomando como tratamiento patrón al curado sumergido en agua. Así, el “tipo de curado” fue tomado como la variable independiente que produjo cambios en las variables dependientes que fueron “la humedad, resistencia a compresión del concreto y resistencia a flexión del concreto”; las que se evaluaron cuantitativamente

### 3.3.2 Etapas de la investigación

#### a. Elección de los materiales a emplear.

Se eligió la cantera del “Río Chonta”, por ser una cantera de agregado de buena calidad y que cumple con los requerimientos de las normas nacionales referentes a elaboración de concreto, está ubicada con rumbo S86°E, con respecto a la ciudad de Cajamarca, aproximadamente 500 m. del distrito de Baños de Inca, en la ciudad de Cajamarca.

En cuanto al cemento, se utilizó tipo I, que según sus especificaciones se utiliza para elaboración de concreto comunes y de la resistencia especificada para esta investigación.

En cuanto a la adición destinada para brindar el curado interno al concreto, el material cerámico mencionado lo obtendremos de la trituración de ladrillo de arcilla King Kong tipo I el cual es usado comúnmente en nuestro medio local en la construcción de viviendas y obras generales en mampostería, el cual podría ser reciclado. Esta adición será triturada manualmente para obtener un tamaño máximo de 3/4”, igual que el agregado grueso a emplear.

Y finalmente, para establecer una comparación entre los tipos de curado, se realizó el curado con aditivo, para esta práctica se empleó aditivo Membranil Reforzado de Chema, es un aditivo empleado para climas templados y soleados.

b. Estudio de las propiedades de los agregados

Luego de transportar el Agregado a utilizar, se estudió sus propiedades físicas, donde fueron analizadas mediante ensayos todas las diferentes propiedades de estos tales como: peso específico, peso unitario, granulometría, grado de absorción, resistencia a la abrasión, contenido de humedad., ensayadas según la normativa, obteniendo resultados satisfactorios y ajustándose a los valores referenciales, como es en el caso de la granulometría, ajustándose a los husos que dictan las normas. El estudio de estas propiedades tanto del agregado fino y agregado grueso nos sirve para poder realizar el diseño de mezclas y el ajuste de mezclas por contenido de humedad.

Asimismo, se realizó el estudio de las propiedades físicas trascendentales del ladrillo a emplear, previa trituración, se estudió el peso específico y la absorción de este elemento, dichas propiedades evaluadas a 3, 5 y 7 días de saturación, determinando que la saturación máxima del ladrillo se obtiene sumergiéndolo en agua por un tiempo de 5 días, pasado este tiempo ya no es capaz de absorber más agua; y así quedaría apto para utilizarse para el tratamiento de curado interno, que fue la propuesta del estudio.

c. Diseño de mezclas de concreto de los tratamientos.

Se planteó el diseño de mezcla a utilizar, para el cual utilizamos el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados, teniendo este diseño hicimos la tanda prueba, la cual cumplió con los requisitos de trabajabilidad, apariencia y resistencia planteada pero fue necesario hacer el ajuste de mezclas por contenido de humedad, este diseño fue empleado para los dos tipos de curado planteados; que fue con el mismo diseño , en el caso de curado interno se modificó la cantidad de agregado grueso, según nuestra propuesta, reemplazamos el 5%, 10% y 20% del volumen absoluto de este componente; por el ladrillo triturado y saturado; asimismo también realizamos el ajuste de mezcla de esta manera obtuvimos los diseño para los tres porcentajes a evaluar: curado sumergido en agua, curado con Membranil Reforzado, y con el tratamiento de curado interno.

d. Elaboración de las unidades de estudio

Especímenes cilíndricos de concreto.

Teniendo las dosificaciones establecidas y ajustadas, con cada tipo de curado se elaboraron 30 especímenes cilíndricos de concreto (unidades de estudio) para cada tratamiento, de los cuales cada 10 especímenes fueron ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7, 14

y 28 días; obteniendo 30 probetas curadas empleando el aditivo Membranil Reforzado, 30 probetas curadas por inmersión y 90 empleando el curado interno (30 para cada porcentaje planteado: 5, 10 y 20%). Esta cantidad la determinamos basándonos en la Norma ACI 318 que establece que para una muestra de concreto se debe producir al menos 5 ensayos de resistencia. (Spanish Edition ACI 318S-08, 2008)

Especímenes prismáticos de concreto.

Observado el comportamiento de nuestra propuesta y concluyendo cual fue el porcentaje que presento mejores resultados, elaboramos especímenes prismáticos, los cuales fueron ensayados a flexión, cabe recalcar que para este caso solo comparamos con el concreto curado por inmersión. Se elaboraron 10 especímenes prismáticos de concreto (unidades de estudio) para cada tratamiento, de los cuales todos fueron ensayados a resistencia a flexión a la edad de 28 días; obteniendo 10 probetas curadas por inmersión las cuales son el concreto patrón y 20 empleando el curado interno (10 para cada porcentaje planteado: 10% y 20%, que fueron los porcentajes con resultados más favorables de la etapa de ensayo a compresión).

e. Curado de especímenes de concreto según cada tratamiento

e.1. Tratamiento de especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto curado sumergidos en agua.

Se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la Norma ASTM C 31 El cuál es el procedimiento para curar especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto sumergiéndolos en agua de curado. La Norma indica que Transcurridas  $24 \pm 8$  horas después de elaborar los especímenes, estos deben ser desmoldados y se procede a realizar el curado por sumersión en agua que tenga una temperatura cercana a  $20^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ , para lo cual se saturó el agua con cal viva en un porcentaje de 2% del volumen de agua (ASTM C 31M-08a, 2008)

e.2. Tratamiento de especímenes cilíndricos de concreto curado con rociado de líquido formador de membrana, usando Membranil Reforzado de Chema. Este curado consistió en que después de haber desmoldado los especímenes de concreto, rociar una sola aplicación de Membranil Reforzado de Chema tal como se recomienda en la ficha técnica del producto (Chema, 2013)

e.3. Tratamiento de especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto con curado interno del concreto. Consistió en elaborar los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto utilizando adiciones de ladrillo, saturado al máximo por 5 días. Este procedimiento no tuvo otra forma de curado externa, solo fueron desmoldadas y almacenadas en un ambiente abierto sometidas a la intemperie, cabe mencionar que según los estudios citados en la presente tesis se recomienda siempre combinar el curado interno con un tratamiento externo; en este caso solamente se realizó el curado interno.

### 3.3.3 Sustento técnico de los ensayos.

En cuanto al sustento y normativa en la que nos basamos, estas se realizaron con equipos y materiales debidamente calibrados, los cuales cuentan con sus respectivos certificados de calibración y estos ensayos se realizaron siguiendo las normas técnicas NTP, ASTM o recomendaciones ACI respectivas actualizadas al presente año 2017. Tal es así que los ensayos fueron realizados por técnicos de concreto capacitados y supervisados por el tesista. Lo cual permitió obtener datos confiables del estudio.

### 3.3.4 Criterios de selección de los tratamientos y variables en estudio

#### a. Criterios de selección de los tipos de curado

Se eligieron 3 tratamientos. Dos, que son comunes y un tercero que es la nueva alternativa o propuesta de curado interno de concreto; tal como se indica a continuación:

a.1. Curado de concreto mediante sumersión en agua, que constituye el tratamiento patrón; siendo elegido se eligió por ser el tipo de curado estándar que es utilizado para el propósito de aceptación de una resistencia especificada y verificación de las proporciones de la mezcla y control de calidad, pero no para evaluar la suficiencia del curado y protección del concreto en la estructura, tal como se especifica en la NTP 339.033-2009. Es un tipo de curado difícil de aplicar en obra, salvo en los casos de losas y pavimentos.

a.2. Curado de concreto con aditivo formador de membrana (utilizando el producto Membranil Reforzada de Chema): se eligió por ser también uno de los más utilizados en el país, principalmente es utilizado en concretos expuestos a intemperie, afectados por rayos solares y vientos, especialmente en losas de concreto.

a.3. Curado interno del concreto mediante reemplazo de agregado grueso por porcentajes de ladrillo saturado: Se eligió como una alternativa de curado, porque se ha demostrado los concretos elaborados con este material saturado, han presentado un mayor desarrollo de resistencia a compresión luego de los 28 días de edad a diferencia de patrones de concreto sin este tipo de curado. Así, se consideró tomar ladrillo triturado al mismo tamaño máximo nominal que el agregado grueso para luego saturarlo al máximo, elaborar concreto y proponerlo como un nuevo tipo de curado, ya que a diferencia de los otros curados internos, no implicaría mayor costo que el proceso de saturación del agregado grueso ( a diferencia del costo de los curados internos mediante la adición de partículas plásticas súper absorbentes y no presentaría problemas de restricción de resistencias máximas del concreto.

b. Criterios de selección de los especímenes cilíndricos como unidad de estudio:

Se eligió como unidades de estudio los especímenes cilíndricos de concreto para ensayos de aceptación para la resistencia especificada a la compresión de medidas de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura. Por otro lado, para evaluar el comportamiento de los especímenes prismáticos a carga por flexión se utilizaron moldes de dimensiones de 150 mm por 150 mm y de largo 500 mm (Según recomendaciones de la NTP 339.033-2009)

c. Criterios de selección del ensayo de humedad en los especímenes cilíndricos de concreto para estudio de la retención de humedad y desarrollo de la desecación del concreto en los tratamientos estudiados.

Se eligió poder realizar ensayos de humedad en los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días para estudiar la retención de humedad en cada tratamiento, ya que, se tomó como referencia el estudio de Hanson, 1968 citado por Kosmatka y colaboradores, donde realiza un estudio de la humedad relativa del concreto en especímenes cilíndricos, tomando en cuenta la profundidad de la muestra en los especímenes, por lo cual también se consideró en este estudio que las muestras de los especímenes cilíndricos para humedad sean a la misma profundidad de 2 a 3 pulgadas (Kosmatka, y otros, 2004).

d. Criterios de selección de los requisitos de diseño de mezclas

Para el diseño de mezclas y ajuste de proporciones de los especímenes cilíndricos de concreto, se consideró un  $f'c$  de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, ya que este  $f'c$  es más comúnmente utilizado en especificaciones de obra para elementos estructurales, así como también para losas de

pavimentos. Se tomó una consistencia plástica para el diseño, ya que es la consistencia utilizada en la colocación de concretos en estructuras armadas.

e. Criterios de selección de los materiales de estudio

e.1. Elección de los agregados: se eligió realizar el estudio con agregados provenientes de chancado de material de río, de la cantera de rio Chonta ubicada en la provincia de Cajamarca. Ya que, los agregados de esta cantera cumplen con las con las recomendaciones granulométricas de normas nacionales (NTP 400.037) para que los diseños de mezclas sean óptimos, Siendo este agregado representativo, ya que cumple con las recomendaciones nacionales e internacionales para la elaboración de concretos, además, representativos por ser agregados de río producidos por chancado general, lo que es el tipo de agregado más utilizado para la elaboración de concreto en la ciudad de Cajamarca. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037, 2002)

e.2. El cemento que se empleó para elaborar los tratamientos de concreto de estudio fue Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A. destinado para uso general en la construcción.

e.3. El aditivo a emplear fue escogido por su amplio uso en la mayoría de obras en Cajamarca, el cual se trata de Membranil Reforzado de Chema.

### **3.4. Población, muestra y tratamientos de estudio**

#### **3.4.1. Población:**

La población se define como el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen alguna característica común observable en un lugar y momento determinado, basándonos es esa definición y teniendo en cuenta que la presente investigación es un estudio experimental, podemos decir que nuestra propuesta de curado interno no posee una población , ya que es una práctica nueva que aún se desconoce , en el caso de los curados planteados, con aditivo y por inmersión si habría poblaciones ya que se refieren a curados que son comúnmente utilizados.

### 3.4.2. Muestra:

Por otro lado, la muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población, a partir de la muestra se hace una inferencia hacia la población. Para la presente tesis se detalla a continuación:

*Tabla N° 1: Tamaño de muestra para especímenes cilíndricos para ensayo de Resistencia a compresión Según tratamiento*

Edad de Ensayo	Curado por inmersión (Patrón)	Curado con aditivo	Curado Interno (Propuesta)			Total
			Reemp. 5%	Reemp. 10%	Reemp. 20%	
7 Días	10	10	10	10	10	50
14 Días.	10	10	10	10	10	50
28 Días	10	10	10	10	10	50
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>150</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 2: Tamaño de muestra para especímenes prismáticos para ensayo de Resistencia a flexión Según tratamiento*

Edad de Ensayo	Curado por inmersión (Patrón)	Curado Interno (Propuesta)		Total
		Reemp. 10%	Reemp. 20%	
28 Días	10	10	10	30
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>30</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.4.3. Descripción de Tratamientos de estudio.

Se aplicaron tres tratamientos de estudio, uno de ellos es la propuesta que plantea la presente tesis y dentro de la cual se estudian tres alternativas los que se indican a continuación:

- **Tratamiento 1: Curado sumergido.** Se trata del curado de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  mediante la sumersión en agua a edades de 7, 14 y 28 días.
- **Tratamiento 2: Curado con Aditivo.** Se trata del curado de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  aplicando un aditivo curador Membranil Reforzado de Chema de basta aplicación en nuestro medio.
- **Tratamiento 3: Curado interno.** Se trata del curado de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , mediante el reemplazo de agregado grueso por ladrillo triturado y saturado (alternativa propuesta),

cabe mencionar que dentro de esta propuesta se ha planteado experimentar con 5, 10 y 20% de porcentaje de reemplazo, teniendo cada caso una muestra definida.

### **3.5. Equipos y materiales**

#### **3.5.1. Equipos**

Los equipos utilizados son los establecidos por las Normas NTP y ASTM y que cuentan con su respectivo certificado de calibración y son los siguientes:

- Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- Estufa a temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Balanza, con sensibilidad de 0.5 gr. y capacidad no menor de 5 Kg.
- Cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm.
- Depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua.
- Termómetro con aproximación de 0.5 °C.
- Esferas de acero
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 1/2" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo.
- La Máquina de los Ángeles.
- Máquina Universal – Resistencia a Compresión.
- Máquina Universal – Resistencia a Flexión.

#### **3.5.2. Materiales**

Los materiales empleados son aquellas que cumplen con las condiciones y requerimientos mínimos para su utilización, su procedencia y características se detallan a continuación:

##### **a. Agregados**

Se tomó la Cantera de “Río Chonta”, ubicada con un rumbo de S 86° E, con respecto a la ciudad de Cajamarca, aproximadamente a 500 m. del distrito de los Baños del Inca, en el río Chonta. Se halla constituida de agregado fino (arena) y agregado grueso (grava) de río. Para

realizar la extracción del material presenta buena accesibilidad durante la época en que no llueve. Esta cantera está constituida por grandes acumulaciones de material fluvial, acumulado en ambos márgenes del río Chonta, formando terrazas discontinuas de aproximadamente 0.90 m. de potencia. El material se caracteriza por su litología consistente en cantos rodados de formas ovoides demostrando haber recorrido una gran distancia y haberse sujetado al fenómeno de fricción que generalmente favorece la forma redondeada de los fragmentos. El material extraído pasa por un proceso de trituración para preparar el agregado fino y grueso. Es así, que accedimos a este material, adquiriéndolo por medio del Ing. José Ernesto Acosta Gálvez, el dueño de la cantera.

*Figura N° 25: Fotografía satelital de la cantera Rio Chonta. años del Inca- Cajamarca*



*Fuente: Google Earth*

b. El cemento utilizado.

Para la realización de los especímenes de concreto se empleó el Cemento portland tipo I de cementos Pacasmayo S.A.A. destinado para uso general en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales que cumple con los requisitos de la Norma Técnica ASTM C 150. Una de sus propiedades principales es que presenta Mayor resistencia inicial debido a su óptima formulación. El cemento Tipo I desarrolla mayor resistencia a edades tempranas y menores tiempos de fraguado (ASTM C 150, 2012).

c. Material para el curado interno

Este material, como ya se menciona fue obtenido de la trituración del ladrillo de arcilla King Kong, fue comprado de la fábrica de ladrillos Ital Ladrillos, cuya ficha técnica es presentada en los anexos.

d. Aditivo Curador Membranil Reforzado de Chema

Fue adquirido de la distribuidora de la Empresa Chema, es un aditivo líquido que aplicado por aspersión sobre el concreto fresco forma una membrana que evita la evaporación prematura del agua de mezclado. Con esta alternativa de curado se evitan grietas y fisuras a la superficie del concreto. Según la descripción del producto, esta adecuado a la norma ASTM C309 Clase A Tipo 1.

e. Agua potable de la Ciudad Universitaria de la UNC

El agua empleada en la preparación y curado de los especímenes de concreto fue el agua potable de la Ciudad Universitaria de la UNC, la cual cumple con los límites máximos y mínimos permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano según el DS N° 031-2010-SA; al mismo tiempo cumple los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma NTP 339.088 (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.088, 1982).

### **3.6. Obtención de Resultados**

#### 3.6.1. Propiedades de los agregados

Para la obtención de las propiedades de los agregados, nos guiamos de las normas y bases para realizar los ensayos. Esta etapa de nuestra tesis fue muy importante ya que teníamos que conocer nuestros agregados y caracterizar sus propiedades para poder realizar el diseño de mezcla. Finalmente, los resultados fueron favorables, ya que cumplieron con los límites permisibles fijados en las normas ASTM, NTP, los métodos y su fundamento será detallados a continuación:

a. Muestreo de Agregados

Se siguió la Norma ASTM D75 – “Muestreo de agregados”, donde describe los pasos para la obtención de agregados almacenados en pilas. Así los agregados obtenidos fueron colocados en sacos de plástico en buenas condiciones para evitar que se pierdan los materiales finos, luego fueron transportados al laboratorio. Las muestras de los agregados tuvieron un tamaño apropiado para emplear las técnicas de ensayos, así mismo estas muestras deben ser lo más representativas posibles, por lo que, se utilizó el método del

cuarteo, descrito en la norma ASTM C 702 o NTP 400.043, con el cual se obtuvo los tamaños de muestra para cada ensayo y se minimizó las variaciones de las características entre las muestras. Se tomó las masas tomando en cuenta el tipo y la cantidad de ensayos a realizarse, así mismo se previno la contaminación y pérdidas de las muestras. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.043, 2006).

b. Granulometría de los agregados

Se siguió el ensayo indicado para el agregado fino en las Normas ASTM C33, C 136 o NTP 400.037 Y 400.012, para determinar que la distribución se mantenga en los límites de los husos establecidos, la granulometría seleccionada fue preferentemente uniforme y continua, con valores retenidos en las mallas N°4 a N°100 de la Serie Tyler . Se obtuvo un módulo de finura que es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado del agregado fino de 3.043. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037, 2002 Y 400.012, 2000).

Se siguió el ensayo indicado para el agregado grueso en las Normas NTP 400.037 Y 400.012 o ASTM C 33 Y C136. para determinar que la distribución se mantenga en los límites de los husos establecidos. Se optó por tomar el huso N° 67 de la A.S.T.M. El tamaño máximo del agregado grueso fue de 3/4" igual que el tamaño nominal, se obtuvo un módulo de finura de 6.712. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037, 2002 Y 400.012, 2000)

c. Peso Específico de los agregados

Para esta propiedad del agregado fino nos basamos en las normas NTP 400.022 o ASTM C 128 que es el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado fino, obtuvimos un peso específico de masa de 2.597 gr./cm<sup>3</sup>, peso específico en condición sss de 2.630 gr/cm<sup>3</sup>, peso específico aparente de 2.686 gr/cm<sup>3</sup> y una absorción de 1.279% a las 24 horas. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.022, 2002).

Para esta propiedad del agregado grueso nos basamos en las normas *NTP 400.021 o ASTM C 128 que es* el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado grueso; obtuvimos un peso específico de masa de 2.605 gr./cm<sup>3</sup>, peso específico en condición sss de 2.634 gr/cm<sup>3</sup>, peso específico aparente de 2.683

gr/cm<sup>3</sup> y una absorción de 1.125% a las 24 horas (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021, 2002).

d. Contenido de Humedad de Agregados

Usando la norma ASTM C 71 o NTP 400.010 donde se establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino y grueso. Se obtuvo un porcentaje de humedad del agregado fino un día antes de realizar la mezcla de concreto de 6.41% y de agregado grueso de 1.04%, queda claro que este contenido de humedad fue para los curados por inmersión y por rociado de líquido formador de membrana (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.185, 2002).

e. Contenido de Humedad para el Curado Interno

Basándonos en el mismo fundamento teórico calculamos el contenido de humedad, pero para el curado interno del concreto, es decir se utilizó la norma NTP 400.010 para determinar el porcentaje de humedad del ladrillo saturado sumergido a 3 días, 5 días y 7 días, donde se obtuvo un máximo porcentaje de humedad de 2.34 % a las 72 horas, este dato se utilizó para el ajuste de mezclas por humedad para el diseño de mezclas del tratamiento de concreto con curado interno. El porcentaje de humedad del agregado fino para este tratamiento fue el mismo que para los otros tratamientos por no variar el agregado (Norma Técnica Peruana NTP 339.185, 2002).

f. Material que pasa la malla N° 200

Se realizó el ensayo para obtener esta propiedad, ya que de presentar cantidades mayores a las recomendadas por las normas internacionales y nacionales se podrían presentar variación en los resultados de resistencia a compresión. Usando como base las normas ASTM C 117 y NTP 400.018. Al comparar los resultados obtenidos con la Norma Técnica 400.037 (AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto), se concluye que la cantera cumple con lo estipulado en la en lo que respecta al material más fino que el tamiz n° 200 cuyo resultado es 4.29% (menor que 5%) y que la curva granulométrica del agregado fino cumple con el uso granulométrico M de la norma mencionada.

g. Ensayo a compresión y flexión de las unidades de estudio.

Los datos de la resistencia a compresión de los 150 especímenes de concreto elaborados y los 30 especímenes ensayados a flexión, se obtuvieron mediante las consideraciones para

este ensayo de resistencia a compresión y flexión que se describen en La Norma ASTM C 39. (ASTM C 39, 1999) y ASTM C 78. (ASTM C 78, 1999) respectivamente.

### 3.6.2. Diseño de mezclas por el Método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados

La dosificación de un concreto tiene por objeto determinar las proporciones (cantidad, ya sea en peso o en volumen) en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo, para obtener mezclas que reúnan las características y propiedades exigidas en un proyecto. Entre estas podemos nombrar:

- Resultados económicos, no sólo respecto al costo inicial, sino durante la vida útil, hasta su servicio final,
- Trabajabilidad adecuada, para poder dar lugar a un vaciado satisfactorio en las condiciones de trabajo (con una relación agua/cemento (A/C) que sea tan baja como se pueda),
- Resistencia suficiente, para soportar las cargas de diseño,
- Durabilidad, para permitir un servicio satisfactorio en las condiciones esperadas de exposición durante su vida útil.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se realizó el diseño de mezcla siguiendo los siguientes pasos:

#### a. Requerimientos del concreto

El diseño de mezcla realizado fue siguiendo el método del módulo de finura de la combinación de agregados y consistió en realizar 4 diseños de mezcla según el acápite 4.4.3, teniendo en cuenta que un diseño es el que va a realizar parra los curados por inmersión y usando aditivo y los otros tres diseños pertenecen al tratamiento por curado interno en sus tres porcentajes estos serán ensayados a compresión uniaxial y a flexión según la Norma ASTM C 39 a edades de 7, 14 y 28 días.

Para la elaboración del diseño de mezclas para los especímenes cilíndricos de concreto se consideró tener los siguientes requerimientos en el estado endurecido y no endurecido:

La trabajabilidad requerida: Se consideró que el concreto no endurecido, presente una trabajabilidad óptima, evitando tener un perfil sobre gravoso o sobre arenoso.

La consistencia requerida: cumplió con una consistencia plástica (asentamiento de 3"-4")

La resistencia requerida: Un  $f'c$  de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, ya que este  $f'c$  es más comúnmente utilizado en especificaciones de obra para elementos estructurales, así como también para losas de pavimentos.

b. Propiedades de los componentes

Propiedades del Cemento: Marca y Tipo: CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. - Cemento portland Tipo I, cumple con los requisitos de las normas técnicas *NTP 334.009* y *ASTM C 150.*, Peso específico: 3.1 gr/cm<sup>3</sup>

Las propiedades del Agregado Fino: Las propiedades a considerar para el diseño de mezclas fueron:

Peso específico SSS: 2.630 gr/cm

Peso específico de masa: 2.597 gr/cm

Humedad natural: 6.41 %

Absorción AF: 1.28%

Módulo de fineza: 3.043

Las propiedades del Agregado Grueso: Las propiedades a considerar para el diseño de mezclas fueron:

TMN del agregado grueso: 3/4"

Peso específico SSS: 2.634 gr/cm<sup>3</sup>

Peso unitario compactado: 1.442 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad natural para el diseño patrón: 1.04%

Absorción: 1.13%

c. Diseño de Mezcla por el método Modulo de Finura de la Combinación de Agregados

Se empleó el Método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados. Los cálculos y resultados del diseño de mezclas se presentan en el APÉNDICE C.

Para elaboración de concreto para tratamiento patrón, es decir curado por inmersión y curado empleando aditivo, la dosificación obtenida fue:

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.86 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>892.62 Kg/m<sup>3</sup></i>

Para elaboración de concreto para curado interno, con porcentaje de reemplazo del 5% del agregado grueso por ladrillo triturado y saturado, la dosificación obtenida fue:

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.82 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>847.99 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>32.828 Kg/m<sup>3</sup></i>

Para elaboración de concreto para curado interno, con porcentaje de reemplazo del 10% del agregado grueso por ladrillo triturado y saturado, la dosificación obtenida fue:

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.78 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>803.36 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>65.656 Kg/m<sup>3</sup></i>

Para elaboración de concreto para curado interno, con porcentaje de reemplazo del 20% del agregado grueso por ladrillo triturado y saturado, la dosificación obtenida fue:

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.71 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>714.10 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>131.311 Kg/m<sup>3</sup></i>

### 3.6.3. Mezcla de prueba

Teniendo nuestros diseños, se procedió a calcular los volúmenes para la tanda de prueba en cada uno del caso, como se presenta a continuación:

Volumen para una tanda de 05 especímenes, incluyendo la elaboración de la prueba de consistencia empleando el cono de abrams, correspondiente al diseño del concreto curado por inmersión y empleando el aditivo:

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.856 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>26.779 Kg/tanda</i>

Volumen para una tanda de 05 especímenes, incluyendo la elaboración de la prueba de consistencia empleando el cono de abrams, correspondiente al diseño del concreto curado por inmersión y empleando el aditivo:

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.855 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>25.440 Kg/tanda</i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>0.984 Kg/tanda</i>

Volumen para una tanda de 05 especímenes, incluyendo la elaboración de la prueba de consistencia empleando el cono de abrams, correspondiente al diseño del concreto curado por inmersión y empleando el aditivo:

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.853 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>24.101 Kg/tanda</i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>1.970 Kg/tanda</i>

Volumen para una tanda de 05 especímenes, incluyendo la elaboración de la prueba de consistencia empleando el cono de abrams, correspondiente al diseño del concreto curado por inmersión y empleando el aditivo:

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.853 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>21.423 Kg/tanda</i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>3.939 Kg/tanda</i>

#### 3.6.4. Variables dependientes evaluadas

##### Asentamiento del concreto

En cada tanda a realizar se midió el asentamiento, esto para comprobar si es que es necesario hacer un ajuste a la mezcla, además para establecer alguna relación entre la variación del asentamiento y el tipo de tratamiento.

### Peso unitario del Concreto Fresco

De igual manera se midió el peso unitario para establecer alguna relación entre los diferentes tipos de tratamiento.

### Resistencia a compresión y Flexión de Concreto

Finalmente se ensayó las probetas, según lo descrito en la norma ASTM C 39, se hace hincapié en el proceso de ensayo, el cual fue por etapas como se detalla en el acápite 3.4.4.

### Retención de humedad del concreto

Posterior al ensayo, y por tratarse de una variable dependiente, se tomó las muestras para obtener el porcentaje de humedad de cada tratamiento ensayado y para cada edad considerada.

## **3.7. Procesamiento y análisis de datos**

La información fue procesada mediante métodos estadísticos como la determinación de promedios, el análisis de varianza y agrupación de los tratamientos usando la prueba de rango múltiple de Tukey. Para lo cual se emplearon programas computarizados como el Minitab 17, con los que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficas representativas.

### 3.7.1. Análisis estadístico de los resultados.

Los resultados de los ensayos realizados están sujetos a variaciones, que pueden dar idea de la uniformidad de estos resultados y el cuidado en la realización de los ensayos. Asimismo, en base a estas variaciones se puede diferenciar el comportamiento de los tratamientos de estudio mediante el análisis estadístico. Por ello se realizaron los análisis estadísticos de los datos obtenidos de las siguientes variables de evaluación: (a) Porcentaje de humedad de los especímenes de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días. (b) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días y (c) Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 28 días.

### 3.7.2. Análisis estadístico de varianza y Prueba de Rango Múltiple de Tukey.

Se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA) ya que es uno de los métodos estadísticos más utilizados y más elaborados en la investigación moderna. Se usa para la prueba de hipótesis

para dos o más medias poblacionales; de tal manera que en esta investigación permite probar si dos o más medias muestrales pertenecen o no a la misma población. Si las medias muestrales tienen diferencia estadística entonces significa que pertenecen a diferentes poblaciones. Esta prueba se basa en la descomposición de la variación total existente de cada variable cuantitativa en sus componentes llamados fuentes de variabilidad. Para nuestro caso estas fuentes de variabilidad serán: tratamiento y error correspondiendo a un diseño experimental llamado “Diseño completamente al azar”, diseño estadístico recomendado para trabajos de laboratorio, como en la presente tesis.

Respecto a las Pruebas de Rango Múltiple (PRM) son pruebas estadísticas que permiten conocer la diferencia estadística entre las medias muestrales de los tratamientos que se estudian; por lo tanto, se usan cuando en la tabla de análisis de varianza se encuentra significación estadística en la fuente de variación respectiva. Para nuestro caso se usó la PRM de Tukey (al nivel de 95% de confianza) para la fuente de tratamientos; ya que dicha fuente mostró significación estadística en el ANOVA; siendo esta prueba más exigente que otras como la PRM de Duncan.

Los cálculos del ANOVA y de las pruebas de rango múltiple de Tukey se realizaron utilizando el programa estadístico *Minitab versión 17.0* del año 2015 que sirve para realizar análisis estadísticos y gráficas de estos de datos.

Estándares de control de concreto en resistencia a compresión.

El comité ACI 214 propone la tabla 3.10.2.1 tomada del *reporte del ACI 214 -77*, donde se dan los estándares del control del concreto mediante los resultados de desviación estándar, considerando si las operaciones fueron realizadas en construcciones en general o ensayos de laboratorio. Se realizó el análisis estándares de control del concreto para los resultados de resistencia a compresión a la edad de 28 días. (ACI 214R-02, 2002)

Tabla N° 3: Estándares de control del Concreto (ACI 24 – 77)

Clase de operación	Desviación Estándar para los diferentes estándares de control (Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo
Construcción en general	Menos de 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	Más de 49.2

Fuente: ACI 24- 77

Tabla N° 4: Matriz de consistencia metodológica

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables, definición conceptual	Definición operacional de variables		Metodología	Población y Muestra
				Indicadores	Fuente o inst. de recolección de datos		
¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de arcilla coccionada en reemplazo del 5%, 10% y 20% del agregado grueso referente a la retención de humedad del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días, en comparación al curado por inmersión y el curado con aditivo del concreto?	Determinar la efectividad que tiene el curado interno del concreto mediante la adición de material cerámico en reemplazo del 5%, 10% y 20% del agregado grueso referente a la retención de humedad del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.	A los 7, 14 y 28 días, el curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en porcentaje de reemplazo de agregado grueso (5,10 y 20%) será más efectivo en retención de humedad del concreto, que el concreto con curado por inmersión y curado con aditivo y además tendrá mayor resistencia cuando mayor sea el porcentaje de reemplazo.	Se define como la relación entre el peso del agua dentro de una muestra de concreto, entre el peso total de dicha muestra.  La cantidad de agua obtenida indica la retención de humedad que mantiene debido al tratamiento utilizado, a mayor retención mejora la resistencia y la durabilidad.	% de Humedad	Ensayo de humedad de las muestras de concreto, tomadas después de ensayar los especímenes de concreto a edad de 7, 14 y 28 días.	Técnicas de medición y normas del ensayo de contenido de humedad	Por ser una práctica nueva, el curado interno, no se identifican poblaciones, ya que esta técnica es desconocida en la práctica. Las muestras fueron cada tratamiento en estudio con su respectivo número de especímenes que viene a ser el tamaño de la muestra

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables, definición conceptual	Definición operacional de variables		Metodología	Población y Muestra
				Indicadores	Fuente o inst. de recolección de datos		
¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de arcilla coccionada en reemplazo del 5%, 10% y 20% del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo?	Determinar la efectividad que tiene el curado interno del concreto mediante la adición de material cerámico en reemplazo del 5%, 10% y 20% del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.	A los 7, 14 y 28 días, el curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en porcentaje de reemplazo de agregado grueso (5,10 y 20%) será más efectivo en resistencia a la compresión del concreto, que el concreto con curado por inmersión y curado con aditivo y además tendrá mayor resistencia cuando mayor sea el porcentaje de reemplazo.	La resistencia a compresión se define como el máximo esfuerzo que puede ser soportado sin que esta se rompa.  Una mejor resistencia es sinónimo de un mejor curado, ya que la hidratación del cemento ha sido óptima.	Unidades de esfuerzo: Kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos, a edades de 7, 14 y 28 días, cálculos realizados para obtener esta magnitud con la carga última obtenida del ensayo.	Técnicas de medición y normas del ensayo de contenido de humedad	Por ser una práctica nueva, el curado interno, no se identifican poblaciones, ya que esta técnica es desconocida en la práctica. Las muestra fueron cada tratamiento en estudio con su respectivo número de especímenes que viene a ser el tamaño de la muestra

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables, definición conceptual	Definición operacional de variables		Metodología	Población y Muestra
				Indicadores	Fuente o inst. de recolección de datos		
¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de arcilla coccionada en reemplazo del 10% y 20% del agregado grueso referente a la resistencia a la flexión del concreto; a edad de 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo?	Determinar la efectividad que tiene el curado interno del concreto mediante la adición de fragmentos de arcilla coccionada en reemplazo del 10% y 20% del agregado grueso referente a la resistencia a la flexión del concreto; a la edad de 28 días, en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.	A los 28 días, el curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en porcentaje de reemplazo de agregado grueso (10 y 20%) será más efectivo en resistencia a flexión del concreto, que el concreto con curado por inmersión y además tendrá mayor resistencia cuando mayor sea el porcentaje de reemplazo.	La resistencia a flexión se define como el máximo esfuerzo que puede ser soportado sin que esta se rompa.  Una mejor resistencia es sinónimo de un mejor curado, ya que la hidratación del cemento ha sido óptima.	Unidades de esfuerzo: Kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes prismáticos, a edad de 28 días, cálculos realizados para obtener esta magnitud con la carga última obtenida del ensayo.	Técnicas de medición y normas del ensayo de contenido de humedad	Por ser una práctica nueva, el curado interno, no se identifican poblaciones, ya que esta técnica es desconocida en la práctica. Las muestras fueron cada tratamiento en estudio con su respectivo número de especímenes que viene a ser el tamaño de la muestra

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación y análisis de resultados

4.1.1. Humedad expresada en porcentajes, para especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a edad de 7 días.

a. Porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos a edad de 7 días:

*Tabla N° 5: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado por inmersión*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	20/05/2017	PT - 7D - 01	10.031
02	20/05/2017	PT -7D - 02	10.219
03	20/05/2017	PT - 7D - 03	10.373

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 6: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado con aditivo*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	08/06/2017	AD - 7D - 01	5.422 %
02	08/06/2017	AD -7D - 02	5.505 %
03	08/06/2017	AD - 7D - 03	5.604 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 7: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	12/06/2017	5% - 14D - 01	6.243 %
02	12/06/2017	5% -14D - 02	5.506 %
03	12/06/2017	5% - 14D - 03	5.902 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 8: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	02/06/2017	10% - 7D - 01	7.745 %
02	02/06/2017	10% - 7D - 02	7.580 %
03	02/06/2017	10% - 7D - 03	7.365 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 9: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	02/06/2017	20% - 7D - 01	8.160 %
02	02/06/2017	20% - 7D - 02	8.356 %
03	02/06/2017	20% - 7D - 03	8.079 %

Fuente: Elaboración Propia

b. Análisis estadístico de los resultados.

Los resultados se muestran:

Tabla N° 10: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 7 días.

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC AJUST.	CM AJUST.	VALOR F	VALOR P
Tratamientos	4	43.1721	10.7930	234.35	0.000**
Error	10	0.4606	0.0461		
Total	14	43.6327			

GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 11: Medias para cada tratamiento

TIPO DE CURADO	N	MEDIA (%)	DESV. EST. (%)	IC DE 95%
C.I con adic. 10%	3	7.563	0.191	( 7.287; 7.839)
C.I con adic. 20%	3	8.1983	0.1424	(7.9223; 8.4744)
C.I con adic. 5%	3	5.884	0.369	( 5.608; 6.160)
C. con aditivo	3	5.103	0.0911	(5.2343; 5.7864)
C. por Inmersión (Patrón)	3	10.2077	0.1713	(9.9316; 10.4837)
Desv. Est. Agrupada :0.214605				

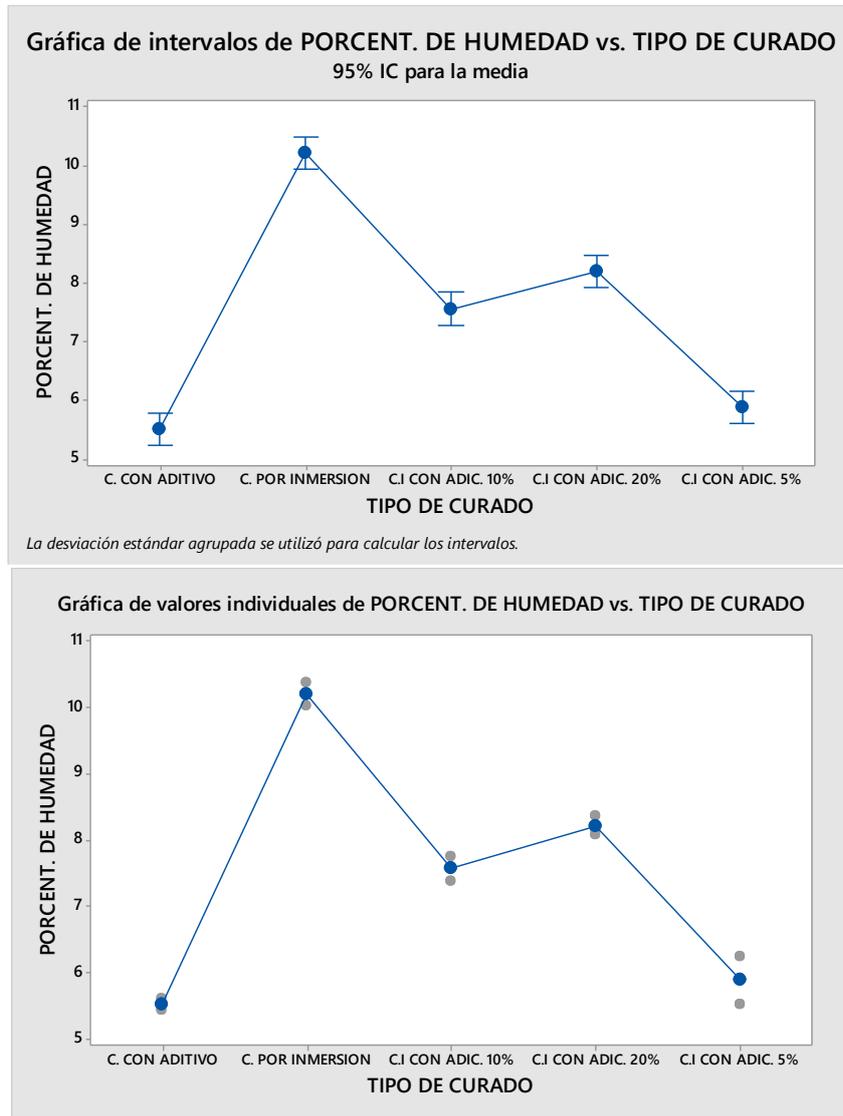
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 12: Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95%

TIPO DE CURADO (orden de mérito)	N	MEDIA (%)	AGRUPACIÓN
C. por Inmersión (Patrón)	3	10.2077	A
C.I con adic. 20%	3	8.1983	B
C.I con adic. 10%	3	7.563	C
C.I con adic. 5%	3	5.884	D
C. con aditivo	3	5.5103	D

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 26: Graficas de intervalos y valores individuales para el porcentaje de humedad a la edad de 7 días



Fuente: Reportes de Minitab

El Análisis de Varianza (ANOVA) realizado nos muestra los resultados presentados, de los cuales concluimos que hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentajes de humedad de los 5 tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí.

Según estos resultados, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el curado sumergido en agua con 10.2077%; le sigue el curado interno con adición de ladrillo saturado en porcentaje de 20% (que es la propuesta), con 8.1983 %; seguidamente del curado con reemplazo de 10% con 7.563% y finalmente el curado con reemplazo del 5% y el curado con aditivo con un resultado estadísticamente igual de 5.884% y 5.5103% respectivamente.

4.1.2. Humedad expresada en porcentajes, para especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a edad de 14 días.

a. Porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos a edades de 14 días:

*Tabla N° 13: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado por inmersión*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	20/05/2017	PT - 14D - 01	9.674 %
02	20/05/2017	PT -14D - 02	9.820 %
03	20/05/2017	PT - 14D - 03	9.783 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 14: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado con aditivo*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	08/06/2017	AD - 14D - 01	4.225 %
02	08/06/2017	AD -14D - 02	4.152 %
03	08/06/2017	AD - 14D - 03	4.097 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 15: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	12/06/2017	5% - 14D - 01	4.520 %
02	12/06/2017	5% -14D - 02	4.027 %
03	12/06/2017	5% - 14D - 03	4.358 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 16: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	02/06/2017	10% - 14D - 01	5.260 %
02	02/06/2017	10% -14D - 02	4.516 %
03	02/06/2017	10% - 14D - 03	4.636 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 17: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	08/06/2017	10% - 14D - 01	6.838 %
02	08/06/2017	10% -14D - 02	7.034 %
03	08/06/2017	10% - 14D - 03	5.820 %

*Fuente: Elaboración Propia*

b. Análisis estadístico de los resultados.

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), para la variable dependiente porcentaje de humedad de los tratamientos, una vez determinado si las medias de estos tratamientos son estadísticamente significativas, usamos la prueba de rango de Tukey, para observar la diferencia estadística. Los resultados se muestran a continuación:

*Tabla N° 18: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 14 días.*

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC AJUST.	CM AJUST.	VALOR F	VALOR P
Tratamientos	4	69.371	17.3427	121.06	0.000**
Error	10	1.433	0.1433		
Total	14	70.803			

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 19: Medias para cada tratamiento*

TIPO DE CURADO	N	MEDIA (%)	DESV. EST. (%)	IC DE 95%
C.I con adic. 10%	3	4.804	0.399	( 4.317; 5.291)
C.I con adic. 20%	3	6.564	0.652	( 6.077; 7.051)
C.I con adic. 5%	3	4.302	0.251	( 3.815; 4.789)
C. con aditivo	3	4.1580	0.0642	(3.6711; 4.6449)
C. por Inmersión (Patrón)	3	9.888	0.254	( 9.401; 10.375)
Desv. Est. Agrupada :0.378487				

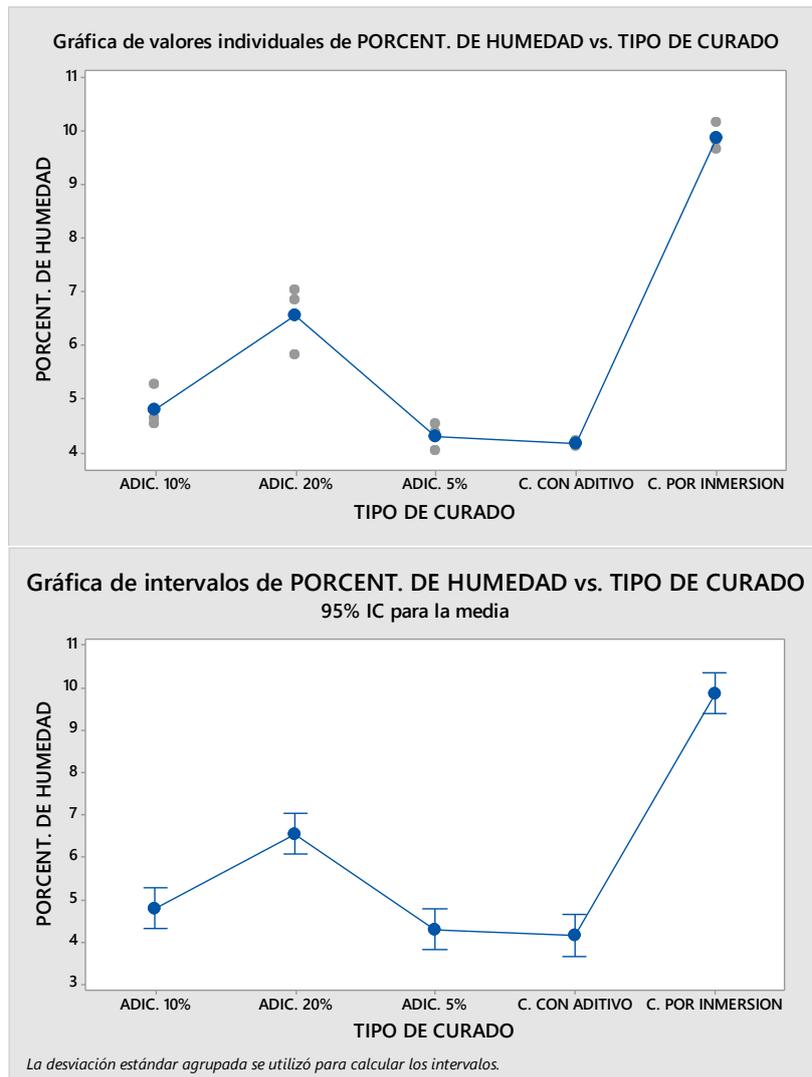
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 20: Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95%*

TIPO DE CURADO (orden de mérito)	N	MEDIA (%)	AGRUPACIÓN (*)
C. por Inmersión (Patrón)	3	9.888	A
C.I con adic. 20%	3	6.564	B
C.I con adic. 10%	3	4.804	C
C.I con adic. 5%	3	4.302	C
C. con aditivo	3	4.1580	C

*Fuente: Elaboración Propia*

Figura N° 27: Graficas de intervalos y valores individuales para el porcentaje de humedad a la edad de 14 días



Fuente: Reportes de Minitab

El Análisis de Varianza (ANOVA) realizado nos muestra los resultados presentados, de los cuales concluimos que hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 5 tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí.

Según estos resultados, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua con 9.888%; le sigue el Curado interno con adición de ladrillo saturado en porcentaje de 20% (que es la propuesta), con 6.564%; seguidamente y estadísticamente iguales los tratamientos de curado interno con 10% y 5% de reemplazo y finalmente el curado con aditivo con 4.804%, 4.302% y 4.1580% respectivamente.

4.1.3. Humedad expresada en porcentajes, para especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a edad de 28 días.

a. Porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos a edad de 28 días:

*Tabla N° 21: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	10/06/2017	PT - 28D - 01	6.551 %
02	10/06/2017	PT -28D - 02	7.064 %
	10/06/2017	PT - 28D - 03	7.921 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 22: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado con aditivo*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	29/06/2017	AD - 28D - 01	3.846 %
02	29/06/2017	AD -28D - 02	3.191 %
03	29/06/2017	AD - 28D - 03	3.810 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 23: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	14/06/2017	5% - 28D - 01	4.188 %
02	14/06/2017	5% -28D - 02	4.139 %
03	14/06/2017	5% - 28D - 03	4.095 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 24: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	14/06/2017	10% - 28D - 01	4.933 %
02	14/06/2017	10% -28D - 02	4.046 %
03	14/06/2017	10% - 28D - 03	4.274 %

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 25: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%*

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	15/06/2017	20%- 28D - 01	5.013 %
02	15/06/2017	20% -28D - 02	5.405 %
03	15/06/2017	20% - 28D - 03	5.215 %

*Fuente: Elaboración Propia*

b. Análisis estadístico de los resultados.

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), para la variable dependiente porcentaje de humedad de los tratamientos, una vez determinado si las medias de estos tratamientos son estadísticamente significativas, usamos la prueba de rango de Tukey, para observar la diferencia estadística. Los resultados se muestran a continuación:

*Tabla N° 26: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 28 días.*

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC AJUST.	CM AJUST.	VALOR F	VALOR P
Tratamientos	4	23.241	5.8102	33.49	0.000**
Error	10	1.735	0.1735		
Total	14	24.976			

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 27: Medias para cada tratamiento*

TIPO DE CURADO	N	MEDIA (%)	DESV. EST. (%)	IC DE 95%
C.I con adic. 10%	3	4.418	0.461	( 3.882; 4.953)
C.l con adic. 20%	3	5.211	0.196	( 4.675; 5.747)
C.l con adic. 5%	3	4.1407	0.0465	(3.6049; 4.6765)
C. con aditivo	3	3.616	0.368	( 3.080; 4.151)
C. por Inmersión (Patrón)	3	7.179	0.692	( 6.643; 7.714)
Desv. Est. Agrupada :0.4901109				

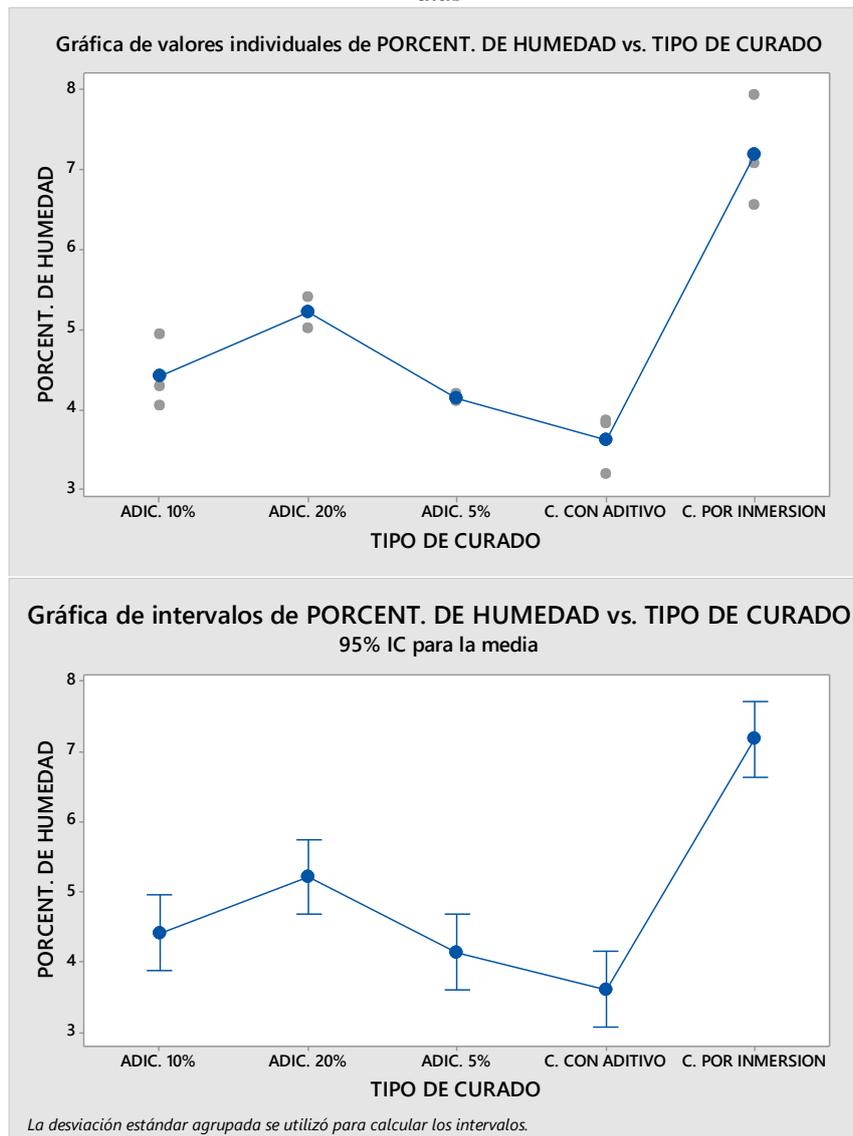
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 28: Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95%*

TIPO DE CURADO (orden de mérito)	N	MEDIA (%)	AGRUPACIÓN (*)
C. por Inmersión (Patrón)	3	7.179	A
C.l con adic. 20%	3	5.211	B
C.l con adic. 5%	3	4.418	BC
C.I con adic. 10%	3	4.1407	BC
C. con aditivo	3	3.616	C

*Fuente: Elaboración Propia*

Figura N° 28: Gráficas de intervalos y valores individuales para el porcentaje de humedad a la edad de 28 días



Fuente: Reportes de Minitab

El Análisis de Varianza (ANOVA) realizado nos muestra los resultados presentados, de los cuales concluimos que no hubo alta significación estadística, lo que significa que no hubo importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 5 tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí.

Según estos resultados, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua con 7.179%; le sigue el Curado interno con adición de ladrillo saturado en porcentaje de 20% (que es la propuesta), con 5.211%; seguidamente los porcentajes inferiores del curado interno y finalmente con menor retención de humedad está el curado usando aditivo con 3.616%.

4.1.4. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 7 días.

a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 7 días:

*Tabla N° 29: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días - Tratamiento de curado por inmersión*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 01	31000.000	15.170	171.280	82%
02	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 02	30000.000	15.200	165.101	79%
03	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 03	33000.000	15.280	179.714	86%
04	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 04	28000.000	15.190	154.297	73%
05	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 05	29000.000	15.210	159.388	76%
06	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 06	32000.000	15.200	176.108	84%
07	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 07	30000.000	15.190	165.318	79%
08	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 06	32500.000	15.130	180.518	86%
09	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 08	33000.000	15.090	184.268	88%
10	13/05/2017	20/05/2017	PT - 7D - 09	29500.000	15.170	162.992	78%

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 30: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días - Tratamiento de curado con aditivo*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 01	19000.000	15.210	104.426	50%
02	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 02	19000.000	15.190	104.702	50%
03	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 03	18000.000	15.310	97.642	46%
04	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 04	17500.000	15.240	95.804	46%
05	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 05	19000.000	15.190	104.702	50%
06	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 06	18500.000	15.340	99.962	48%
07	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 07	19500.000	15.180	107.598	51%
08	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 06	19000.000	15.330	102.798	49%
09	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 08	18000.000	15.210	98.930	47%
10	01/06/2017	08/06/2017	AD - 7D - 09	19000.000	15.290	103.336	49%

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla N° 31: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días -  
Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5%

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE f'c
01	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 01	31500.000	15.125	175.079	83%
02	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 02	35500.000	15.170	196.143	93%
03	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 03	32000.000	15.075	179.040	85%
04	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 04	30500.000	15.050	171.215	82%
05	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 05	29000.000	15.075	162.255	77%
06	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 06	31000.000	15.130	172.186	82%
07	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 07	29000.000	15.020	163.446	78%
08	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 08	34000.000	15.180	187.608	89%
09	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 09	32500.000	15.120	180.757	86%
10	27/05/2017	03/06/2017	5% - 7D - 10	33000.000	15.030	185.742	88%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 32: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días -  
Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE f'c
01	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 01	31500.000	15.060	176.594	84%
02	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 02	31000.000	15.135	172.073	82%
03	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 03	32750.000	15.195	180.354	86%
04	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 04	31500.000	15.000	178.009	85%
05	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 05	32000.000	15.200	176.108	84%
06	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 06	34000.000	15.050	190.863	91%
07	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 07	33500.000	15.100	186.813	89%
08	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 08	34000.000	15.070	190.356	91%
09	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 09	33000.000	15.090	184.268	88%
10	26/05/2017	02/06/2017	10% - 7D - 10	33500.000	15.130	186.072	89%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 33: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días -  
Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE f'c
01	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 01	33000.000	15.000	186.486	89%
02	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 02	34600.000	15.210	190.166	91%
03	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 03	33500.000	15.250	183.156	87%
04	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 04	33000.000	15.000	186.486	89%
05	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 05	32000.000	15.210	175.876	84%
06	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 06	32750.000	15.000	185.073	88%
07	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 07	35000.000	15.100	195.177	93%
08	26/05/2017	02/06/2017	20% - 7D - 08	36000.000	15.150	199.431	95%

09	26/05/2017	02/06/2017	20%-7D - 09	34500.000	15.260	188.376	90%
10	26/05/2017	02/06/2017	20% -7D - 10	32500.000	15.300	176.529	84%

Fuente: Elaboración Propia

b. Análisis estadístico de los resultados.

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), para la variable dependiente resistencia a compresión de especímenes cilíndricos curados según los tratamientos, una vez determinado si las medias de estos tratamientos son estadísticamente significativas, usamos la prueba de rango de Tukey, para observar la diferencia estadística. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 34: Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 7 días.

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC AJUST.	CM AJUST.	VALOR F	VALOR P
Tratamientos	4	48470	12117.4	179.17	0.000**
Error	45	3043	67.6		
Total	49	51513			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 35: Medias para cada tratamiento

TIPO DE CURADO	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESV. EST. ((Kg/cm <sup>2</sup> ))	IC DE 95%
C. con aditivo	10	98.89	4.90	( 93.65; 104.12)
C.I con adic. 10%	10	179.20	8.11	(173.96; 184.44)
C.I con adic. 20%	10	182.77	7.34	(177.53; 188.01)
C.I con adic. 5%	10	173.38	10.53	(168.14; 178.62)
C. por Inmersión (Patrón)	10	166.81	9.14	(161.57; 172.05)
Desv. Est. Agrupada : 8.22371				

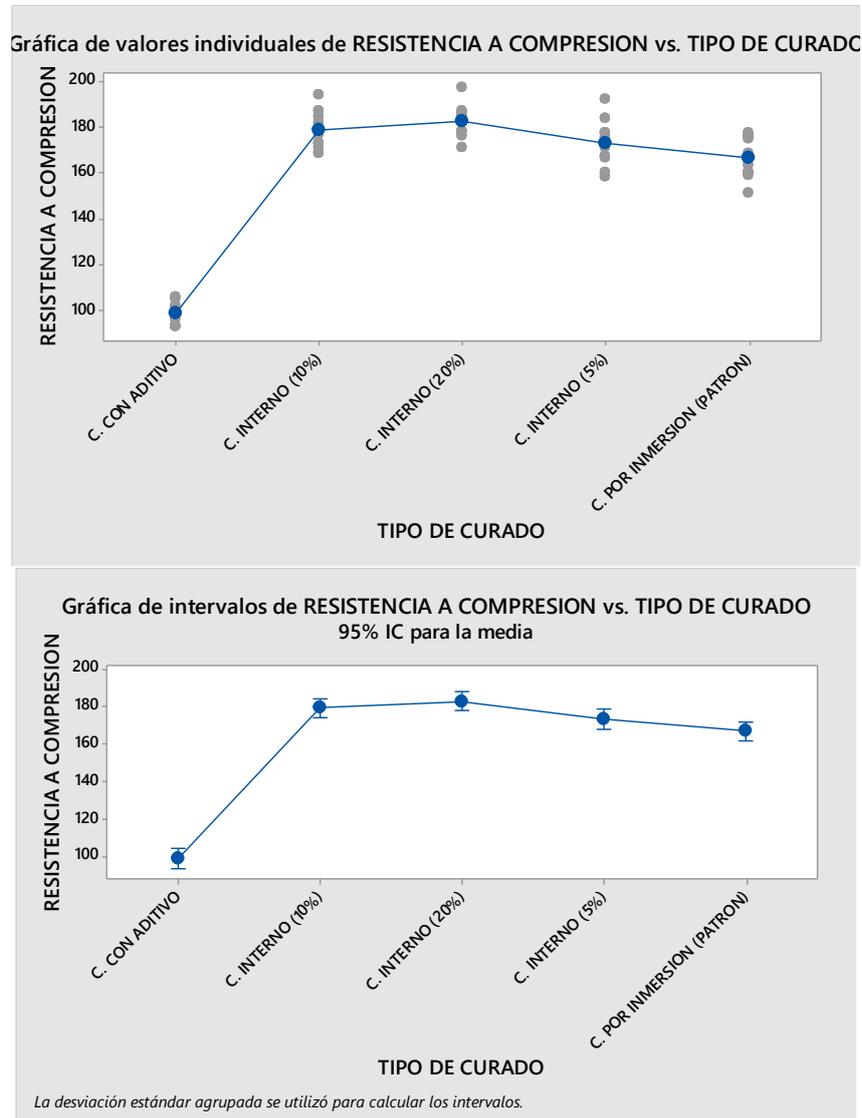
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 36: Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95%

TIPO DE CURADO (orden de mérito)	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN (*)
C.I con adic. 20%	10	182.77	A
C.I con adic. 10%	10	179.20	A
C.I con adic. 5%	10	173.38	A B
C. por Inmersión (Patrón)	10	166.81	B
C. con aditivo	10	98.89	C

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 29: Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 7 días



Fuente: Reportes de Minitab

El Análisis de Varianza (ANOVA) realizado nos muestra los resultados presentados, de los cuales concluimos que hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo importante diferencia estadística entre las medias de las resistencias a compresión de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de resistencia a compresión de los tratamientos de curado interno con porcentaje de 10% y 20% son estadísticamente iguales, mientras que el curado interno con reemplazo del 5% y por inmersión son también estadísticamente iguales entre sí.

Según estos resultados, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a resistencia a compresión fue el curado interno con reemplazo de

agregado grueso por ladrillo en 20% de reemplazo (Propuesta) que obtuvo una media de 182.77 Kg/cm<sup>2</sup>; le sigue el curado interno con 10 % de reemplazo con 179.20 Kg/cm<sup>2</sup>; en general para esta edad se observa que la propuesta supero el curado por inmersión y ampliamente el curado con aditivo.

#### 4.1.5. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 14 días.

##### a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 14 días:

*Tabla N° 37: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días - Tratamiento de curado por inmersión*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	13/05/2017	27/05/2017	PT - 14D - 01	34000.000	15.090	189.852	90%
02	13/05/2017	27/05/2017	PT -14D - 02	40000.000	15.210	219.845	105%
03	13/05/2017	27/05/2017	PT - 14D - 03	35000.000	15.050	196.476	94%
04	13/05/2017	27/05/2017	PT -14D - 04	40000.000	15.030	225.142	107%
05	13/05/2017	27/05/2017	PT - 14D - 05	36000.000	15.120	200.223	95%
06	13/05/2017	27/05/2017	PT -14D - 06	38000.000	15.160	210.233	100%
07	13/05/2017	27/05/2017	PT -14D - 07	37000.000	15.200	203.624	97%
08	13/05/2017	27/05/2017	PT - 14D - 08	35500.000	15.210	195.112	93%
09	13/05/2017	27/05/2017	PT -14D - 09	36500.000	15.200	200.873	96%
10	13/05/2017	27/05/2017	PT -14D - 10	38000.000	15.230	208.305	99%

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 38: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días - Tratamiento de curado con aditivo*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	08/06/2017	22/06/2017	AD - 14D - 01	22000.000	15.230	120.597	57%
02	08/06/2017	22/06/2017	AD -14D - 02	24000.000	15.320	130.020	62%
03	08/06/2017	22/06/2017	AD - 14D - 03	23000.000	15.190	126.744	60%
04	08/06/2017	22/06/2017	AD -14D - 04	24000.000	15.110	133.659	64%
05	08/06/2017	22/06/2017	AD - 14D - 05	22000.000	15.360	118.565	56%
06	08/06/2017	22/06/2017	AD -14D - 06	23000.000	15.250	125.749	60%
07	08/06/2017	22/06/2017	AD -14D - 07	23000.000	15.390	123.471	59%
08	08/06/2017	22/06/2017	AD - 14D - 08	22500.000	15.210	123.663	59%
09	08/06/2017	22/06/2017	AD -14D - 09	23500.000	15.400	125.992	60%
10	08/06/2017	22/06/2017	AD -14D - 10	24000.000	15.340	129.681	62%

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla N° 39: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días -  
Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5%

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 01	32000.000	15.265	174.611	83%
02	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 02	33000.000	15.275	179.832	86%
03	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 03	35000.000	15.150	193.891	92%
04	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 04	36000.000	15.120	200.223	95%
05	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 05	39000.000	15.175	215.339	103%
06	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 06	39000.000	15.305	211.696	101%
07	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 07	34500.000	15.135	191.500	91%
08	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 08	39000.000	15.245	213.366	102%
09	27/05/2017	10/06/2017	5% - 14D - 09	34500.000	15.120	191.880	91%
10	27/05/2017	10/06/2017	5% - 7D - 10	36000.000	15.030	202.628	96%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 40: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días -  
Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 01	45000.000	15.090	251.275	120%
02	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 02	37000.000	14.960	210.210	100%
03	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 03	39000.000	15.150	216.050	103%
04	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 04	39000.000	14.950	221.869	106%
05	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 05	41000.000	15.000	231.695	110%
06	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 06	35000.000	15.095	195.307	93%
07	25/05/2017	08/06/2017	10% - 4D - 07	43000.000	15.270	234.480	112%
08	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 08	36000.000	15.210	197.861	94%
09	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 09	33000.000	15.320	178.777	85%
10	25/05/2017	08/06/2017	10% - 14D - 10	35500.000	15.260	193.836	92%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 41: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días -  
Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 01	37000.000	15.120	205.785	98%
02	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 02	36000.000	15.120	200.223	95%
03	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 03	41000.000	14.990	232.004	110%
04	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 04	37000.000	15.110	206.057	98%
05	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 05	36000.000	14.960	204.529	97%
06	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 06	39000.000	14.970	221.277	105%
07	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 07	36750.000	15.080	205.480	98%
08	23/05/2017	06/06/2017	20% - 14D - 08	37000.000	15.060	207.428	99%

09	23/05/2017	06/06/2017	20%-14D – 09	38000.000	15.210	208.853	99%
10	23/05/2017	06/06/2017	20% -14D – 10	37500.000	15.050	210.510	100%

Fuente: Elaboración Propia

b. Análisis estadístico de los resultados.

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), para la variable dependiente resistencia a compresión de especímenes cilíndricos curados según los tratamientos, una vez determinado si las medias de estos tratamientos son estadísticamente significativas, usamos la prueba de rango de Tukey, para observar la diferencia estadística. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 42: Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 14 días.

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC AJUST.	CM AJUST.	VALOR F	VALOR P
Tratamientos	4	51673	12918.2	69.48	0.000**
Error	45	8366	185.9		
Total	49	43118			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 43: Medias para cada tratamiento

TIPO DE CURADO	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESV. EST. ((Kg/cm <sup>2</sup> ))	IC DE 95%
C. con aditivo	10	123.16	5.59	(114.47; 131.84)
C.I con adic. 10%	10	209.05	21.72	(200.12; 217.99)
C.I con adic. 20%	10	205.89	9.65	(196.96; 214.82)
C.I con adic. 5%	10	193.58	14.60	(184.65; 202.51)
C. por Inmersión (Patrón)	10	201.35	10.97	(192.41; 210.28)
Desv. Est. Agrupada : 13.6350				

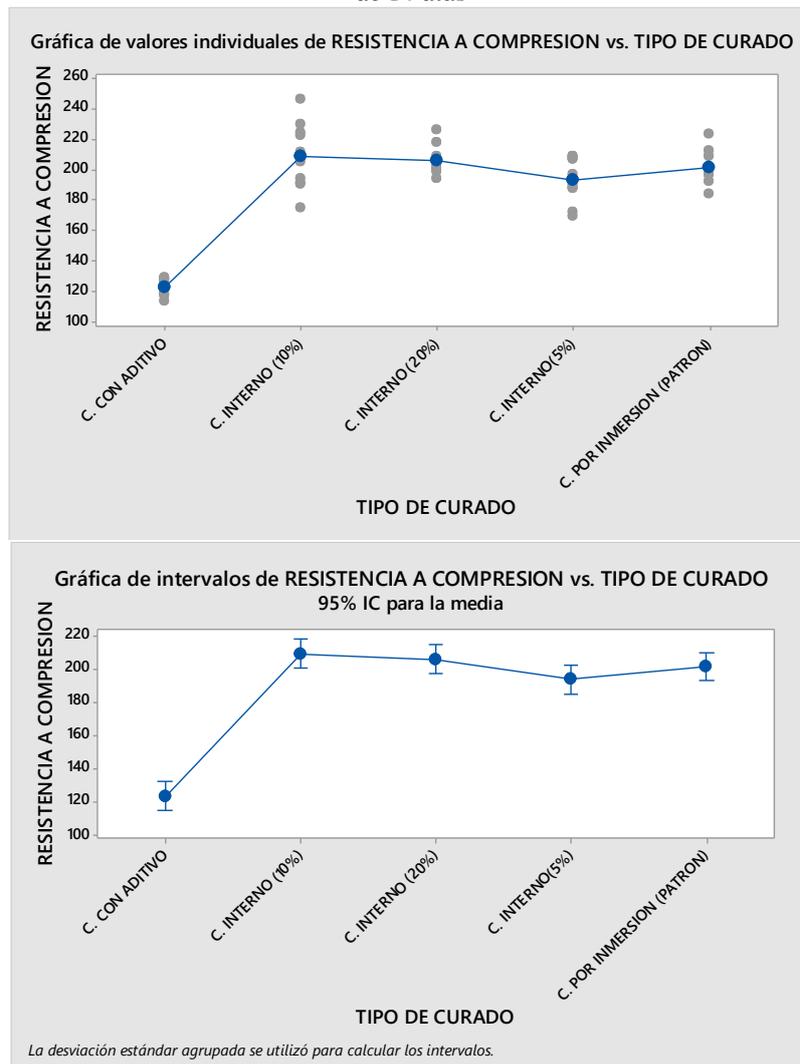
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 44: Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95%

TIPO DE CURADO (orden de mérito)	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN (*)
C.I con adic. 10%	10	209.05	A
C.I con adic. 20%	10	205.89	A
C. por Inmersión (Patrón)	10	201.35	AB
C.I con adic. 5%	10	193.58	B
C. con aditivo	10	123.16	C

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 30: Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 14 días



Fuente: Reportes de Minitab

El Análisis de Varianza (ANOVA) realizado nos muestra los resultados presentados, de los cuales concluimos que no hubo alta significación estadística, lo que significa que no hubo diferencia estadística entre las medias de las resistencias a compresión de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de resistencia a compresión de los tratamientos de curado interno y el tratamiento de curado por inmersión son estadísticamente iguales, mientras que el curado con aditivo es muy inferior al resto también estadísticamente iguales entre sí.

Según estos resultados, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a resistencia a compresión fue el curado interno con reemplazo de agregado grueso por ladrillo en 100% de reemplazo (Propuesta) que obtuvo una media de 209.59 Kg/cm<sup>2</sup>; en general para esta edad se observa que la propuesta supero el curado por inmersión y ampliamente el curado con aditivo.

#### 4.1.6. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 28 días.

##### a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 28 días:

*Tabla N° 45: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado por inmersión*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	13/05/2017	10/06/2017	PT - 28D - 01	48500.000	15.120	269.745	128%
02	13/05/2017	10/06/2017	PT -28D - 02	50500.000	15.130	280.497	134%
03	13/05/2017	10/06/2017	PT - 28D - 03	53500.000	15.210	294.043	140%
04	13/05/2017	10/06/2017	PT -28D - 04	53000.000	15.360	285.633	136%
05	13/05/2017	10/06/2017	PT -28D - 05	49500.000	15.180	273.135	130%
06	13/05/2017	10/06/2017	PT - 28D - 06	48000.000	15.230	263.122	125%
07	13/05/2017	10/06/2017	PT -28D - 07	53000.000	15.030	298.314	142%
08	13/05/2017	10/06/2017	PT -28D - 08	52500.000	15.350	283.307	135%
09	13/05/2017	10/06/2017	PT - 28D - 09	50000.000	15.190	275.530	131%
10	13/05/2017	10/06/2017	PT -28D - 10	53000.000	15.030	298.314	142%

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 46: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado con aditivo*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	01/06/2017	29/06/2017	AD - 28D - 01	35000.000	15.120	194.661	93%
02	01/06/2017	29/06/2017	AD -28D - 02	35500.000	15.130	197.181	94%
03	01/06/2017	29/06/2017	AD - 28D - 03	34000.000	15.210	186.868	89%
04	01/06/2017	29/06/2017	AD -28D - 04	34500.000	15.360	185.931	89%
05	01/06/2017	29/06/2017	AD -28D - 05	33000.000	15.180	182.090	87%
06	01/06/2017	29/06/2017	AD - 28D - 06	33500.000	15.230	183.637	87%
07	01/06/2017	29/06/2017	AD -28D - 07	34000.000	15.030	191.371	91%
08	01/06/2017	29/06/2017	AD -28D - 08	33000.000	15.350	178.079	85%
09	01/06/2017	29/06/2017	AD - 28D - 09	34500.000	15.190	190.116	91%
10	01/06/2017	29/06/2017	AD -28D - 10	35000.000	15.030	197.000	94%

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 47: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 5%*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm <sup>2</sup> )	% OBTENIDO DE f'c
01	17/05/2017	14/06/2017	5% - 28D - 01	43000.000	15.220	236.023	112%
02	17/05/2017	14/06/2017	5% -28D - 02	42500.000	15.293	231.057	110%
03	17/05/2017	14/06/2017	5% - 28D - 03	44000.000	15.213	241.734	115%
04	17/05/2017	14/06/2017	5% -28D - 04	42000.000	15.165	232.209	111%

05	17/05/2017	14/06/2017	5% - 28D - 05	42000.000	15.325	227.386	108%
06	17/05/2017	14/06/2017	5% -28D - 06	43000.000	15.189	236.987	113%
07	17/05/2017	14/06/2017	5% -28D - 07	43500.000	15.746	223.082	106%
08	17/05/2017	14/06/2017	5% - 28D - 08	44000.000	15.236	241.005	115%
09	17/05/2017	14/06/2017	5% -28D - 09	43000.000	15.120	239.155	114%
10	17/05/2017	14/06/2017	5% -28D - 10	43500.000	15.246	237.954	113%

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 48: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE f'c
01	17/05/2017	14/06/2017	10% - 28D - 01	44500.000	15.220	244.256	116%
02	17/05/2017	14/06/2017	10% -28D - 02	46000.000	15.060	257.883	123%
03	17/05/2017	14/06/2017	10% - 28D - 03	45000.000	15.290	244.744	117%
04	17/05/2017	14/06/2017	10% -28D - 04	46500.000	15.310	252.242	120%
05	17/05/2017	14/06/2017	10% - 28D - 05	47000.000	15.060	263.489	125%
06	17/05/2017	14/06/2017	10% -28D - 06	45000.000	15.190	247.977	118%
07	17/05/2017	14/06/2017	10% -28D - 07	45500.000	15.210	250.074	119%
08	17/05/2017	14/06/2017	10% - 28D - 08	44500.000	15.310	241.393	115%
09	17/05/2017	14/06/2017	10% -28D - 09	45000.000	15.100	250.942	119%
10	17/05/2017	14/06/2017	10% -28D - 10	46000.000	15.230	252.158	120%

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla N° 49: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%*

ENSAYO N°	FECHA DE ELAB.	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIÁMETRO (cm)	RESIST. MAX. (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE f'c
01	18/05/2017	15/06/2017	20% - 28D - 01	45000.000	15.265	245.547	117%
02	18/05/2017	15/06/2017	20% -28D - 02	46000.000	15.236	251.960	120%
03	18/05/2017	15/06/2017	20% - 28D - 03	49500.000	15.321	268.130	128%
04	18/05/2017	15/06/2017	20% -28D - 04	50000.000	15.186	275.676	131%
05	18/05/2017	15/06/2017	20%- 28D - 05	48500.000	15.148	268.749	128%
06	18/05/2017	15/06/2017	20%-28D - 06	47500.000	15.378	255.393	122%
07	18/05/2017	15/06/2017	20% -28D - 07	49000.000	15.295	266.325	127%
08	18/05/2017	15/06/2017	20%- 28D - 08	46500.000	15.165	257.089	122%
09	18/05/2017	15/06/2017	20%-28D - 09	48000.000	15.256	262.226	125%
10	18/05/2017	15/06/2017	20% -28D - 10	49000.000	15.096	273.393	130%

*Fuente: Elaboración Propia*

b. Análisis estadístico de los resultados.

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), para la variable dependiente resistencia a compresión de especímenes cilíndricos curados según los tratamientos, una vez determinado si las medias de estos tratamientos son estadísticamente significativas, usamos la prueba de rango de Tukey, para observar la diferencia estadística. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 50: Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 28 días.

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC AJUST.	CM AJUST.	VALOR F	VALOR P
Tratamientos	4	73094	18273.5	307.76	0.000**
Error	45	2672	59.4		
Total	49	75766			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 51: Medias para cada tratamiento

TIPO DE CURADO	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESV. EST. ((Kg/cm <sup>2</sup> ))	IC DE 95%
C. con aditivo	10	165.07	6.50	(160.16; 169.98)
C.I con adic. 10%	10	245.40	5.94	(240.49; 250.30)
C.I con adic. 20%	10	259.69	8.36	(254.78; 264.59)
C.I con adic. 5%	10	230.54	4.24	(225.63; 235.45)
C. por Inmersión (Patrón)	10	276.01	10.51	(271.10; 280.92)
Desv. Est. Agrupada : 7.70563				

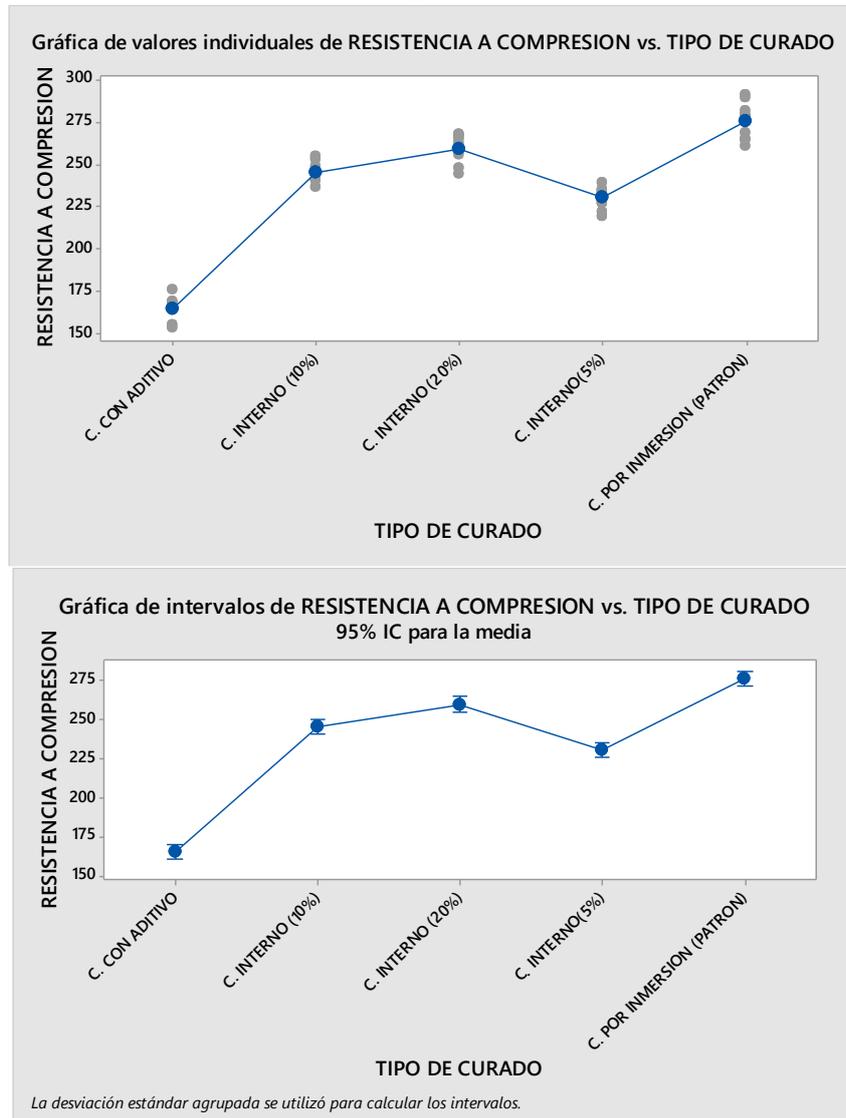
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 52: Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95%

TIPO DE CURADO (orden de mérito)	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN (*)
C. por Inmersión (Patrón)	10	276.01	A
C.I con adic. 20%	10	259.69	B
C.I con adic. 10%	10	245.40	C
C.I con adic. 5%	10	230.54	D
C. con aditivo	10	165.07	E

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 31: Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 28 días



Fuente: Reportes de Minitab

El Análisis de Varianza (ANOVA) realizado nos muestra los resultados presentados, de los cuales concluimos que hubo cierta significación estadística, lo que significa que un poco de diferencia estadística entre las medias de las resistencias a compresión de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de resistencia a compresión de los tratamientos fueron como esperábamos, la resistencia aumento en función al porcentaje de reemplazo y ele curado por inmersión fue ligeramente más alto que el tratamiento de curado interno, asimismo el tratamiento de curado con aditivo es muy inferior al resto también estadísticamente.

Según estos resultados, se observa claramente la variación que hay llegado a los 28 días, el cual es causado por diversos factores, el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a resistencia a compresión fue el curado por inmersión que obtuvo una

media de 276.01 Kg/cm<sup>2</sup> seguida por la propuesta de curado interno con reemplazo de agregado grueso por ladrillo en 20%, 10% y 5% de reemplazo que obtuvo una media de 259.69, 245.40 y 230.54 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente; y en general se observa que se superó ampliamente el curado con aditivo.

#### 4.1.7. Resistencia a flexión de especímenes prismáticos de concreto a edad de 28 días.

##### a. Resistencia a compresión de especímenes prismáticos a edad de 28 días:

Tabla N° 53: Resistencia a flexión de especímenes prismáticos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	EDAD (días)	CARGA				RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			DE ROTURA (Kg)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	L (cm)	b (cm)		d (cm)
1	PT - 01	28	2360	210	45.00	15.00	15.00	47.20
2	PT - 02	28	2230	210	45.00	15.00	15.00	44.60
3	PT - 03	28	2300	210	45.00	15.00	15.00	46.00
4	PT - 04	28	2240	210	45.00	15.00	15.00	44.80
5	PT - 05	28	2280	210	45.00	15.00	15.00	45.60
6	PT - 06	28	2390	210	45.00	15.00	15.00	47.80
7	PT - 07	28	2220	210	45.00	15.00	15.00	44.40
8	PT - 08	28	2270	210	45.00	15.00	15.00	45.40
9	PT - 09	28	2290	210	45.00	15.00	15.00	45.80
10	PT - 10	28	2310	210	45.00	15.00	15.00	46.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 54: Resistencia a flexión de especímenes prismáticos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con 10% de reemplazo

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	EDAD (días)	CARGA				RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			DE ROTURA (Kg)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	L (cm)	b (cm)		d (cm)
1	PT - 01	28	2930	210	45.00	15.00	15.00	58.60
2	PT - 02	28	2900	210	45.00	15.00	15.00	58.00
3	PT - 03	28	2560	210	45.00	15.00	15.00	51.20
4	PT - 04	28	2510	210	45.00	14.90	15.00	50.54
5	PT - 05	28	2520	210	45.00	14.90	15.00	50.74
6	PT - 06	28	2910	210	45.00	15.00	15.00	58.20
7	PT - 07	28	2810	210	45.00	15.00	15.00	56.20
8	PT - 08	28	2560	210	45.00	15.00	15.00	51.20
9	PT - 09	28	2510	210	45.00	14.90	15.00	50.54
10	PT - 10	28	2580	210	45.00	14.90	15.00	51.95

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 55: Resistencia a flexión de especímenes prismáticos ensayados a la edad de 28 días - Tratamiento de curado interno con 20% de reemplazo

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	EDAD (días)	CARGA				RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			DE ROTURA (Kg)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	L (cm)	b (cm)		d (cm)
1	PT - 01	28	2680	210	45.00	15.00	15.00	53.60
2	PT - 02	28	2500	210	45.00	15.00	15.00	50.00
3	PT - 03	28	3000	210	45.00	15.00	15.00	60.00
4	PT - 04	28	2580	210	45.00	15.00	15.00	51.95
5	PT - 05	28	2750	210	45.00	15.00	15.00	55.37
6	PT - 06	28	2590	210	45.00	15.00	15.00	51.80
7	PT - 07	28	2640	210	45.00	15.00	15.00	52.80
8	PT - 08	28	2710	210	45.00	15.00	15.00	54.20
9	PT - 09	28	2850	210	45.00	15.00	15.00	57.38
10	PT - 10	28	2750	210	45.00	15.00	15.00	55.37

Fuente: Elaboración Propia

b. Análisis estadístico de los resultados.

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA), para la variable dependiente resistencia a compresión de especímenes cilíndricos curados según los tratamientos, una vez determinado si las medias de estos tratamientos son estadísticamente significativas, usamos la prueba de rango de Tukey, para observar la diferencia estadística. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 56: Análisis de varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos a edad de 28 días.

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL	SC AJUST.	CM AJUST.	VALOR F	VALOR P
Tratamientos	2	449.8	224.908	30.15	0.000**
Error	27	201.4	7.459		
Total	29	651.2			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 57: Medias para cada tratamiento

TIPO DE CURADO	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	DESV. EST. ((Kg/cm <sup>2</sup> ))	IC DE 95%
C.I con adic. 10%	10	53.72	3.55	( 51.94; 55.49)
C.I con adic. 20%	10	54.247	2.930	(52.475; 56.019)
C. por Inmersión (Patrón)	10	45.780	1.093	(44.008; 47.552)
Desv. Est. Agrupada : 7.73110				

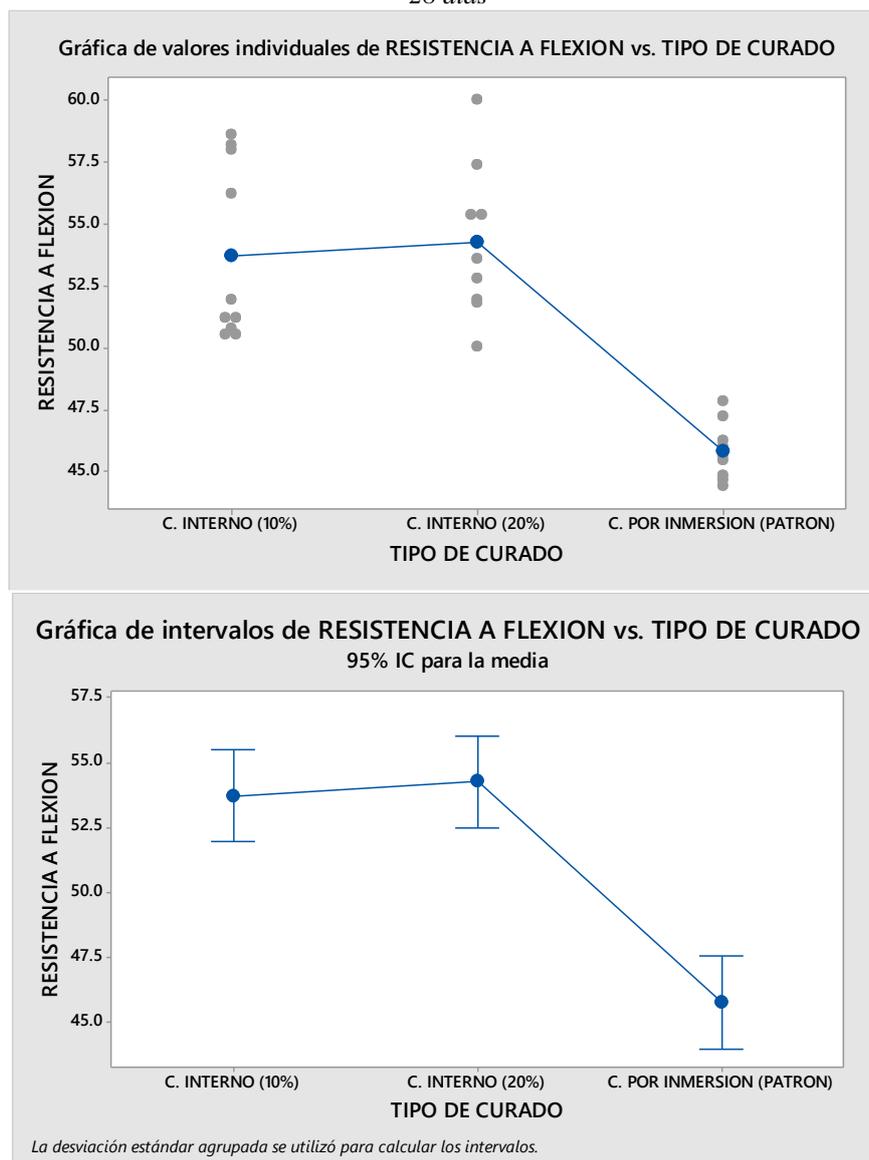
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 58: Comparación de tratamientos según el método de Tukey, con una confianza de 95%

TIPO DE CURADO (orden de mérito)	N	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN (*)
C.I con adic. 20%	10	54.247	A
C.I con adic. 10%	10	53.72	A
C. por Inmersión (Patrón)	10	45.780	B

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 32: Graficas de intervalos, de caja y valores individuales para resistencia a flexión a la edad de 28 días



Fuente: Reportes de Minitab

El Análisis de Varianza (ANOVA) realizado nos muestra los resultados presentados, de los cuales concluimos que hubo cierta significación estadística, lo que significa que un poco de diferencia estadística entre las medias de las resistencias a compresión de los tratamientos.

Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de resistencia a flexión de los tratamientos fueron como esperábamos, la resistencia aumento en función al porcentaje de reemplazo y el curado por inmersión fue inferior al tratamiento de curado interno, asimismo el tratamiento de curado con aditivo fue descartado por presentar bajos niveles de resistencia.

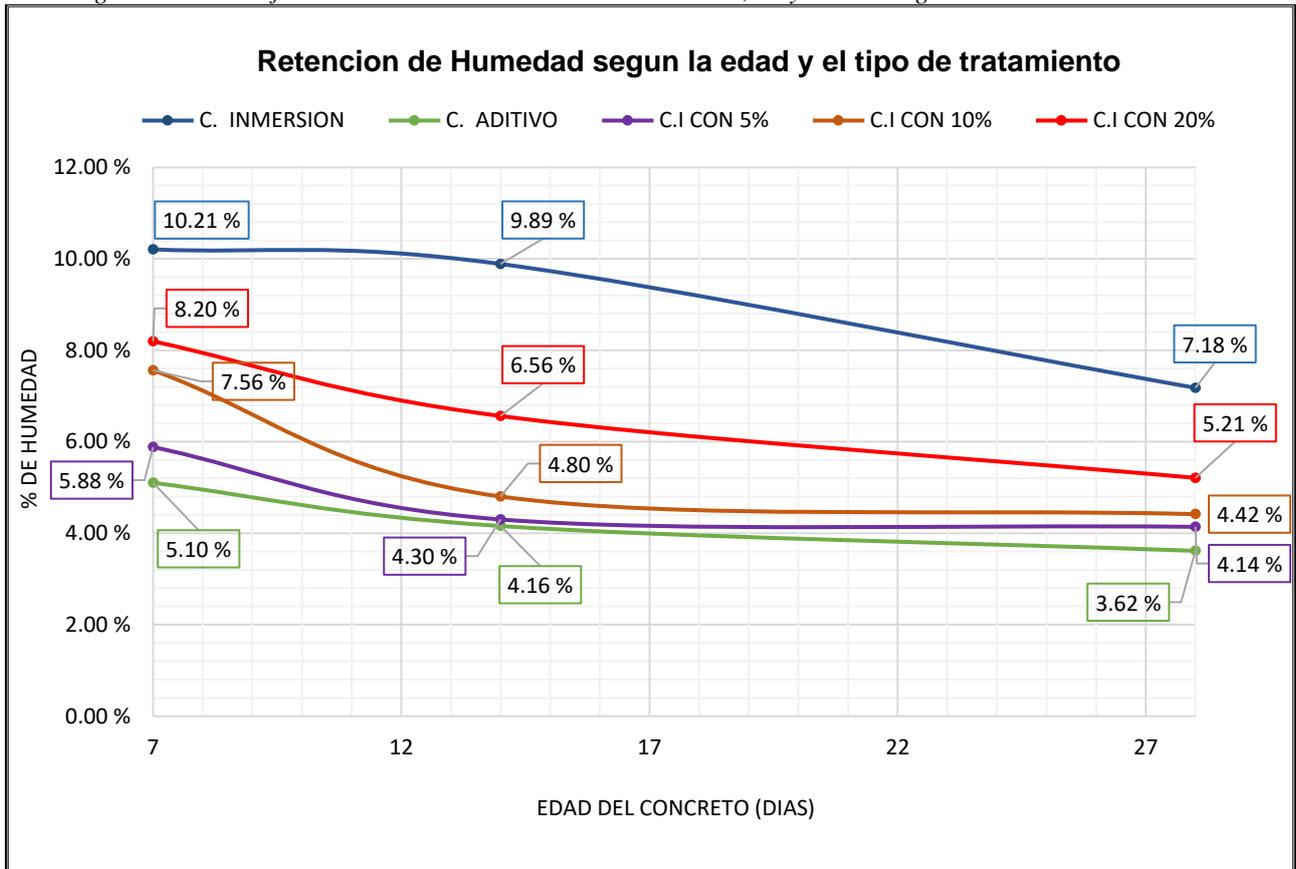
Según estos resultados, se observa claramente la variación que hay llegado a los 28 días, el cual es causado por diversos factores, el tratamiento de curado interno mostró mayor superioridad estadística en cuanto a resistencia a flexión tanto para ambos porcentajes superando el de 20% al de 10% con medias de 54.247 y 53.72 Kg/cm<sup>2</sup> seguida por el curado por inmersión que alcanzó una media de 45.780 Kg/cm<sup>2</sup>; y en general la propuesta supero a l curado patrón.

## **4.2. Interpretación de resultados**

### **4.2.1. Análisis de resultados para la variable dependiente de porcentaje de humedad**

De los datos obtenidos de las medias estadísticas de humedad retenida en el concreto a edades de 7, 14 y 28 días, se realizó la gráfica que se muestra en la Figura N° 33, con el fin de analizar la diferencia de retención de humedad en el concreto de nuestro curado propuesto con los otros curados de estudio

Figura N° 33: Grafica de retención de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 33 se observa como a la edad de 7 días el tratamiento que mantiene más humedad dentro de los especímenes de concreto fue el tratamiento con curado estándar sumergido en agua, donde se tuvo una media de porcentaje de humedad relativo de 10.21%, manteniéndose como el tratamiento con más porcentaje de humedad retenida en el concreto a la edad de 14 y 28 días.

En la siguiente tabla se analiza la diferencia de nuestra propuesta de curado interno con los otros curados estudiados referentes a la pérdida de humedad interna de los tratamientos (deseccación del concreto) en los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a edades de 7, 14 y 28 días. Esta tabla nos presenta cromáticamente la diferencia entre las medias de los tratamientos para poder observar cuanto varían en función de la propuesta con mejor resultado.

Tabla N° 59: Diferencia de las medias de humedad de la propuesta de curado Interno a edades de 7, 14 y 28 días.

TRATAMIENTO	EDAD DE 7 DÍAS			EDAD DE 14 DÍAS			EDAD DE 28 DÍAS		
	MEDIA (%)	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA MAYOR	MEDIA (%)	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA MAYOR	MEDIA (%)	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA MAYOR
<b>C. INMERSIÓN (T. PATRÓN)</b>	10.21 %	<b>A</b>	2.01 %	9.89 %	<b>A</b>	3.32 %	7.18 %	<b>A</b>	1.97 %
<b>C. ADITIVO</b>	5.10 %	<b>D</b>	-3.09 %	4.16 %	<b>C</b>	-2.41 %	3.62 %	<b>C</b>	-1.60 %
<b>C.I CON 5%</b>	5.88 %	<b>D</b>	-2.31 %	4.30 %	<b>C</b>	-2.26 %	4.14 %	<b>B C</b>	-1.07 %
<b>C.I CON 10%</b>	7.56 %	<b>C</b>	-0.63 %	4.80 %	<b>C</b>	-1.76 %	4.42 %	<b>B C</b>	-0.79 %
<b>C.I CON 20%</b>	8.20 %	<b>B</b>	P. MAYOR	6.56 %	<b>B</b>	P. MAYOR	5.21 %	<b>B</b>	P. MAYOR

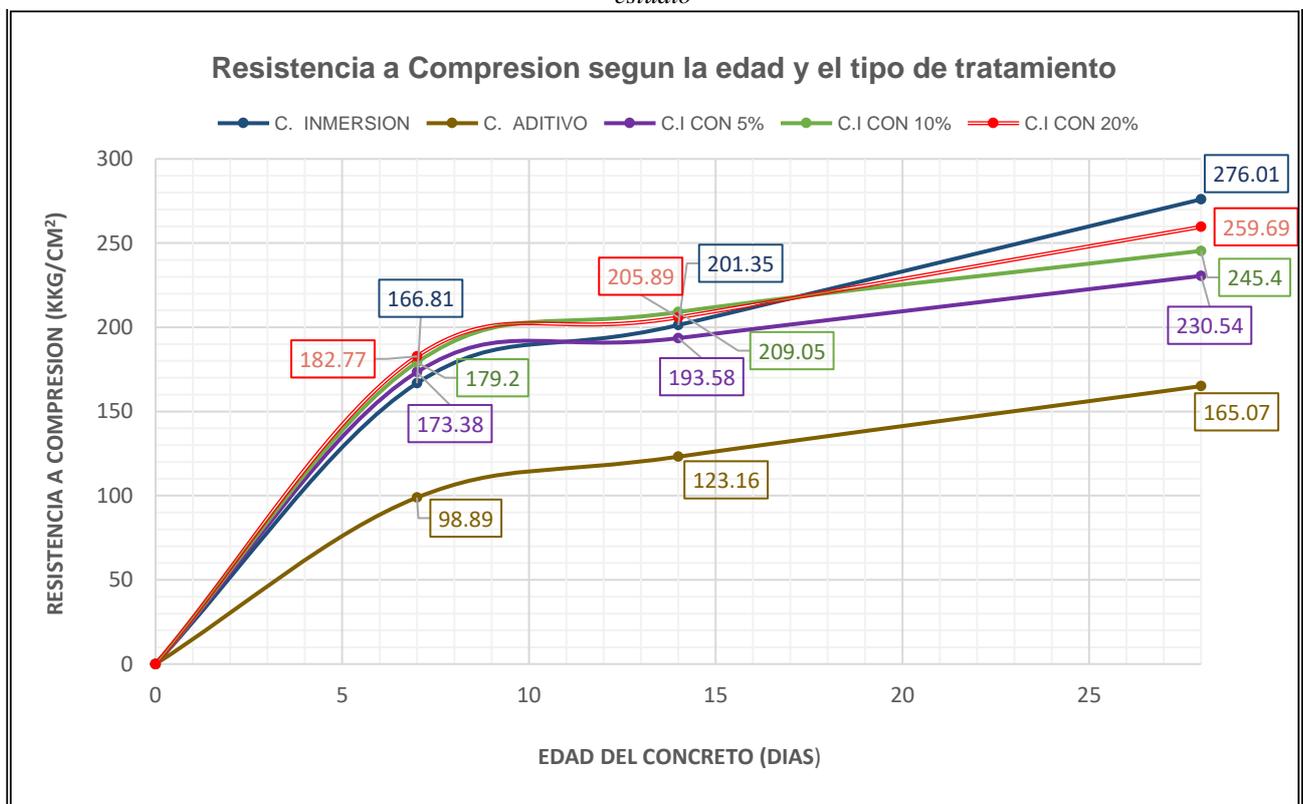
Fuente: Elaboración Propia

El tratamiento de curado interno retuvo una humedad de 8.20% a los 7 días, 6.56% a los 14 días y 5.21% a los 28 días, teniendo una retención de humedad cercana al tratamiento con curado sumergido, demostrando ser más eficiente en la retención de agua interna que el tratamiento de curado con aditivo

#### 4.2.2. Análisis para la variable dependiente de Resistencia a Compresión

De los datos obtenidos de las medias estadísticas de resistencia a compresión en el concreto a edades de 7, 14 y 28 días, se realizó la gráfica que se muestra en la Figura N° 34, con el fin de analizar la diferencia de resistencia a compresión en el concreto de nuestro curado propuesto con los otros curados de estudio; sobre todo al compararlo con el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón.

Figura N° 34: Grafica de Resistencia a compresión a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio

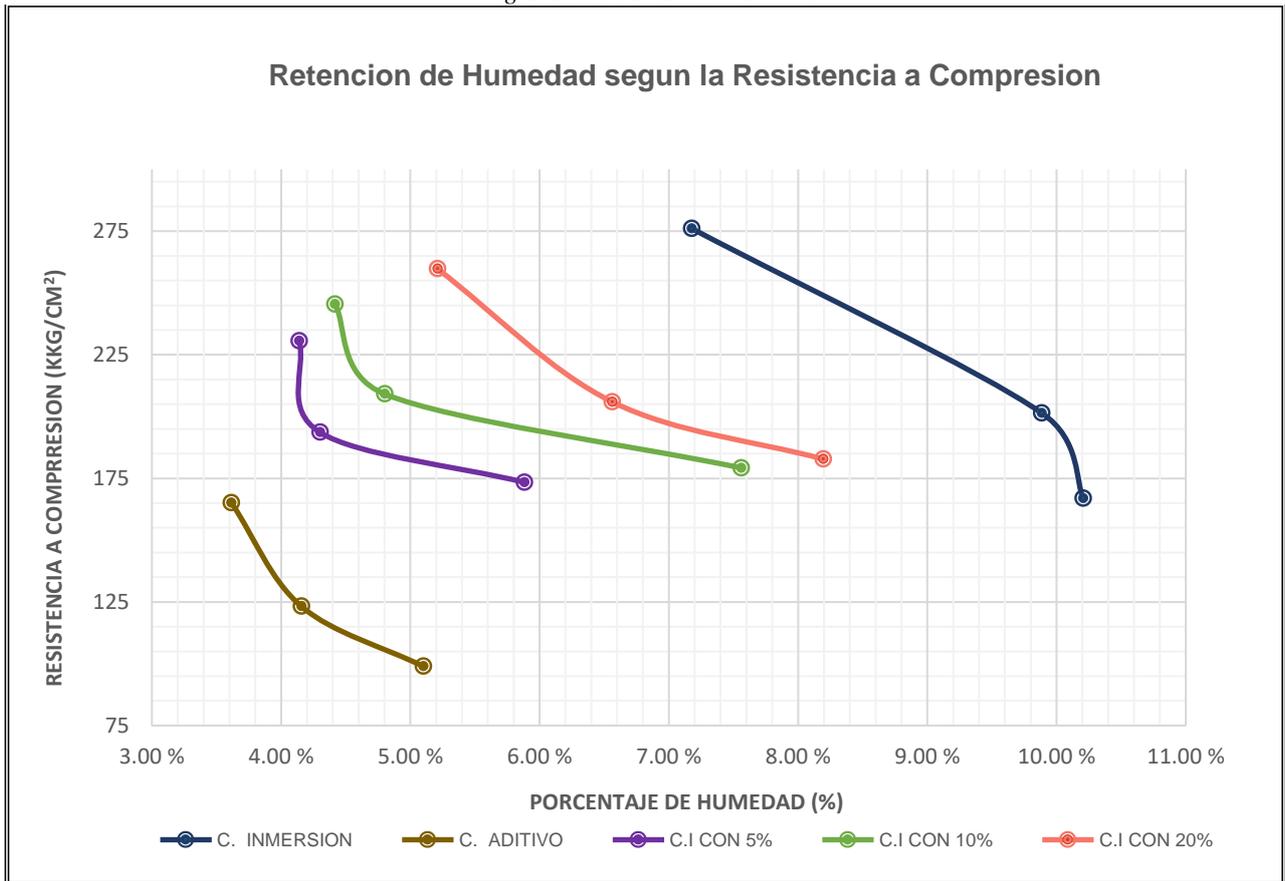


Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura N° 34 el curado interno obtuvo una menor resistencia a la compresión que el curado sumergido en agua a los 28 días, esto se explica por los factores climáticos y las condiciones ambientales de la intemperie a las que fue expuesto, sin embargo, la resistencia no fue superado para edades de 7 y 14 días, en donde nuestras propuesto obtuvo un mejor desempeño, por otro lado, el curado con aditivo alcanzó niveles de resistencia bastante bajos.

En la Figura N° 35 se presenta una gráfica en la que se observa la resistencia a compresión y sus porcentajes de humedad respectivos, de este grafica se puede concluir que a mayor resistencia de los tratamientos mayor es la humedad en su interior la que permite desarrollar la resistencia mencionada.

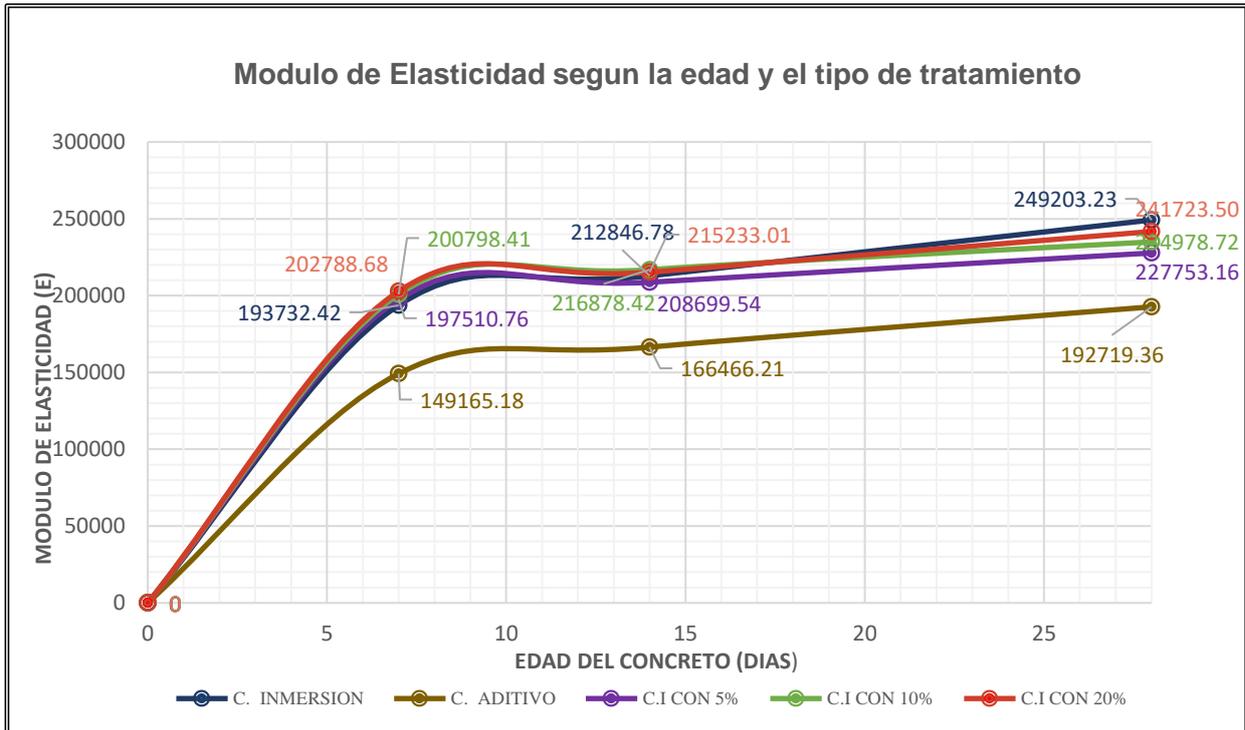
Figura N° 35: Gráfica de resistencia a compresión Vs. Porcentaje de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio



Fuente: Elaboración Propia

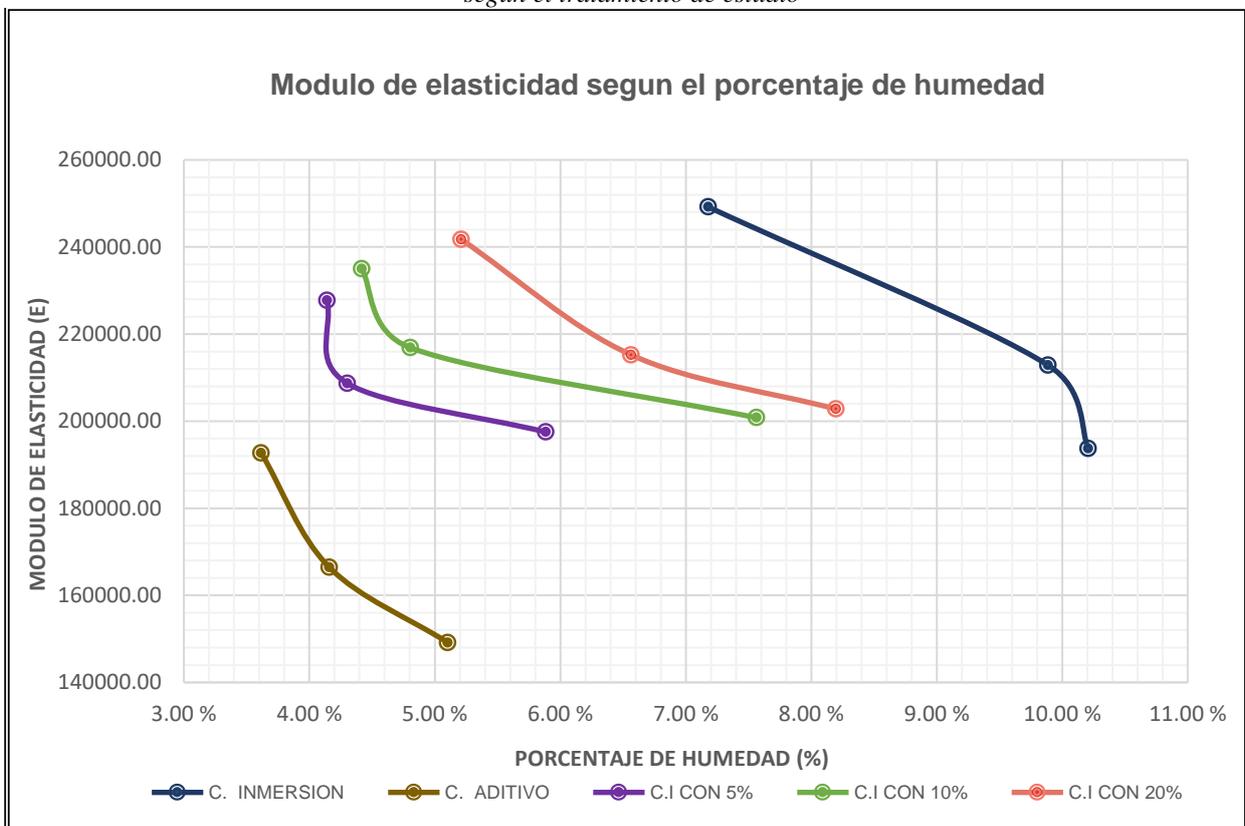
Es importa observar la relación que existe entre la resistencia y el porcentaje de humedad porque esto nos permite definir cómo se comporta el concreto habiendo más humedad interior, es evidente que el concreto con curado sumergido retiene más humedad, pero en el campo real este no es un método practico, sobre todo en climas con temperaturas elevadas, cuyas tasas de evaporación con muy altas. Por otro lado, el módulo de elasticidad es otra propiedad que debemos conocer, está relacionada directamente con la resistencia a la compresión y en la Figura N° 36 y 37 se observa la variación del módulo de elasticidad con la edad y la humedad retenida en el concreto.

Figura N° 36: Gráfica de módulo de elasticidad Vs. la edad del concreto y según el tratamiento de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 37: Gráfica de Modulo de elasticidad Vs. Porcentaje de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se analiza la diferencia de nuestra propuesta de curado interno con los otros curados estudiados referentes a la resistencia a compresión de los tratamientos (deseccación del concreto) en los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a edades de 7, 14 y 28 días. Esta tabla nos presenta cromáticamente la diferencia entre las medias de los tratamientos para poder observar cuanto varían en función de la propuesta con mejor resultado.

Tabla N° 60: Diferencia de las medias de Resistencia a Compresión con la resistencia a compresión especificada a edades de 7, 14 y 28 días.

TRATAMIENTO	EDAD DE 7 DÍAS			EDAD DE 14 DÍAS			EDAD DE 28 DÍAS		
	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA f <sub>c</sub> =210 Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA f <sub>c</sub> =210 Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA f <sub>c</sub> =210 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>C. INMERSIÓN (T. PATRÓN)</b>	166.81	<b>B</b>	79%	201.35	<b>A B</b>	96%	276.01	<b>A</b>	131%
<b>C. ADITIVO</b>	98.89	<b>C</b>	47%	123.16	<b>C</b>	59%	165.07	<b>E</b>	79%
<b>C.I CON 5%</b>	173.38	<b>A B</b>	83%	193.58	<b>B</b>	92%	230.54	<b>D</b>	110%
<b>C.I CON 10%</b>	179.20	<b>A</b>	85%	209.05	<b>A</b>	100%	245.40	<b>C</b>	117%
<b>C.I CON 20%</b>	182.77	<b>A</b>	87%	205.89	<b>A</b>	98%	259.69	<b>B</b>	124%

Fuente: Elaboración Propia

Se observa claramente como la propuesta fue efectiva en resistencia a compresión hasta la edad de 14 días en donde supero ampliamente al curado sumergido en agua, pero a los 28 días el curado por inmersión arrojo un mejor resultado, lo cual se explica por la humedad del ambiente y otros factores.

Tabla N° 61: Diferencia de las medias de Resistencia a Compresión de la propuesta de curado Interno a edades de 7, 14 y 28 días.

TRATAMIENTO	EDAD DE 7 DÍAS			EDAD DE 14 DÍAS			EDAD DE 28 DÍAS		
	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA DE C. I	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA DE C. I	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA DE C. I
<b>C. INMERSIÓN (T. PATRÓN)</b>	166.81	<b>B</b>	-15.96 Kg/cm <sup>2</sup> o -8.73 %	201.35	<b>A B</b>	-4.53 Kg/cm <sup>2</sup> o -2.20 %	276.01	<b>A</b>	16.32 Kg/cm <sup>2</sup> o 6.28 %
<b>C. ADITIVO</b>	98.89	<b>C</b>	-83.88 Kg/cm <sup>2</sup> o -45.89 %	123.16	<b>C</b>	-82.73 Kg/cm <sup>2</sup> o -40.18 %	165.07	<b>E</b>	-94.62 Kg/cm <sup>2</sup> o -36.43 %
<b>C.I CON 5%</b>	173.38	<b>A B</b>	-9.39 Kg/cm <sup>2</sup> o -5.13 %	193.58	<b>B</b>	-12.31 Kg/cm <sup>2</sup> o -5.97 %	230.54	<b>D</b>	-29.15 Kg/cm <sup>2</sup> o -11.223 %
<b>C.I CON 10%</b>	179.20	<b>A</b>	-3.57 Kg/cm <sup>2</sup> o -1.95 %	209.05	<b>A</b>	3.16 Kg/cm <sup>2</sup> o 1.53 %	245.40	<b>C</b>	-14.29 Kg/cm <sup>2</sup> o -5.50 %
<b>C.I CON 20%</b>	<b>182.77</b>	<b>A</b>	<b>100%</b>	<b>205.89</b>	<b>A</b>	<b>100%</b>	<b>259.69</b>	<b>B</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 62: Diferencia de las medias de Módulo de Elasticidad de la propuesta de curado Interno a edades de 7, 14 y 28 días.

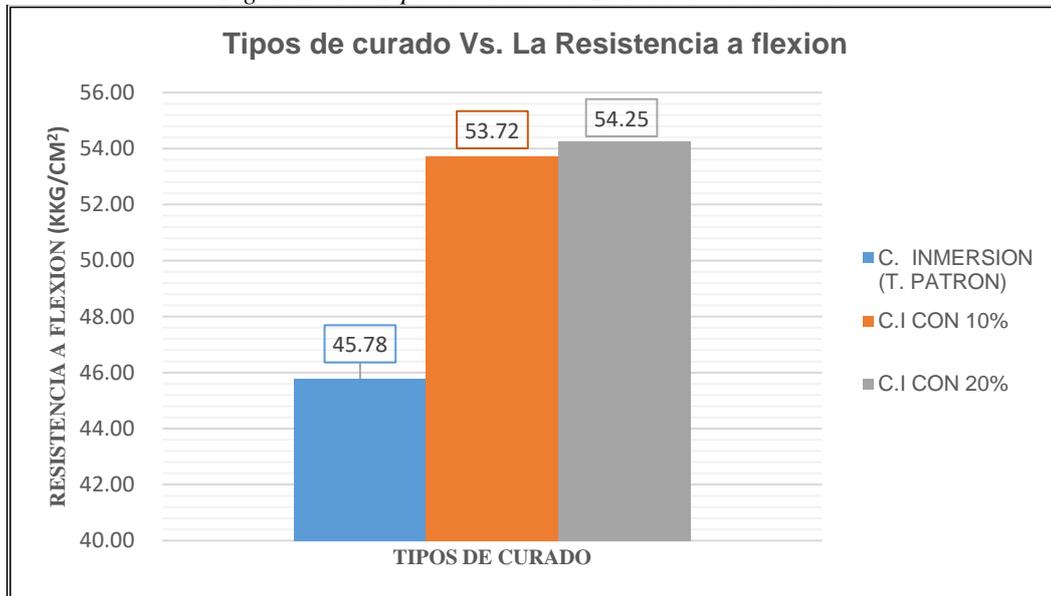
TRATAMIENTO	EDAD DE 7 DÍAS			EDAD DE 14 DÍAS			EDAD DE 28 DÍAS		
	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA DE C. I	MEDIA ME (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA DE C. I	MEDIA ME (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA DE C. I
<b>C. INMERSIÓN (T. PATRÓN)</b>	193732.42	<b>B</b>	-9056.26 Kg/cm <sup>2</sup> o -4.47 %	212846.78	<b>A B</b>	-2386.24 Kg/cm <sup>2</sup> o -1.11 %	249203.23	<b>A</b>	7479.73 Kg/cm <sup>2</sup> o 3.09 %
<b>C. ADITIVO</b>	149165.18	<b>C</b>	-53623.51 Kg/cm <sup>2</sup> o -26.44 %	166466.21	<b>C</b>	-48766.80 Kg/cm <sup>2</sup> o -22.66 %	192719.36	<b>E</b>	-49004.14 Kg/cm <sup>2</sup> o -20.27 %
<b>C.I CON 5%</b>	197510.76	<b>A B</b>	-5277.92 Kg/cm <sup>2</sup> o -2.60 %	208699.54	<b>B</b>	-6533.47 Kg/cm <sup>2</sup> o -3.04 %	227753.16	<b>D</b>	-13970.34 Kg/cm <sup>2</sup> o -5.78 %
<b>C.I CON 10%</b>	200798.41	<b>A</b>	-1990.28 Kg/cm <sup>2</sup> o -0.98 %	216878.42	<b>A</b>	1645.41 Kg/cm <sup>2</sup> o 0.76 %	234978.72	<b>C</b>	-6744.77 Kg/cm <sup>2</sup> o -2.79 %
<b>C.I CON 20%</b>	<b>202788.68</b>	<b>A</b>	<b>100%</b>	<b>215233.01</b>	<b>A</b>	<b>100%</b>	<b>241723.50</b>	<b>B</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3. Análisis para la variable dependiente de Resistencia a Flexión

De los datos obtenidos de las medias estadísticas de resistencia a compresión en el concreto a edad de 28 días, se observa a simple comparación que la propuesta establecida nos brinda un mejor resultado para esta variable

Figura N° 38: Tipo de curado Vs. La resistencia a Flexión



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 63: Diferencia de las medias de Resistencia a Flexión a edad de 28 días

EDAD DE 28 DÍAS			
TRATAMIENTO	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA f' c=210 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>C. INMERSIÓN (T. PATRÓN)</b>	45.78	<b>B</b>	22%
<b>C.I CON 10%</b>	53.72	<b>A</b>	26%
<b>C.I CON 20%</b>	54.25	<b>A</b>	26%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 64: Diferencia de las medias de Resistencia a Flexión con la propuesta de curado Interno a edad de 28 días

EDAD DE 28 DÍAS			
TRATAMIENTO	MEDIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	AGRUPACIÓN SEGÚN TUKEY	DIFERENCIA CON LA PROPUESTA DE C. I
<b>C. INMERSIÓN (T. PATRÓN)</b>	45.78	<b>B</b>	-8.467 Kg/cm <sup>2</sup> -15.60 %
<b>C.I CON 10%</b>	53.72	<b>A</b>	-0.52 Kg/cm <sup>2</sup> -0.97 %
<b>C.I CON 20%</b>	<b>54.25</b>	<b>A</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4. Comparación de resultados

##### a. Enfoque Técnico

Tabla N° 65: Tabla de contrastación de hipótesis de estudio.

HIPÓTESIS	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
A los 7, 14 y 28 días, el curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en porcentaje de reemplazo de agregado grueso (5%,10% y 20%) será más efectivo en retención de humedad del concreto, que el concreto con curado por inmersión y curado con aditivo y además tendrá mayor resistencia cuando mayor sea el porcentaje de reemplazo.	El concreto con el curado interno propuesto presentó 3.09% más de humedad que el curado con aditivo a los 7 días,2.41% más a los 14 días y 1.60% más a los 28 días. El concreto con el curado interno propuesto presentó 2.01% menos de humedad que el curado por inmersión a los 7 días,3.32% más a los 14 días y 1.97% más a los 28 días.	La Hipótesis es falsa
A los 7, 14 y 28 días, el curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en porcentaje de reemplazo de agregado grueso (5%,10% y 20%) será más efectivo en resistencia a la compresión del concreto, que el concreto con curado por inmersión y curado con aditivo y además tendrá mayor resistencia cuando mayor sea el porcentaje de reemplazo.	El concreto con el curado interno propuesto fue 45.89% mayor en resistencia a compresión que el curado con aditivo a los 7 días, 40.18% más a los 14 días y 36.43% más a los 28 días. El concreto con el curado interno propuesto fue 8.73% mayor en resistencia a compresión que el curado por inmersión a los 7 días, 2.20% mayor a los 14 días y 6.28% menor a los 28 días.	La Hipótesis es verdadera
A los 7, 14 y 28 días, el curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en porcentaje de reemplazo de agregado grueso (5%,10% y 20%) será más efectivo en módulo de elasticidad del concreto, que el concreto con curado por inmersión y curado con aditivo y además tendrá mayor resistencia cuando mayor sea el porcentaje de reemplazo.	El concreto con el curado interno propuesto fue 26.44% mayor en módulo de elasticidad que el curado con aditivo a los 7 días, 22.66% más a los 14 días y 20.27% más a los 28 días. El concreto con el curado interno propuesto fue 4.47% mayor en módulo de elasticidad que el curado por inmersión a los 7 días, 1.11% mayor a los 14 días y 3.09% menor a los 28 días.	La Hipótesis es verdadera
A los 28 días, el curado interno mediante adiciones de fragmentos de arcilla coccionada en porcentaje de reemplazo de agregado grueso (10% y 20%) será más efectivo en resistencia a flexión del concreto, que el concreto con curado por inmersión y además tendrá mayor resistencia cuando mayor sea el porcentaje de reemplazo.	El concreto con el curado interno propuesto fue 6% mayor en resistencia a flexión que el curado por inmersión a los 28 días.	La Hipótesis es verdadera

Fuente: Elaboración Propia

b. Enfoque Económico

La propuesta es factible económicamente, debido a la reducción de costos de aditivo y agregados el cual será reemplazado parcialmente por el fragmento de ladrillo, tomando en cuenta que este será obtenido mediante reciclaje. Asimismo, se reduce costos de mano de obra para el curado por metro cubico. Estos costos han sido calculados teniendo en cuenta los rendimientos ofrecidos por la CAPECO para la partida de concreto  $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$  en columnas, considerando el jornal para mano de obra a la fecha y los precios y dosificaciones por metro cubico, se realizó el análisis de costos unitarios para la propuesta, obteniéndose los costos presentados. El análisis de costos unitarios será presentado en los anexos.

Costo por  $\text{m}^3$ – Curado Común con Aditivo = S/ 478.49

Costo por  $\text{m}^3$ – Curado Interno = S/ 445.78

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

1. El curado interno mediante reemplazo de un porcentaje de agregado grueso por fragmentos de ladrillo saturado fue más efectivo en retención de humedad del concreto que los curados mediante uso de aditivo (al mostrar valores mayores en 3.09%; 2.41% y 1.60% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente, para el mayor porcentaje de reemplazo); pero, fue menos efectivo en la misma variable que el curado patrón de inmersión en agua (al mostrar valores menores en 2.01%; 3.32% y 1.97% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente).

2. El curado interno mediante reemplazo de un porcentaje de agregado grueso por fragmentos de ladrillo saturado fue más efectivo en aumento de resistencia a compresión del concreto que los otros tipos de curado. Respecto al curado con aditivo fue 45.89% superior a los 7 días, 40.18 % superior a los 14 días y 36.43% superior a los 28 días; respecto al curado por inmersión, fue 8.73% superior a los 7 días, 2.20% superior a los 14 días y a los 28 días fue 6.28% inferior.

3. El curado interno mediante reemplazo de un porcentaje de agregado grueso por fragmentos de ladrillo saturado fue más efectivo en aumento de resistencia a flexión del concreto que los otros tipos de curado. Respecto al curado por inmersión fue 6% superior a los 28 días.

## RECOMENDACIONES

En general, a raíz de esta investigación se puede hacer la recomendación a las empresas involucradas en la industria de la construcción que tomen en cuenta la propuesta de esta tesis, por haber dado buenos resultados, como se observa en las conclusiones, solo fue superado ligeramente por el curado por inmersión, cuya aplicación es bastante limitada. El curado interno propuesto es más eficaz que el curado con aditivo formador de membrana.

Asimismo, siguiendo en el camino de la investigación, este tema puede ser de base para profundizar en él y encontrar otras formas de curado, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. El comportamiento del concretos con adiciones aún más elevadas, para estudiar si es que con un porcentaje aún mayor la efectividad se incrementa, por otro lado, también podría ser de utilidad estudiar el comportamiento del concreto combinando este curado con un método de curado externo como se recomiendo siempre en la bibliografía encontrada, ya que esa propuesta, ha sido solamente con curado interno.
2. Se recomienda también utilizar este curado en concretos de mayor resistencia a compresión especificada, y con relaciones agua- cemento más bajas ya que en estos casos es donde el agua es más escasa y se requiere mayos agua para hidratar el concreto.
3. Estudiar la efectividad que tiene el curado interno combinando con otros curados superficiales.
4. El efecto de del curado interno referente a la aparición de fisuras de contracción mediante la medición de aparición de grietas en losas a escala en condiciones expuestas a la intemperie, en diferencia al curado mediante rociado con agua y por rociado de líquido formador de membrana.
5. Plantear alguna propuesta de concretos ensayados a una mayor edad, ya que como se observó en la bibliografía, el desarrollo de la resistencia se extiende hasta una edad avanzada.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ACI 214R-02. American Concrete Institute. 2002.** USA: Evaluation of Strength Test Results of Concrete Reported by ACI Committee 214, 2002.

**Aldana, Eder. 2014.** Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014, págs. 16, 20.

**ASTM C 150. ASTM International. 2012.** USA: Especificaciones estándar para cementos portland, 2012.

**ASTM C 31M-08a. ASTM Internacional. 2008.** USA: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra, 2008.

**ASTM C 39. ASTM International. 1999.** USA: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto, 1999.

**Bentz, D y Snyder, K. 1999.** Protected paste volume in concrete: extension to internal curing using saturated lightweight fine aggregates. USA: Cement and Composites Researche, 1999.

**Bentz, Dale y Weiss, Jason. 2011.** Internal curing: A 2010 State of the Art Review. EE.UU.: National Institute of, 2011.

**Copeland, L. E. y Bragg, R. H. 1955.** Research Department Bulletin RX052. *Self Desiccation in Portland Cement Pastes (Auto Desiccación de Pastas de Cemento Portland)*. USA: Portland Cement Association, 1955.

**Fuertes, Antonio. 2012.** Producción de concreto a partir de desechos de construcción de mampostería de arcilla. Bogotá, Colombia.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2012.

**Gonnerman, H. F. y Shuman, E. C. 1982.** Flexure and Tension (Ensayos de Flexión y Tensión del Concreto Simple). EE.UU.: Portland Cement Association, 1982, pág. 149 y 163.

**Hanson, J. A. 1968.** Effects of Curing and Drying Environments on Splitting Tensile Strength of Concrete (Efecto de los Ambientes de Curado y Secado sobre la Resistencia a la Tensión Indirecta del Concreto). USA : Portland, 1968, pág. 11.

**Jensen, O. y Hansen, P. 2002.** Water-Entrained Cement-Based Materials: II. Experimental Observations. Cement and Concrete Research. EE.UU.: s.n., 2002, págs. 973-978.

**Kosmatka, Steven, y otros. 2004.** Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Illinois, EE.UU: Portland Cement Association, 2004, págs. 261,262.

**Lange, David A. 1994.** Long-Term Strength Development of Concrete (Desarrollo de la Resistencia del Concreto a Largo Plazo). USA : Portland Cement Association, 1994.

**López, Mauricio, Kahn, Lawrence F. y Kurtis, Kimberly E. 2005.** Curado interno en hormigones de alto desempeño - un nuevo paradigma. Atlanta, U.S.A : s.n., 2005, págs. 117 - 126.

**Martinez, Diego. 2010.** Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el Sur de la Sabana de Bogotá. BOGOTÁ - COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2010.

**Neville, A.M. y Brooks, J.J.1998.** Tecnología del Concreto. México D.F. 1998

**Neville, A. 1996.** Properties of concrete. México D.F. 1996

*NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033* . INDECOPI. 2009. 3ra Edición, Lima, Perú: HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo, 2009.

*NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.088*. INDECOPI. 1982. Lima, Perú: HORMIGON (CONCRETO). Agua para morteros y hormigones de cementos Portland. Requisitos, 1982.

*NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.185*. INDECOPI. 2002. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad evaporable en agregados por secado, 2002.

*NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.018*. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (200) por lavado en agregados, 2002.

*NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021*. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso., 2002.

Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. **Solís, R. G, Moreno, E. I. y Arjona, E. Enero - Abril 2012.** 1, Yucatán, México: Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción- Universidad Autónoma de Yucatán, Enero - Abril 2012, Vol. 2.

**R.E. Philleo. 1991.** Concrete science and reality, in: J. Skalny, S. Mindess (Eds.). *Materials Science of Concrete II*. 1-8, s.l. : American Ceramic Society.1991.

**Rivva, Enrique. 2010.** CONCRETO, TOMO II: Diseño de Mezclas. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, 2010, págs. 12,26,28,29,53,57,61,83.

**Shohei, Seiki, y otros. 2010.** Effectiveness of Porous Ceramic Waste as an Internal Curing Material for Fly Ash Concrete. s.l. : Coventry University, 2010.

**Suzuki, Masashiro y Seddik, Mohammed. 2009.** Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high highperformance. Hiroshima, Japón : Hiroshima University, 2009.

**Tejada, Luis Matías. 2016.** Efectividad del curado interno del concreto Mediante la saturación del agregado grueso en comparación a otros tipos de curado. Cajamarca, Perú: UNC, 2016.

**Trujillo R., Raúl. 2011.** Uso de agregado ligero como medio de curado interno en concretos de alto comportamiento fabricado con puzolanas. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, España. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, 2011.

**S Weber, H.W. Reinhardt., 1997.** *A new generation of high performance concrete: concrete with autogenous curing*. 59-68, s.l.: Advances Cement Bases Materials. 1997.

**Zhoutovsky, Semion y Kovler, Konstantin. 2012.** Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete. Israel: Israel Institute of Technology, 2012.

**APÉNDICE A:  
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS**

**I ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS**

**I.1. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso:**

NTP 400.012, 400.037 / A.S.T.M -136

*Tabla A.I.1.1. Análisis Granulométrico de la Muestra N°01 para el agregado Grueso*

MUESTRA : M -1G		PESO SECO MENOR A N° 200: 21.00 gr.		MÓDULO DE FINURA: 6.709	
PESO INICIAL : 8,000					
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO EN (gr.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	548.00	6.85	6.85	93.15
1/2"	12.50	2236.00	27.95	34.80	65.20
3/8"	9.50	2466.00	30.83	65.63	34.38
N°4	4.75	2729.00	34.11	99.74	0.26
N°8	2.36	0.00	0.00	99.74	0.26
N°16	1.18	0.00	0.00	99.74	0.26
N°30	0.60	0.00	0.00	99.74	0.26
N°50	0.30	0.00	0.00	99.74	0.26
N°100	0.15	0.00	0.00	99.74	0.26
N°200	0.075	0.00	0.00	99.74	0.26
CAZOLETA	--	21.00	0.26	100.00	0.00
<b>PESO TOTAL DE MUESTRA</b>		<b>8000.00</b>			

*Figura A.I.1.1: Granulometría del agregado grueso de Muestra 01 – HUSO 67 de ASTM*

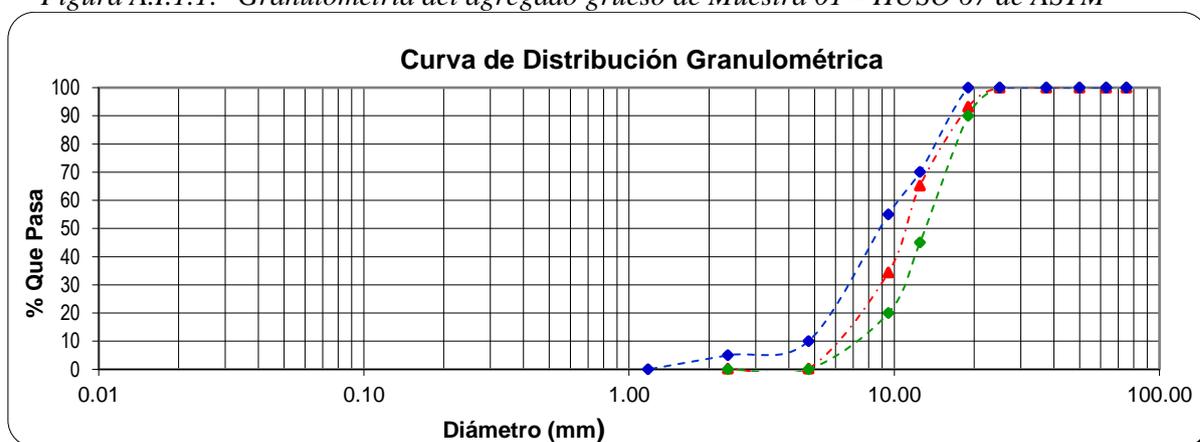


Tabla A.I.1.2. Análisis Granulométrico de la Muestra N°02 para el agregado Grueso

MUESTRA :		M - 2G	PESO SECO MENOR A N°		18.00 gr.	MÓDULO DE FINURA
PESO INICIAL :		8,000	200):			6.711
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO EN (gr.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)		
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.00	558.00	6.98	6.98	93.03	
1/2"	12.50	2217.00	27.71	34.69	65.31	
3/8"	9.50	2466.00	30.83	65.51	34.49	
N°4	4.75	2741.00	34.26	99.78	0.22	
N°8	2.36	0.00	0.00	99.78	0.22	
N°16	1.18	0.00	0.00	99.78	0.22	
N°30	0.60	0.00	0.00	99.78	0.22	
N°50	0.30	0.00	0.00	99.78	0.22	
N°100	0.15	0.00	0.00	99.78	0.22	
N°200	0.075	0.00	0.00	99.78	0.22	
CAZOLETA	--	18.00	0.23	100.00	0.00	
<b>PESO TOTAL DE MUESTRA</b>		<b>8000.00</b>				

Figura A.I.1.2: Granulometría del agregado grueso de Muestra 02 – HUSO 67 de ASTM

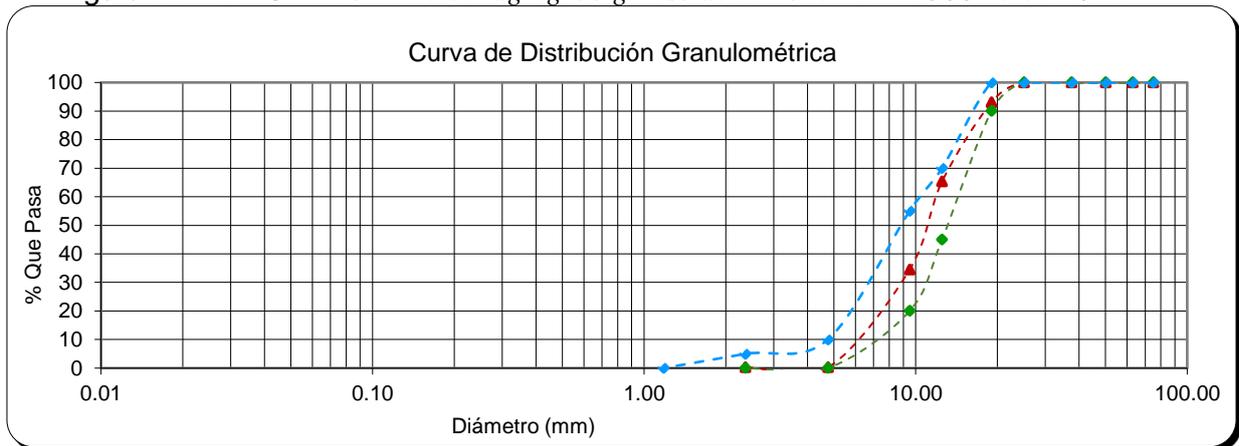
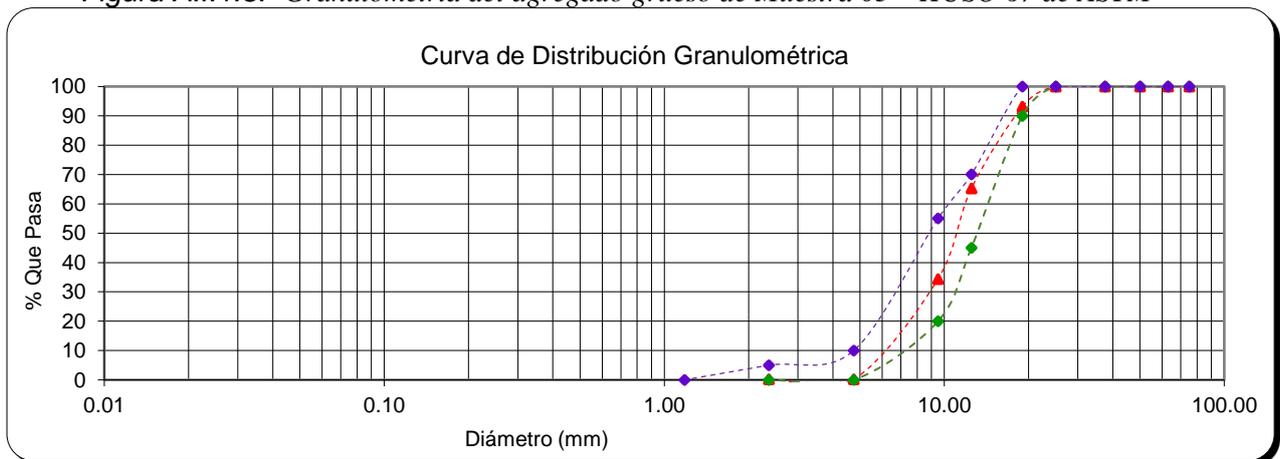


Tabla A.I.1.3. Análisis Granulométrico de la Muestra N°03 para el agregado Grueso

MUESTRA : M - 3G		PESO SECO MENOR A N° 15.00 gr.		MÓDULO DE FINURA 6.715	
PESO INICIAL : 8,000 gr		200:			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO EN (gr.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	554.00	6.93	6.93	93.08
1/2"	12.50	2221.00	27.76	34.69	65.31
3/8"	9.50	2477.00	30.96	65.65	34.35
N°4	4.75	2733.00	34.16	99.81	0.19
N°8	2.36	0.00	0.00	99.81	0.19
N°16	1.18	0.00	0.00	99.81	0.19
N°30	0.60	0.00	0.00	99.81	0.19
N°50	0.30	0.00	0.00	99.81	0.19
N°100	0.15	0.00	0.00	99.81	0.19
N°200	0.075	0.00	0.00	99.81	0.19
CAZOLETA	--	15.00	0.19	100.00	0.00
<b>PESO TOTAL DE MUESTRA</b>		<b>8000.00</b>			

Figura A.I.1.3: Granulometría del agregado grueso de Muestra 03 – HUSO 67 de ASTM



## I.2. Análisis Granulométrico del Agregado Fino:

NTP 400.012, 400.037 / A.S.T.M.C -136

Tabla A.I.2.1. Análisis Granulométrico de la Muestra N°01 para el agregado Fino

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA
MUESTRA : E-1		PESO SECO MENOR A N° 200:		36.00 gr.	MÓDULO DE FINURA 3.030
PESO INICIAL : 1,500.00 gr.					
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	145	9.67	9.67	90.33
N°8	2.36	181	12.07	21.73	78.27
N°16	1.18	355	23.67	45.40	54.60
N°30	0.60	201	13.40	58.80	41.20
N°50	0.30	285	19.00	77.80	22.20
N°100	0.15	177	11.80	89.60	10.40
N°200	0.075	120	8.00	97.60	2.40
CAZOLETA	--	36	2.40	100.00	0.00
<b>PESO TOTAL DE MUESTRA</b>		<b>1500.00</b>	<b>100.00</b>		

Figura A.I.2.1. Granulometría del agregado fino de Muestra 01 con HUSO de ASTM

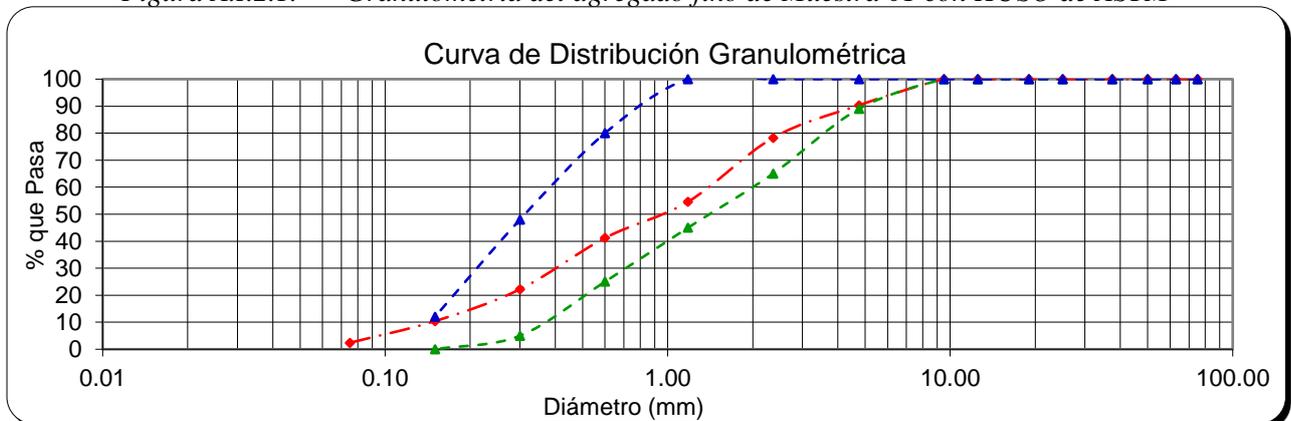


Tabla A.I.2.2. Análisis Granulométrico de la Muestra N°02 para el agregado Fino

<b>MUESTRA</b>	: E -2	<b>PESO SECO MENOR A N°</b>	32.00 gr.	<b>MÓDULO DE FINURA</b>	3.052
<b>PESO INICIAL</b>	: 1,500.00 gr.	<b>200:</b>			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	147	9.80	9.80	90.20
N°8	2.36	185	12.33	22.13	77.87
N°16	1.18	351	23.40	45.53	54.47
N°30	0.60	208	13.87	59.40	40.60
N°50	0.30	281	18.73	78.13	21.87
N°100	0.15	181	12.07	90.20	9.80
N°200	0.075	115	7.67	97.87	2.13
CAZOLETA	--	32	2.13	100.00	0.00
<b>PESO TOTAL DE MUESTRA</b>		<b>1500.00</b>	<b>100.00</b>		

Figura A.I.2.2. Granulometría del agregado fino de Muestra 02 con HUSO de ASTM

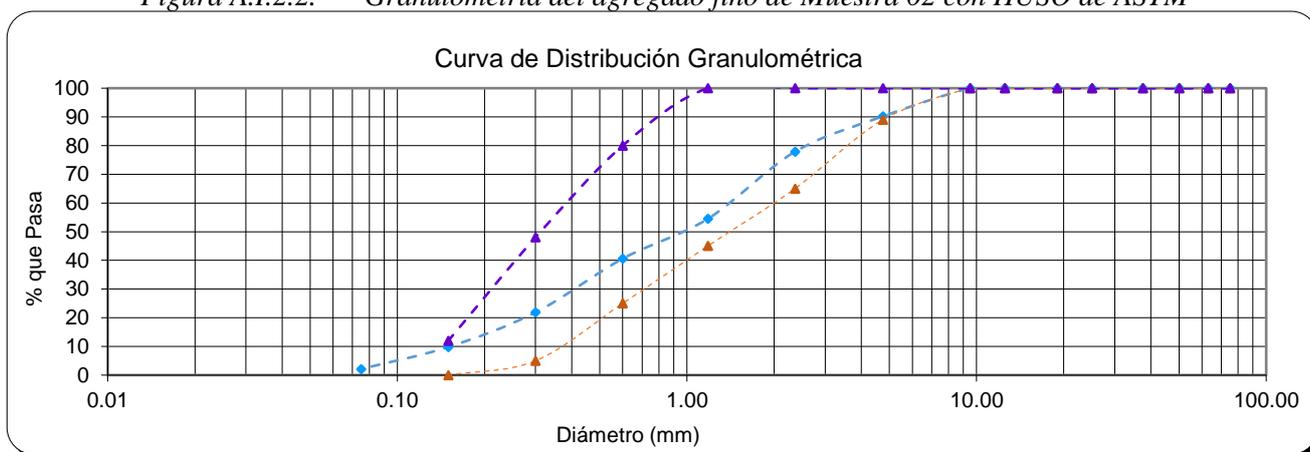
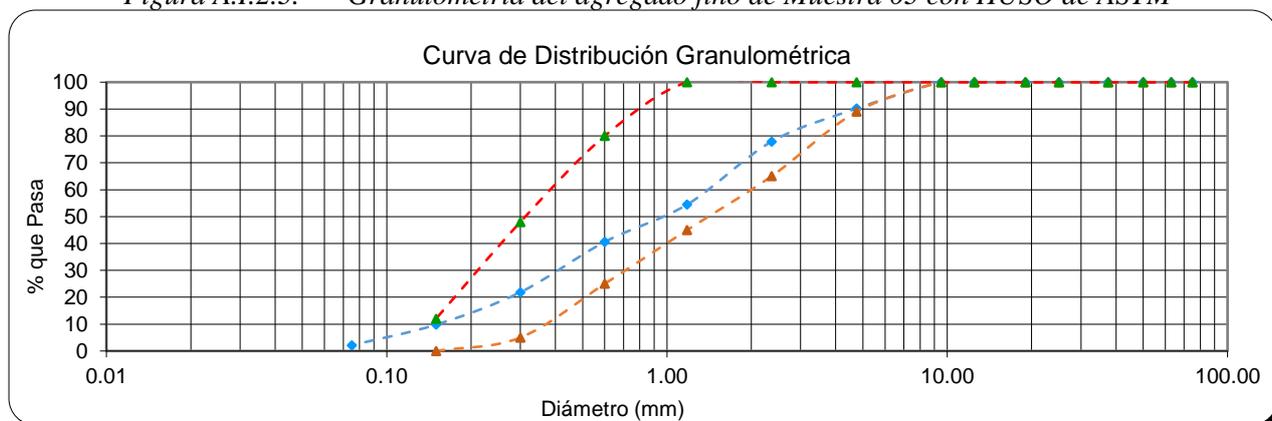


Tabla A.I.2.3. Análisis Granulométrico de la Muestra N°03 para el agregado Fino

<b>MUESTRA</b> :	E -3	<b>PESO SECO MENOR A N°</b>	38.00 gr.	<b>MÓDULO DE FINURA</b>	3.046
<b>PESO INICIAL</b> :	1,500.00 gr.	<b>200:</b>			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (g.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	151	10.07	10.07	89.93
N°8	2.36	184	12.27	22.33	77.67
N°16	1.18	344	22.93	45.27	54.73
N°30	0.60	213	14.20	59.47	40.53
N°50	0.30	277	18.47	77.93	22.07
N°100	0.15	174	11.60	89.53	10.47
N°200	0.075	119	7.93	97.47	2.53
CAZOLETA	--	38	2.53	100.00	0.00
<b>PESO TOTAL DE MUESTRA</b>		<b>1500.00</b>	<b>100.00</b>		

Figura A.I.2.3. Granulometría del agregado fino de Muestra 03 con HUSO de ASTM



### I.3. Módulo de finura del Agregado Grueso:

- Para la muestra 01:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acum. en mallas } 3, 1\frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , \frac{3}{8}'' , N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100}{100}$$

$$M.F_1 = \frac{6.85 + 65.63 + 99.74 + 99.74 + 99.74 + 99.74 + 99.74 + 99.74}{100} = \mathbf{6.709}$$

- Para la muestra 02:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acum. en mallas } 3, 1\frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , \frac{3}{8}'' , N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100}{100}$$

$$M.F_2 = \frac{6.98 + 65.51 + 99.78 + 99.78 + 99.78 + 99.78 + 99.78 + 99.78}{100} = \mathbf{6.711}$$

- Para la muestra 03:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acum. en mallas } 3, 1\frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , \frac{3}{8}'' , N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100}{100}$$

$$M.F_3 = \frac{6.93 + 65.65 + 99.81 + 99.81 + 99.81 + 99.81 + 99.81 + 99.81}{100} = \mathbf{6.715}$$

### I.4. Módulo de finura del Agregado Fino:

- Para la muestra 01:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acum. en mallas } N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100}{100}$$

$$M.F_1 = \frac{9.67 + 21.73 + 45.40 + 58.80 + 77.80 + 89.60}{100} = \mathbf{3.030}$$

- Para la muestra 02:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acum. en mallas } N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100}{100}$$

$$M.F_2 = \frac{9.80 + 22.13 + 45.53 + 59.40 + 78.13 + 90.20}{100} = \mathbf{3.052}$$

- Para la muestra 03:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acum. en mallas } N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100}{100}$$

$$M.F_3 = \frac{10.07 + 22.33 + 45.27 + 59.47 + 77.93 + 89.53}{100} = \mathbf{3.046}$$

## II. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

### II.1. Peso específico y absorción de Agregado Fino

Tabla A.II.1.1: *Peso Específico y Absorción del Agregado Fino*

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr.)	493.72	493.65	493.68	493.68
Volumen del frasco (cm <sup>3</sup> )	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr.)	309.90	309.70	310.15	309.92
Peso específico de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.597</b>	<b>2.594</b>	<b>2.600</b>	<b>2.597</b>
Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.630</b>	<b>2.627</b>	<b>2.634</b>	<b>2.630</b>
Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.686</b>	<b>2.684</b>	<b>2.690</b>	<b>2.686</b>
<b>Absorción (%)</b>	<b>1.272</b>	<b>1.286</b>	<b>1.280</b>	<b>1.279</b>

### II.2. Peso específico y absorción de Agregado Grueso

Tabla A.II.2.1: *Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso*

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr.)	2967.00	2966.50	2968.00	2967.17
Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr.)	3001.00	3000.00	3000.60	3000.53
Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	1862.00	1859.00	1863.00	1861.33
Peso específico de masa (g/cm <sup>3</sup> )	2.605	2.600	2.609	2.605
Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.635	2.629	2.638	2.634
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.685	2.679	2.686	2.683
<b>Absorción</b>	<b>1.146</b>	<b>1.129</b>	<b>1.098</b>	<b>1.125</b>

## III. MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DE LOS AGREGADOS

### III.1. Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Fino

Tabla A.III.1.1: *Material pasante de la malla N° 200 del Agregado Fino*

ENSAYO N°	1	2	3
Peso de la muestra original (gr)	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra lavada (gr)	478.00	479.00	478.72
Peso del material que pasa el tamiz n° 200 (gr)	22.00	21.00	21.28
% De material que pasa el tamiz n° 200	4.40%	4.20%	4.26%
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.29%</b>		

### III.2. Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Grueso

Tabla A.III.2.1: Material pasante de la malla N° 200 del Agregado Grueso

ENSAYO N°	1	2	3
Peso de la muestra original (gr)	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de la muestra lavada (gr)	2979.00	2981.00	2983.00
Peso del material que pasa el tamiz n° 200 (gr)	21.00	19.00	17.00
% de material que pasa el tamiz n° 200	0.70%	0.63%	0.57%
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.63%</b>	

### IV. ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Tabla A.IV.1. Determinación de la Resistencia a Abrasión del Agregado Grueso.

"GRADACIÓN B"				
MUESTRA		1	2	3
Tamiz		PESO (gr)	PESO (gr)	PESO (gr)
Pasa	Retenido			
3/4"	1/2"	2500	2500	2500
1/2"	3/8"	2500	2500	2500
Total		5000	5000	5000
Retenido en el tamiz n°12		3603	3608	3610
% De desgaste		27.94	27.84	27.80
<b>PROMEDIO</b>			<b>27.86</b>	

## V. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

### V.1. Peso unitario del Agregado Fino: NTP 400.017, 400.037 / ASTM.C -29

Tabla A.V.1.1. Determinación del Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del recipiente (gr.)	4555.00	4555.00	4555.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (gr.)	9153.00	9155.00	9146.00	
Peso de la muestra suelta (gr.)	4598.00	4600.00	4591.00	
Factor (f)	336.2	336.2	336.2	
Peso Unitario Suelto (gr. /cm <sup>3</sup> )	1.546	1.547	1.543	<b>1.545</b>
<b>Peso Unitario Suelto (Kg. /cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1546</b>	<b>1547</b>	<b>1543</b>	<b>1545</b>

Tabla A.V.1.2. Determinación del Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del recipiente (gr.)	4555.00	4555.00	4555.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (gr.)	9512.00	9515.00	9518.00	
Peso de la muestra suelta (gr.)	4957.00	4960.00	4963.00	
Factor (f)	336.2	336.2	336.2	
Peso Unitario Suelto (gr. /cm <sup>3</sup> )	1.667	1.668	1.669	<b>1.668</b>
<b>Peso Unitario Compactado (Kg. /cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1667</b>	<b>1668</b>	<b>1669</b>	<b>1668</b>

### IV.2. Peso unitario del Agregado Grueso: NTP 400.017, 400.037 / ASTM.C -29

Tabla A.V.2.1. Determinación del Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.

DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del recipiente (gr.)	4205.00	4205.00	4205.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (gr.)	17133.00	17145.00	17142.00	
Peso de la muestra suelta (gr.)	12928.00	12940.00	12937.00	
Factor (f)	102.44	102.44	102.44	
Peso Unitario Suelto (gr. /cm <sup>3</sup> )	1.324	1.326	1.325	1.325
<b>Peso Unitario Suelto (Kg. /cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1324</b>	<b>1326</b>	<b>1325</b>	<b>1325</b>

Tabla A.V.2.2. Determinación del Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.

DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del recipiente (gr.)	4205.00	4205.00	4205.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (gr.)	18277.00	18270.00	18285.00	
Peso de la muestra suelta (gr.)	14072.00	14065.00	14080.00	
Factor (f)	102.44	102.44	102.44	
Peso Unitario Suelto (gr. /cm <sup>3</sup> )	1.442	1.441	1.442	1.442
<b>Peso Unitario Compactado (Kg. /cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1442</b>	<b>1441</b>	<b>1442</b>	<b>1442</b>

**APÉNDICE B:  
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL LADRILLO TRITURADO  
PARA EL CURADO INTERNO**

**I. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL LADRILLO**

**I.1. Peso específico y absorción del ladrillo a 3 días de saturación**

*Tabla B.I.1.1. Peso Específico y Absorción del Ladrillo saturado por 03 días*

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr.)	2697.00	2698.00	2699.00	2698.00
Volumen del frasco (cm3)	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00
Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr.)	1665.00	1662.00	1663.00	1663.33
Peso específico de masa (gr/cm3)	2.020	2.016	2.019	2.018
Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm3)	2.247	2.242	2.244	2.244
Peso específico aparente (gr/cm3)	2.613	2.604	2.605	2.608
<b>Absorción (%)</b>	<b>11.235</b>	<b>11.193</b>	<b>11.152</b>	<b>11.193</b>

**I.2. Peso específico y absorción del ladrillo a 5 días de saturación**

*Tabla B.I.2.1. Peso Específico y Absorción del Ladrillo saturado por 05 días*

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr.)	2645.00	2646.00	2647.00	2646.00
Volumen del frasco (cm3)	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00
Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr.)	1634.00	1633.00	1632.00	1633.00
Peso específico de masa (gr/cm3)	1.936	1.936	1.935	1.936
Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm3)	2.196	2.195	2.193	2.195
Peso específico aparente (gr/cm3)	2.616	2.612	2.608	2.612
<b>Absorción (%)</b>	<b>13.422</b>	<b>13.379</b>	<b>13.336</b>	<b>13.379</b>

### I.3. Peso específico y absorción del ladrillo a 7 días de saturación

Tabla B.I.3.1. *Peso Específico y Absorción del Ladrillo saturado por 07 días*

<b>ENSAYO</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>PROMEDIO</b>
Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr.)	3298.00	3297.00	3299.00	3298.00
Volumen del frasco (cm <sup>3</sup> )	3741.00	3740.00	3742.00	3741.00
Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr.)	2038.00	2037.00	2039.00	2038.00
Peso específico de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	1.937	1.936	1.937	1.937
Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.197	2.196	2.197	2.197
Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.617	2.617	2.618	2.617
<b>Absorción (%)</b>	<b>13.432</b>	<b>13.436</b>	<b>13.428</b>	<b>13.432</b>

**APÉNDICE C:**  
**DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS**

---

**I. Selección de la Resistencia Promedio.**

Las mezclas de concreto siempre deben diseñarse para una resistencia de diseño promedio cuyo valor es siempre superior al de la resistencia de diseño especificada ( $f'c$ ). La diferencia entre ambas resistencias está dada y se determina en función al grado de control de uniformidad y de la calidad del concreto [Rivva, 2010:38] Empleando el criterio cuando no se cuenta con un registro de ensayos de resistencia en obra y tomando en cuenta que siempre existe dispersión debido a las condiciones de la ejecución de obra, se tiene lo siguiente:

Condición de la ejecución en obra	Relación aproximada entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño $f'cr/f'c$
Excelentes	1.15
Intermedias	1.20 a 1.25
Corrientes	1.35 a 1.60

$$f'cr = 1.2 \times 210 \frac{Kg}{cm^2} = 252 \frac{Kg}{cm^2}$$

**II. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso**

*El Tamaño Máximo Nominal (TMN) se determinó mediante el análisis de granulometría del agregado grueso, de este ensayo obtuvimos el valor de TMN de 3/4”.*

**III. Selección del asentamiento**

*El asentamiento o slump elegido fue de 3” a 4” para poder obtener una consistencia plástica del concreto no endurecido.*

**IV. Selección del volumen unitario de agua de diseño.**

La tabla IV.1 siguiente ha sido preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI. Ella permite seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados en estado seco, en concretos preparados con o sin aire incorporado; teniendo como factores a ser considerados la consistencia que se desea para la mezcla y el TMN del agregado grueso seleccionado.

**Consideraciones:** Slump deseado: 3" a 4", TMN del agregado grueso:  $\frac{3}{4}$ ", Aire incorporado: Concreto Sin Aire Incorporado

Tabla IV.1: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes valores del asentamiento y Tamaño Máximo Nominal del Agregado.

Agua, en Lts/m <sup>3</sup> para los tamaños Max. Nominales de Agregado Grueso y consistencia								
Asentamiento	Tamaño Máximo del Agregado							
	3/8"	1"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
<b>Concreto Sin Aire Incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
<b>Concreto Con Aire Incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	50	142	122	107
3" a 4"	202	193	84	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	17	166	154	---

- Esta tabla ha sido confeccionada por el Comité 211 del ACI
- Los valores de esta tabla se emplearán en la determinación del factor cemento en mezclas preliminares de prueba. Son valores máximos corresponden a agregado grueso de granulometría comprendida dentro de los límites de la Norma ASTM C 33.
- En aquellos casos que el agregado posee características que obligan al aumento de volumen de agua, deberá aumentarse igualmente el contenido de cemento a fin de mantener invariable la relación agua/cemento.
- Si el agregado posee características tales que permiten el empleo de cantidades menores de agua que las indicadas en la tabla, se recomienda no modificar la relación agua/cemento.

Se tiene como agua de mezclado: 205 Lts/m<sup>3</sup>

## V. Selección del contenido de aire

La tabla V.1 da el porcentaje de aire atrapado, para mezclas sin aire incorporado, tomando en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

**Consideraciones:** Grado de Exposición: Normal, TMN del agregado grueso: 3/4"

Tabla V.1: Contenido de Aire Atrapado

Concreto sin aire incorporado								
Tamaño Máximo nominal A°	3/8"	1"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Aire Atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20

Se tiene como porcentaje de aire atrapado: 2.00%

## VI. Selección de la relación agua / cemento por resistencia.

La tabla VI.1 da valores aproximados y relativamente conservadores para concretos con cemento portland normal Tipo I. Para materiales que cumplen con las Normas ASTM C 33 o NTP 400.037, las relaciones agua/cemento de esta tabla deberían permitir obtener las

resistencias indicadas, las cuales corresponden a probetas ensayadas a los 28 días de vaciadas después de ser curadas bajo condiciones estándar de laboratorio.

**Consideraciones:** Concreto Sin Aire Incorporado,  $f'_{cr}$ : 252 Kg/cm<sup>2</sup>

Tabla VI.1: Relación Agua / Cemento por resistencia

f' c a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua / Cemento en peso	
	Concreto Sin Aire Incorporado	Concreto Con Aire Incorporado
150	0.79	0.70
200	0.69	0.60
250	0.61	0.52
300	0.54	0.45
350	0.47	0.39
400	0.42	-----
450	0.38	-----

- Esta tabla es una adaptación de la confeccionada por el Comité 211 del ACI
- La resistencia corresponde a resultados ensayados en probetas cilíndricas estándar de 15 x 30 cm preparadas y curadas de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C 31.
- Las relaciones agua/cemento se basan en tamaños máximos nominales del agregado grueso comprendidos entre 3/4" y 1". La resistencia producida por una relación agua/cemento dada deberá incrementarse conforme al tamaño máximo nominal disminuye.

Interpolamos para determinar la relación para nuestro caso:

$$\begin{array}{rcl}
 f'_{cr} & A/C & \\
 250 \text{ Kg/cm}^2 & \rightarrow & 0.61 \\
 \mathbf{252 \text{ Kg/cm}^2} & \rightarrow & \mathbf{0.62} \\
 200 \text{ Kg/cm}^2 & \rightarrow & 0.69
 \end{array}$$

Relación A/C: **0.62**

## VII. Determinación del Factor Cemento.

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua/cemento, se puede determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante la división del volumen unitario de agua, expresada en litros por metro cúbico, entre la relación agua/cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Volumen Unitario de Agua}}{\text{Relacion A/C}} = \frac{205}{0.62} = 332.15 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Bolsas de Cemento} = \frac{332.15}{42.5} = 7.8152 \frac{\text{bolsas}}{\text{m}^3}$$

### VIII. Determinación del Volumen absoluto de la pasta.

Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos de estos materiales:

$$\text{Vol. absoluto de Cemento} = \frac{332.15}{3100} = 0.106 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. absoluto de Agua} = \frac{205}{1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. de aire} = \frac{2.0\%}{100} = 0.02 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volum. absolutos de pasta} = 0.3315 \text{ m}^3$$

### IX. Determinación del Volumen del agregado global.

El volumen absoluto del agregado es igual a la unidad menos el volumen absoluto de la pasta:

$$\text{Vol. absoluto de Agregados} = 1 - 0.3315 = 0.6685 \text{ m}^3$$

### X. Cálculo del Módulo de Fineza de la combinación de Agregados.

Con la ayuda de la siguiente tabla, encontramos un valor de módulo de fineza de la combinación de agregados.

Tabla X.1: Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en bolsas/metro cúbico indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	3.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Interpolamos para determinar el módulo de fineza de la combinación de agregados para nuestra cantidad de bolsas de cemento:

$$\begin{array}{l} \text{BOLSA CEMENTO} \quad \text{MOD. FINEZA} \\ 7.8152 \text{ Bolsas} \rightarrow 5.097 \end{array}$$

#### XI. Corrección del Módulo de Fineza de la combinación de Agregados por vacíos.

De la tabla anterior, se toma en cuenta que, en ella se hace una pequeña aclaración, que dice que los valores están referidos para un agregado adecuadamente gradado. con contenido de vacíos del 35%, en caso no se tiene este valor los módulos deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o aumento en el porcentaje de vacíos, tomando en cuenta esta observación, corregimos:

$$\% \text{ de vacios} = \left(1 - \frac{P_{unit.compact.}}{P_{em}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{1442}{2605}\right) \times 100 = 44.645\%$$

$$\% \text{ de vacios} = 44.645\% > 35\%$$

$$F.C = \frac{(0.1 \times (\% \text{ de vacios} - 35\%))}{5} = 0.193$$

$$M.F.C.A_{\text{corregido}} = M.F.C.A - F.C = 5.097 - 0.193 = 4.904$$

#### XII. Calcular el valor de $r_f$

Conocido el valor del módulo de fineza de la combinación de agregados se puede determinar el porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado. Para ello aplicaremos la ecuación siguiente:

$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \times 100$$

Donde:

$m$ : Modulo de fineza de la combinacion de agregados

$m_f$ : Modulo de fineza del agregado fino

$m_g$ : Modulo de fineza del agregado grueso

$r_f$ : Porcentaje de agregado fino en relacion al volumen absoluto total de agregado.

$r_g$ : Porcentaje de agregado grueso en relacion al volumen absoluto total de agregado.

Reemplazando Obtenemos:

$$rf: 49.273 \%$$
$$rg: 100\% - 49.273 \% = 50.727\%$$

**XIII. Cálculo de volúmenes absolutos de los agregados:**

$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Fino: } 0.6685 \times 49.273\% = 0.3294 \text{ m}^3$$
$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Grueso: } 0.6685 \times 50.727\% = 0.3391 \text{ m}^3$$

**XIV. Cálculo de pesos secos de los agregados:**

$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Fino: } 0.3294 \times 2.597 = 855.48 \text{ Kg/m}^3$$
$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Grueso: } 0.3391 \times 2.605 = 883.43 \text{ Kg/m}^3$$

**XV. Valores de diseño del cemento, agua, aire y agregados:**

Las cantidades de materiales, calculadas por el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, a ser empleados como valores de diseño serán:

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>205 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Seco:</i>	<i>855.48 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Seco:</i>	<i>883.43 Kg/m<sup>3</sup></i>

**XVI. Corrección de humedad de los agregados:**

Calculamos pesos húmedos de los agregados

$$\text{Peso humedo del Agregado Fino: } 855.48 \times (1 + (6.41)/100) = 910.316 \text{ Kg/m}^3$$
$$\text{Peso humedo del Agregado Grueso: } 883.43 \times (1 + (1.04)/100) = 892.618 \text{ Kg/m}^3$$

La humedad superficial de los agregados será:

$$\text{Humedad superficial del Agregado Fino: } 6.41\% - 1.28\% = 5.13\%$$
$$\text{Humedad superficial del Agregado Grueso: } 1.04\% - 1.13\% = -0.09\%$$

Determinamos el aporte de humedad de los agregados

$$\text{Aporte de humedad del Agregado Fino: } 855.48 \times 5.13\% = 43.89 \text{ Lts/m}^3$$

*Aporte de humedad del Agregado Grueso:*  $883.43 \times -1.13\% = -0.75\text{Lts}/\text{m}^3$

***Total de Aporte de humedad de los Agregados:* 43.14 Lts/m<sup>3</sup>**

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba, cabe mencionar que este diseño será utilizado para el tratamiento de curado por inmersión y curado empleando el aditivo Membranil Reforzado.

#### DISEÑO PATRÓN

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.86 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>892.62 Kg/m<sup>3</sup></i>

En esta etapa es donde los curados empiezan a diferir, pues una vez corregidos los agregados, se hace un reemplazo del agregado grueso para adicionar el material, ladrillo saturado, que curara internamente al concreto, teniendo en cuenta los volúmenes absolutos de ambos componentes para no afectar el volumen unitario ni tampoco la humedad de los agregados. Es así que tenemos las dosificaciones para los tres porcentajes de reemplazo.

#### DISEÑO A 5% DE REEMPLAZO

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.82 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>847.99 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>32.828 Kg/m<sup>3</sup></i>

#### DISEÑO A 10% DE REEMPLAZO

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.78 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>803.36 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>65.656 Kg/m<sup>3</sup></i>

#### DISEÑO A 20% DE REEMPLAZO

<i>Cemento:</i>	<i>332.15 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>161.71 Lts/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>910.32 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>714.10 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>131.311 Kg/m<sup>3</sup></i>

Volumen a fabricar en laboratorio para 05 especímenes cilíndricos por la capacidad de la mezcladora, además considerando una prueba de consistencia con cono de Abrams. (0.030 m<sup>3</sup>):

#### DISEÑO PATRÓN

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.856 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>26.779 Kg/tanda</i>

#### DISEÑO A 5% DE REEMPLAZO

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.855 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>25.440 Kg/tanda</i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>0.984 Kg/tanda</i>

#### DISEÑO A 10% DE REEMPLAZO

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.853 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>24.101 Kg/tanda</i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>1.970 Kg/tanda</i>

#### DISEÑO A 20% DE REEMPLAZO

<i>Cemento:</i>	<i>9.964 Kg/tanda</i>
<i>Agua de diseño:</i>	<i>4.853 Lts/tanda</i>
<i>Agregado Fino Húmedo:</i>	<i>27.310 Kg/tanda</i>
<i>Agregado Grueso Húmedo:</i>	<i>21.423 Kg/tanda</i>
<i>Ladrillo triturado:</i>	<i>3.939 Kg/tanda</i>

**APÉNDICE D:  
ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO**

**I. RESULTADOS PARA EL CURADO POR INMERSIÓN**

*Tabla D.I.1: Determinación del peso unitario del concreto fresco- Curado por inmersión*

<b>PROPIEDAD: PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO</b>			
<b>NORMA : ASTM C 138 / NTP 339.046</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE MOLDE (g)	11695.000	8655.000	8715.000
PESO DE MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	25129.000	21672.000	21596.000
DIÁMETRO DE MOLDE (Cm)	14.955	15.130	14.925
ALTURA DE MOLDE	30.460	30.290	30.180
VOLUMEN DE MOLDE (Cm3)	5350.474	5445.862	5280.043
<b>PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)</b>	<b>2.511</b>	<b>2.390</b>	<b>2.440</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.447</b>		

**II. RESULTADOS PARA EL CURADO CON ADITIVO MEMBRANIL  
REFORZADO**

*Tabla D.II.1: Determinación del peso unitario del concreto fresco- Curado con aditivo*

<b>PROPIEDAD: PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO</b>			
<b>NORMA : ASTM C 138 / NTP 339.046</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE MOLDE (g)	8621.000	8697.000	8726.000
PESO DE MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	21509.000	21568.000	21593.000
DIÁMETRO DE MOLDE (Cm)	15.220	15.130	15.180
ALTURA DE MOLDE	30.460	30.290	30.180
VOLUMEN DE MOLDE (Cm3)	5541.773	5445.862	5462.008
<b>PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)</b>	<b>2.326</b>	<b>2.363</b>	<b>2.356</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.348</b>		

### III. RESULTADOS PARA EL CURADO INTERNO CON REEMPLAZO DEL 5%

Tabla D.III.1: Determinación del peso unitario del concreto fresco- Curado Interno 5%

<b>PROPIEDAD: PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO</b>			
<b>NORMA : ASTM C 138 / NTP 339.046</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE MOLDE (g)	4200.000	4200.000	4200.000
PESO DE MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	26940.000	26911.000	26997.000
VOLUMEN DE MOLDE (Cm3)	9660.000	9660.000	9660.000
<b>PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)</b>	<b>2.354</b>	<b>2.351</b>	<b>2.360</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>2.355</b>	

### IV. RESULTADOS PARA EL CURADO INTERNO CON REEMPLAZO DEL 10%

Tabla D.IV.1: Determinación del peso unitario del concreto fresco- Curado Interno 10%

<b>PROPIEDAD: PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO</b>			
<b>NORMA : ASTM C 138 / NTP 339.046</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE MOLDE (g)	4200.000	4200.000	4200.000
PESO DE MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	26467.000	26450.000	26480.000
VOLUMEN DE MOLDE (Cm3)	9660.000	9660.000	9660.000
<b>PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)</b>	<b>2.305</b>	<b>2.303</b>	<b>2.306</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>2.305</b>	

### V. RESULTADOS PARA EL CURADO INTERNO CON REEMPLAZO DEL 20%

Tabla D.V.1: Determinación del peso unitario del concreto fresco- Curado Interno 20%

<b>PROPIEDAD: PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO</b>			
<b>NORMA : ASTM C 138 / NTP 339.046</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE MOLDE (g)	4200.000	4200.000	4200.000
PESO DE MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	25735.000	25769.000	25532.000
VOLUMEN DE MOLDE (Cm3)	9660.000	9660.000	9660.000
<b>PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)</b>	<b>2.229</b>	<b>2.233</b>	<b>2.208</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>2.223</b>	

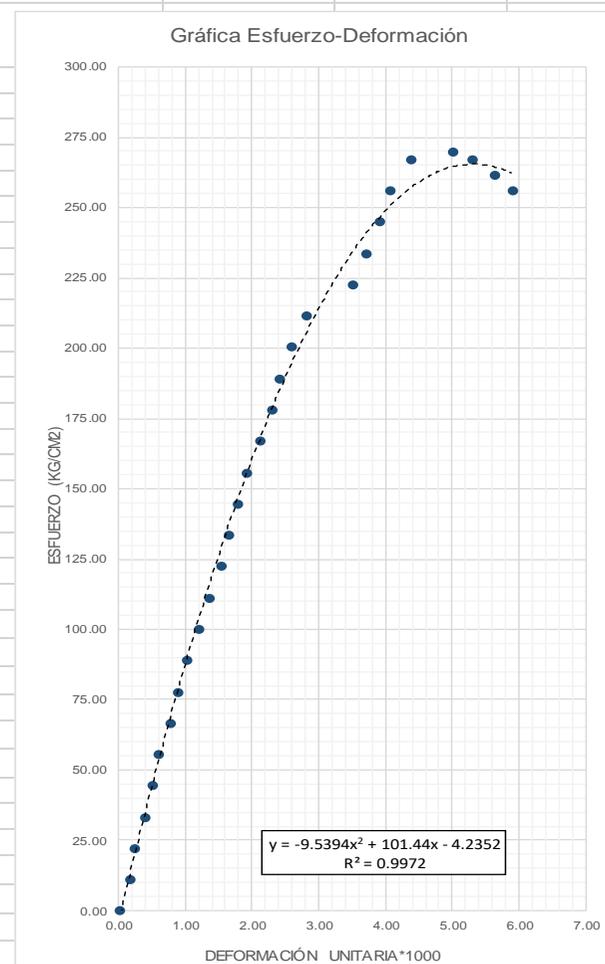
## APÉNDICE E: GRAFICA ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN

### PROBETA 01: TRATAMIENTO PATRON- 28DIAS

h(cm)=	30.21	d(cm)=	15.120
t(min)=	2.68	Vcarga (Tn/s)=	0.30
Carga ulti.(tn)=	48.50	Peso (Kg)	12.87

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.05	11.139	0.1655	16.395
3	4000	0.07	22.278	0.2317	22.807
4	6000	0.12	33.416	0.3972	38.471
5	8000	0.15	44.555	0.4965	47.619
6	10000	0.18	55.694	0.5958	56.578
7	12000	0.23	66.833	0.7613	71.092
8	14000	0.27	77.971	0.8937	82.327
9	16000	0.31	89.110	1.0262	93.227
10	18000	0.36	100.249	1.1917	106.382
11	20000	0.41	111.388	1.3572	119.015
12	22000	0.46	122.526	1.5227	131.125
13	24000	0.50	133.665	1.6551	140.437
14	26000	0.54	144.804	1.7875	149.414
15	28000	0.58	155.943	1.9199	158.057
16	30000	0.64	167.081	2.1185	170.393
17	32000	0.69	178.220	2.2840	180.099
18	34000	0.73	189.359	2.4164	187.488
19	36000	0.78	200.498	2.5819	196.253
20	38000	0.85	211.636	2.8136	207.646
21	40000	1.06	222.775	3.5088	235.680
22	42000	1.12	233.914	3.7074	241.996
23	44000	1.18	245.053	3.9060	247.560
24	46000	1.23	256.192	4.0715	251.621
25	48000	1.32	267.330	4.3694	257.615
<b>26</b>	<b>48500</b>	<b>1.51</b>	<b>270.115</b>	<b>4.9983</b>	<b>264.708</b>
27	48000	1.60	267.330	5.2963	265.433
28	47000	1.70	261.761	5.6273	264.254
29	46000	1.78	256.192	5.8921	261.805

Ecuac. Esfuerzo:	-9.5394	X <sup>2</sup>	101.44	X	-4.2352
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9972				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	270.11				
Mod. Elasticidad:	246527.618				
Ecuac. Corregida:	-9.5394	X <sup>2</sup>	100.64	X	0

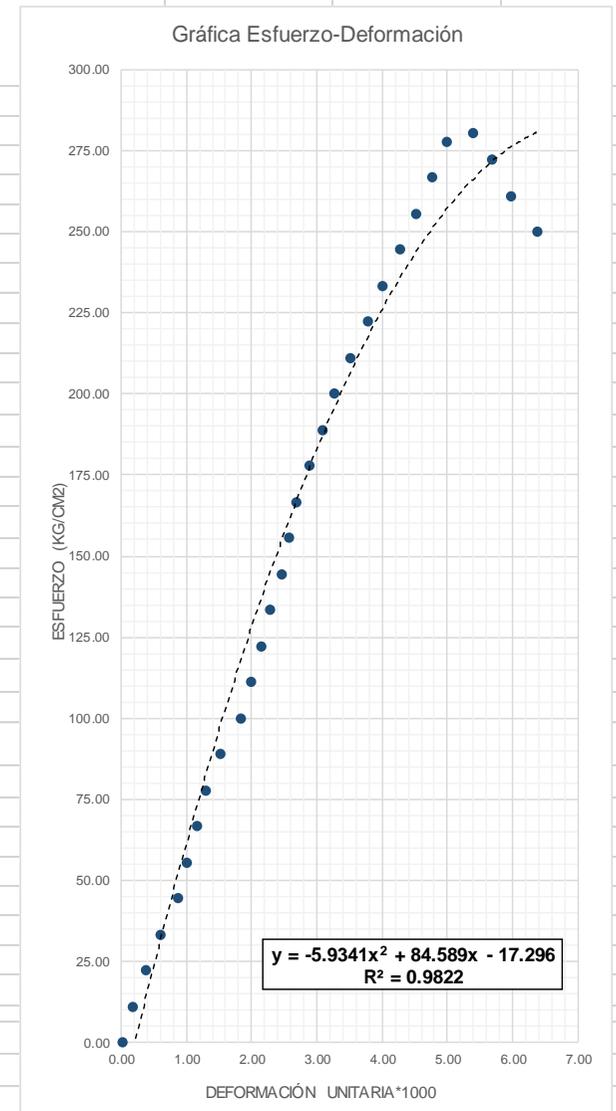


**PROBETA 02: TRATAMIENTO PATRON- 28DIAS**

h(cm)=	30.31	d(cm)=	15.130
t(min)=	2.73	Vcarga (Tn/s)=	0.31
Carga ul. (tn)=	50.50	Peso (Kg)	12.925

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.05	11.124	0.1650	<b>13.386</b>
3	4000	0.11	22.248	0.3629	29.024
4	6000	0.18	33.372	0.5939	46.679
5	8000	0.26	44.496	0.8578	66.082
6	10000	0.30	55.620	0.9898	75.473
7	12000	0.35	66.744	1.1547	86.922
8	14000	0.39	77.868	1.2867	95.848
9	16000	0.46	88.992	1.5177	110.972
10	18000	0.55	100.116	1.8146	129.486
11	20000	0.60	111.240	1.9795	139.320
12	22000	0.65	122.364	2.1445	148.831
13	24000	0.69	133.489	2.2765	156.207
14	26000	0.74	144.613	2.4414	165.136
15	28000	0.78	155.737	2.5734	172.047
16	30000	0.81	166.861	2.6724	177.095
17	32000	0.87	177.985	2.8703	186.842
18	34000	0.93	189.109	3.0683	196.123
19	36000	0.99	200.233	3.2662	204.939
20	38000	1.06	211.357	3.4972	214.637
21	40000	1.14	222.481	3.7611	224.946
22	42000	1.21	233.605	3.9921	233.287
23	44000	1.29	244.729	4.2560	242.045
24	46000	1.37	255.853	4.5200	249.977
25	48000	1.44	266.977	4.7509	256.238
26	50000	1.51	278.101	4.9819	261.867
<b>27</b>	<b>50500</b>	<b>1.63</b>	<b>280.882</b>	<b>5.3778</b>	<b>270.044</b>
28	49000	1.72	272.539	5.6747	274.955
29	47000	1.81	261.415	5.9716	278.820
30	45000	1.93	250.291	6.3675	282.346

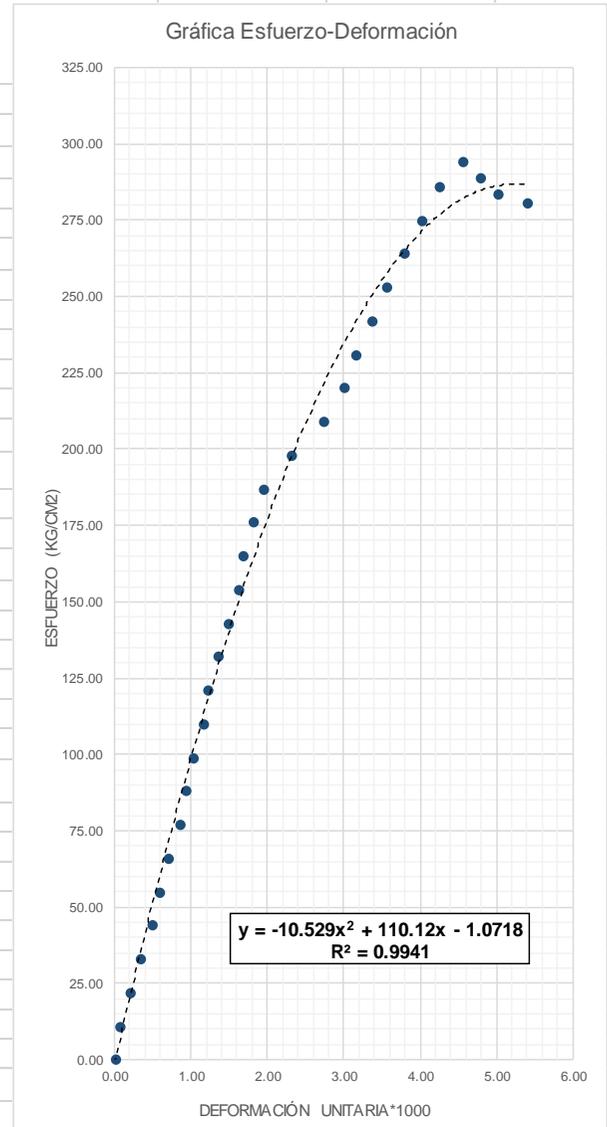
Ecuac. Esfuerzo:	-5.934	X <sup>2</sup>	84.589	X	-17.296
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9822				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	280.88				
Mod. Elasticidad:	251393.048				
Ecuac. Corregida:	-5.934	X <sup>2</sup>	82.13	X	0



**PROBETA 03: TRATAMIENTO PATRON- 28DIAS**

h(cm)=	30.35	d(cm)=	15.210
t(min)=	2.92	Vcarga (Tn/s)=	0.31
Carga ulti.(tn)=	53.50	Peso (Kg)	13.112

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.02	11.007	0.0659	7.197
3	4000	0.06	22.015	0.1977	21.318
4	6000	0.10	33.022	0.3295	35.073
5	8000	0.15	44.029	0.4942	51.752
6	10000	0.18	55.037	0.5931	61.485
7	12000	0.21	66.044	0.6919	71.012
8	14000	0.26	77.051	0.8567	86.434
9	16000	0.28	88.059	0.9226	92.443
10	18000	0.31	99.066	1.0214	101.284
11	20000	0.35	110.073	1.1532	112.753
12	22000	0.37	121.081	1.2191	118.350
13	24000	0.41	132.088	1.3509	129.270
14	26000	0.45	143.095	1.4827	139.824
15	28000	0.49	154.103	1.6145	150.012
16	30000	0.51	165.110	1.6804	154.969
17	32000	0.55	176.117	1.8122	164.609
18	34000	0.59	187.125	1.9440	173.883
19	36000	0.70	198.132	2.3064	197.500
20	38000	0.83	209.139	2.7348	221.845
21	40000	0.91	220.147	2.9984	234.907
22	42000	0.96	231.154	3.1631	242.327
23	44000	1.02	242.161	3.3608	250.477
24	46000	1.08	253.169	3.5585	257.804
25	48000	1.15	264.176	3.7891	265.311
26	50000	1.22	275.183	4.0198	271.699
27	52000	1.29	286.191	4.2504	276.966
<b>28</b>	<b>53500</b>	<b>1.38</b>	<b>294.446</b>	<b>4.5470</b>	<b>282.093</b>
29	52500	1.45	288.942	4.7776	284.800
30	51500	1.52	283.439	5.0082	286.387
31	51000	1.64	280.687	5.4036	286.501

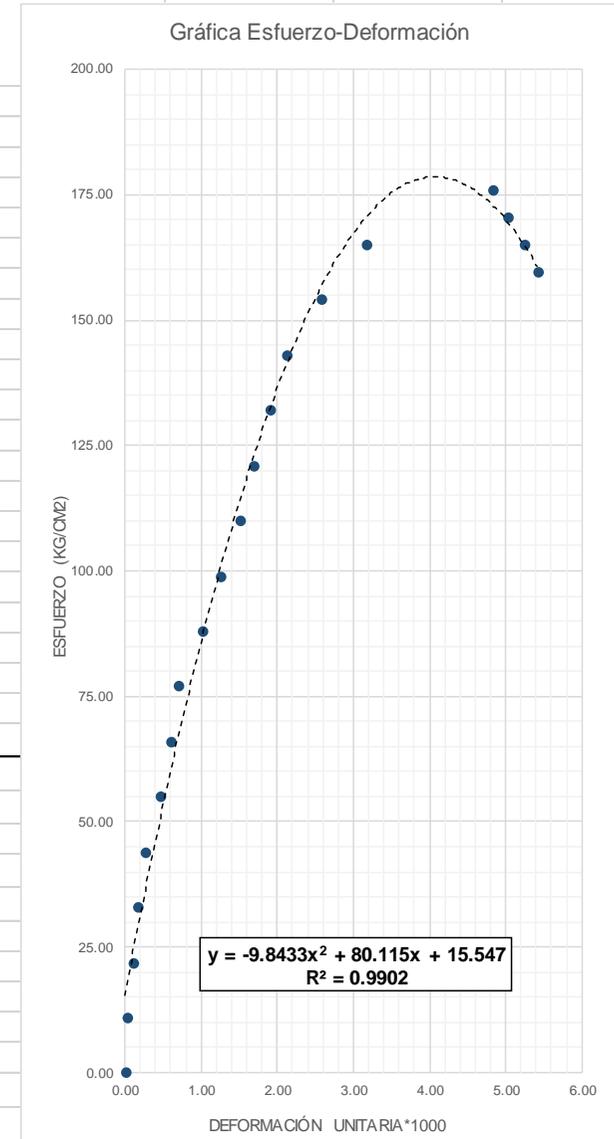


Ecuac. Esfuerzo:	-10.529	X <sup>2</sup>	110.12	X	-1.0718
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9941				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	294.45				
Mod. Elasticidad:	257391.487				
Ecuac. Corregida:	-10.529	X <sup>2</sup>	109.91	X	0

**PROBETA 01: TRATAMIENTO CON ADITIVO- 28DIAS**

h(cm)=	30.28	d(cm)=	15.120
t(min)=	2.68	Vcarga (Tn/s)=	0.20
Carga ul. (tn)=	32.00	Peso (Kg)	12.58

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.01	11.007	0.0330	2.758
3	4000	0.03	22.015	0.0991	8.211
4	6000	0.05	33.022	0.1651	13.577
5	8000	0.08	44.029	0.2642	21.466
6	10000	0.14	55.037	0.4624	36.663
7	12000	0.18	66.044	0.5945	46.365
8	14000	0.21	77.051	0.6935	53.417
9	16000	0.31	88.059	1.0238	75.525
10	18000	0.38	99.066	1.2550	89.724
11	20000	0.46	110.073	1.5192	104.662
12	22000	0.51	121.081	1.6843	113.301
13	24000	0.58	132.088	1.9155	124.493
14	26000	0.64	143.095	2.1136	133.249
15	28000	0.78	154.103	2.5760	150.674
16	30000	0.96	165.110	3.1704	166.894
17	32000	1.46	176.117	4.8217	175.447
18	31000	1.52	170.614	5.0198	172.866
19	30000	1.59	165.110	5.2510	168.879
20	29000	1.64	159.606	5.4161	165.386



Ecuac. Esfuerzo: -9.8433      X<sup>2</sup>      80.115      X      15.547

Coef. Correlacion: R<sup>2</sup> = 0.9902

Esf. Rotura (Kg/cm2): 176.12

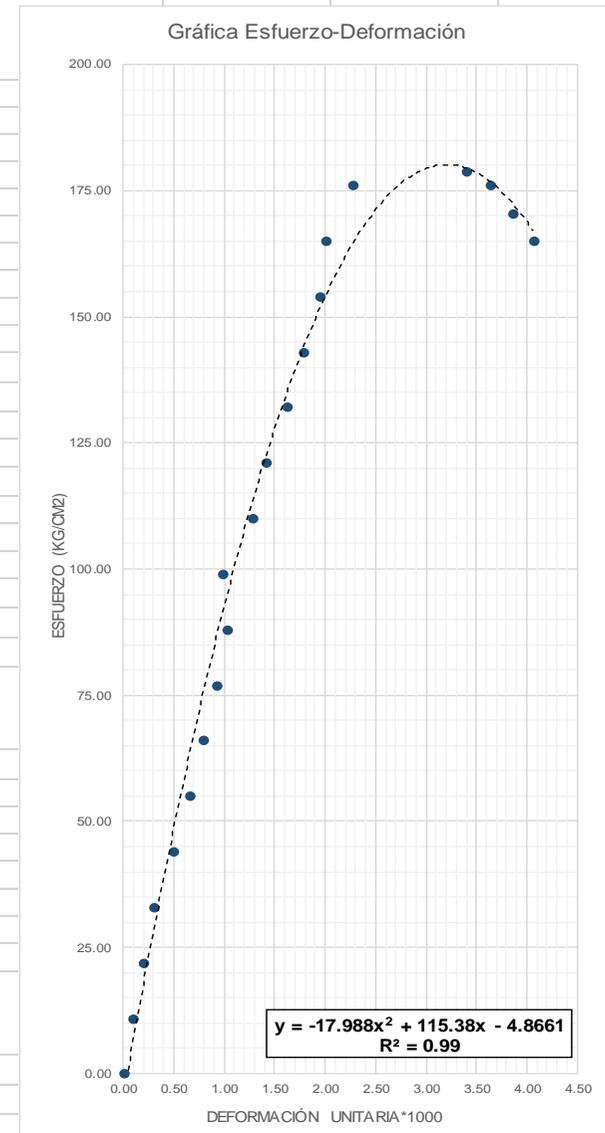
Mod. Elasticidad: 199063.794

Ecuac. Corregida: -9.8433      X<sup>2</sup>      83.85      X      0

**PROBETA 02: TRATAMIENTO CON ADITIVO- 28DIAS**

h(cm)=	30.31	d(cm)=	15.130
t(min)=	2.73	Vcarga (Tn/s)=	0.20
Carga ul. (tn)=	32.50	Peso (Kg)	12.925

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT. *1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.03	11.007	0.0991	11.103
3	4000	0.06	22.015	0.1982	21.854
4	6000	0.09	33.022	0.2972	32.251
5	8000	0.15	44.029	0.4954	51.986
6	10000	0.20	55.037	0.6605	67.352
7	12000	0.24	66.044	0.7926	78.939
8	14000	0.28	77.051	0.9247	89.899
9	16000	0.31	88.059	1.0238	97.706
10	18000	0.30	99.066	0.9908	95.143
11	20000	0.39	110.073	1.2880	116.800
12	22000	0.43	121.081	1.4201	125.405
13	24000	0.49	132.088	1.6182	137.135
14	26000	0.54	143.095	1.7834	145.831
15	28000	0.59	154.103	1.9485	153.547
16	30000	0.61	165.110	2.0145	156.358
17	32000	0.69	176.117	2.2787	166.035
<b>18</b>	<b>32500</b>	<b>1.03</b>	<b>178.869</b>	<b>3.4016</b>	<b>179.144</b>
19	32000	1.10	176.117	3.6328	176.213
20	31000	1.17	170.614	3.8639	171.358
21	30000	1.23	165.110	4.0621	165.667

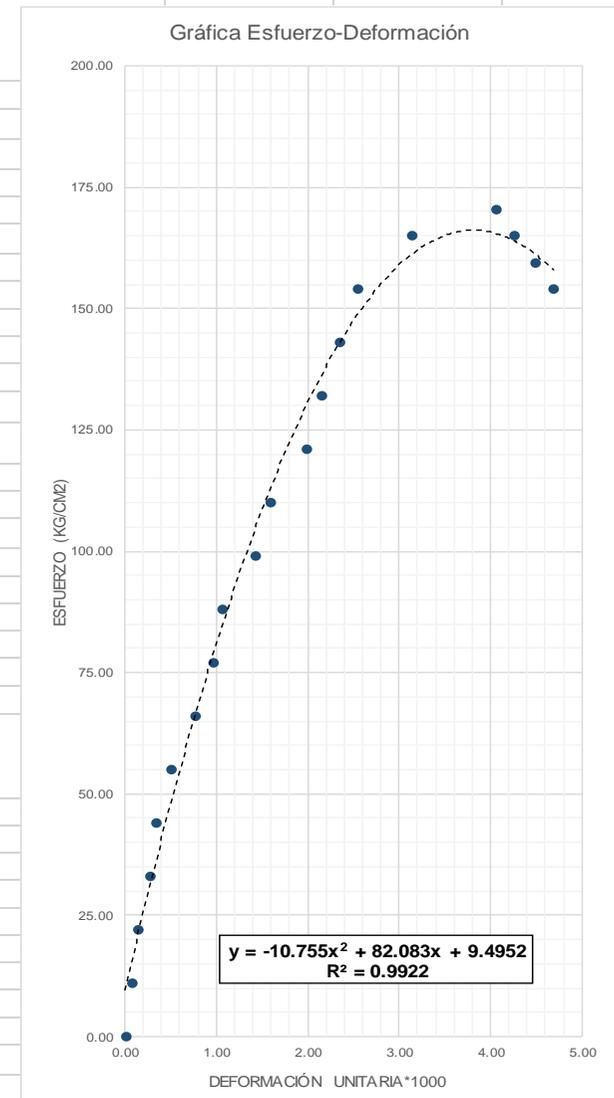


Ecuac. Esfuerzo:	-17.988	$x^2$	115.38	X	-4.8661
Coef. Correlacion:			$R^2 = 0.99$		
Esf. Rotura (Kg/cm2):			178.87		
Mod. Elasticidad:			200612.952		
Ecuac. Corregida:	-17.988	$x^2$	113.85	X	0

**PROBETA 03: TRATAMIENTO CON ADITIVO- 28DIAS**

h(cm)=	30.26	d(cm)=	15.210
t(min)=	1.29	Vcarga (Tn/s)=	0.40
Carga ulti.(tn)=	31.00	Peso (Kg)	12.95

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.02	11.007	0.0661	5.537
3	4000	0.04	22.015	0.1321	10.979
4	6000	0.08	33.022	0.2642	21.583
5	8000	0.10	44.029	0.3303	26.745
6	10000	0.15	55.037	0.4954	39.237
7	12000	0.23	66.044	0.7596	58.005
8	14000	0.29	77.051	0.9577	71.096
9	16000	0.32	88.059	1.0568	77.325
10	18000	0.43	99.066	1.4201	98.357
11	20000	0.48	110.073	1.5852	106.979
12	22000	0.60	121.081	1.9815	125.278
13	24000	0.65	132.088	2.1466	131.905
14	26000	0.71	143.095	2.3448	139.084
15	28000	0.77	154.103	2.5429	145.419
16	30000	0.95	165.110	3.1374	159.354
<b>17</b>	<b>31000</b>	<b>1.23</b>	<b>170.614</b>	<b>4.0621</b>	<b>165.924</b>
18	30000	1.29	165.110	4.2602	164.938
19	29000	1.36	159.606	4.4914	162.722
20	28000	1.42	154.103	4.6896	159.906

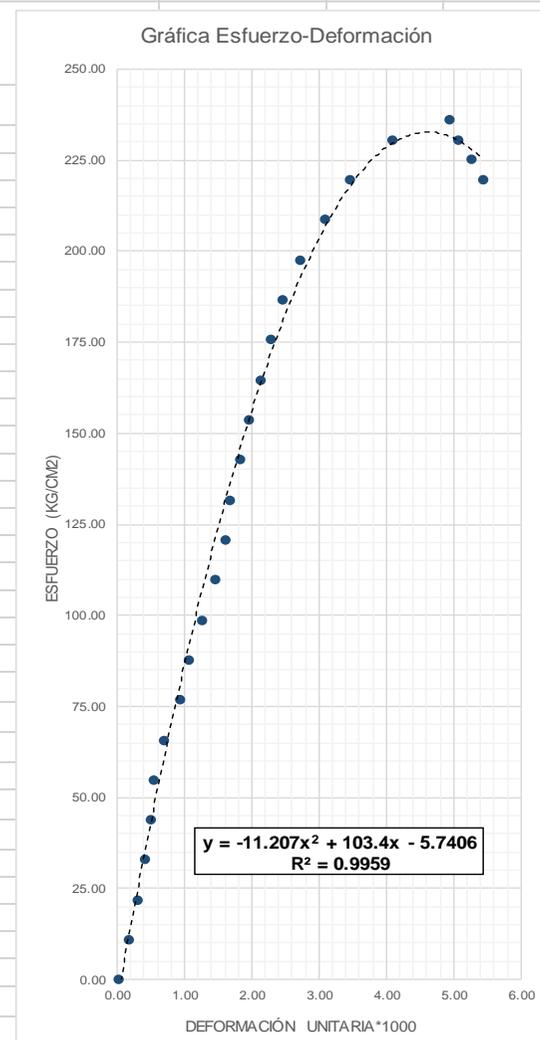


Ecuac. Esfuerzo:	-10.755	X <sup>2</sup>	82.083	X	9.4952
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9922				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	170.61				
Mod. Elasticidad:	195928.735				
Ecuac. Corregida:	-10.755	X <sup>2</sup>	84.53	X	0

**PROBETA 01: TRATAMIENTO DE C. I CON 5%- 28DIAS**

h(cm)=	30.21	d(cm)=	15.220
t(min)=	2.68	Vcarga (Tn/s)=	0.27
Carga ulti.(tn)=	43.00	Peso (Kg)	12.87

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.05	10.993	0.1655	16.599
3	4000	0.09	21.986	0.2979	29.437
4	6000	0.12	32.979	0.3972	38.807
5	8000	0.15	43.971	0.4965	47.956
6	10000	0.16	54.964	0.5296	50.957
7	12000	0.21	65.957	0.6951	65.591
8	14000	0.28	76.950	0.9268	85.048
9	16000	0.32	87.943	1.0593	95.626
10	18000	0.38	98.936	1.2579	110.756
11	20000	0.44	109.929	1.4565	125.002
12	22000	0.48	120.922	1.5889	134.008
13	24000	0.50	131.914	1.6551	138.364
14	26000	0.55	142.907	1.8206	148.823
15	28000	0.59	153.900	1.9530	156.749
16	30000	0.64	164.893	2.1185	166.103
17	32000	0.69	175.886	2.2840	174.844
18	34000	0.74	186.879	2.4495	182.970
19	36000	0.82	197.872	2.7143	194.695
20	38000	0.93	208.865	3.0785	208.251
21	40000	1.04	219.857	3.4426	218.834
22	42000	1.23	230.850	4.0715	230.116
<b>23</b>	<b>43000</b>	<b>1.49</b>	<b>236.347</b>	<b>4.9321</b>	<b>231.187</b>
24	42000	1.53	230.850	5.0645	229.878
25	41000	1.59	225.354	5.2632	227.178
26	40000	1.64	219.857	5.4287	224.253

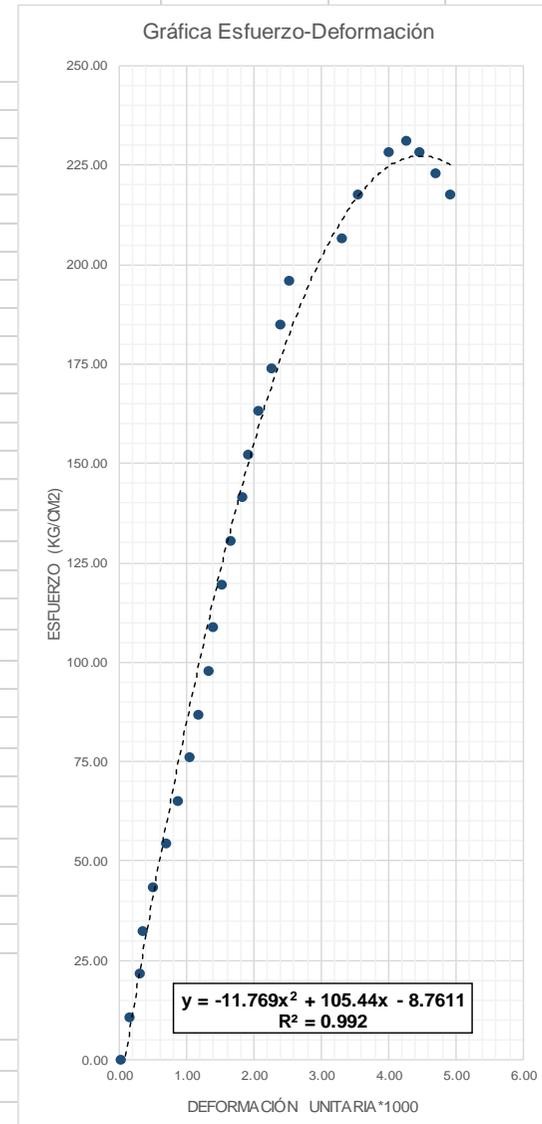


Ecuac. Esfuerzo:	-11.207	X <sup>2</sup>	103.4	X	-5.7406
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9959				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	236.35				
Mod. Elasticidad:	230603.597				
Ecuac. Corregida:	-11.207	X <sup>2</sup>	102.15	X	0

**PROBETA 02: TRATAMIENTO DE C. I CON 5%- 28DIAS**

h(cm)=	30.31	d(cm)=	15.293
t(min)=	2.73	Vcarga (Tn/s)=	0.26
Carga ulti.(tn)=	42.50	Peso (Kg)	12.925

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.04	10.888	0.1320	13.449
3	4000	0.09	21.776	0.2969	29.685
4	6000	0.10	32.665	0.3299	32.855
5	8000	0.15	43.553	0.4949	48.321
6	10000	0.21	54.441	0.6928	66.036
7	12000	0.26	65.329	0.8578	80.093
8	14000	0.31	76.217	1.0228	93.510
9	16000	0.35	87.105	1.1547	103.783
10	18000	0.40	97.994	1.3197	116.046
11	20000	0.42	108.882	1.3857	120.773
12	22000	0.46	119.770	1.5177	129.918
13	24000	0.50	130.658	1.6496	138.653
14	26000	0.55	141.546	1.8146	148.995
15	28000	0.58	152.434	1.9136	154.893
16	30000	0.62	163.323	2.0455	162.398
17	32000	0.68	174.211	2.2435	172.888
18	34000	0.72	185.099	2.3755	179.368
19	36000	0.76	195.987	2.5074	185.439
20	38000	1.00	206.875	3.2992	213.253
21	40000	1.07	217.764	3.5302	218.586
22	42000	1.21	228.652	3.9921	225.484
<b>23</b>	<b>42500</b>	<b>1.29</b>	<b>231.374</b>	<b>4.2560</b>	<b>227.172</b>
24	42000	1.35	228.652	4.4540	227.362
25	41000	1.42	223.208	4.6849	226.417
26	40000	1.49	217.764	4.9159	224.217

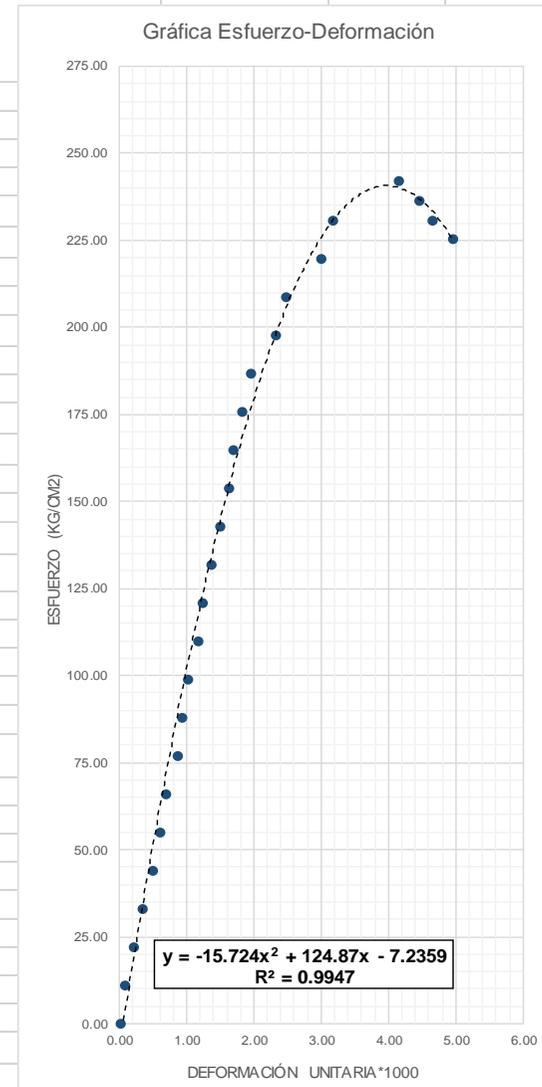


Ecuac. Esfuerzo:	-11.769	X <sup>2</sup>	105.44	X	-8.7611
Coef. Correlacion:			R <sup>2</sup> = 0.992		
Esf. Rotura (Kg/cm2):			231.37		
Mod. Elasticidad:			228164.607		
Ecuac. Corregida:	-11.769	X <sup>2</sup>	103.47	X	0

**PROBETA 03: TRATAMIENTO DE C. I CON 5%- 28DIAS**

h(cm)=	30.35	d(cm)=	15.213
t(min)=	2.92	Vcarga (Tn/s)=	0.25
Carga ulti.(tn)=	44.00	Peso (Kg)	13.112

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.02	11.003	0.0659	8.039
3	4000	0.06	22.006	0.1977	23.709
4	6000	0.10	33.009	0.3295	38.831
5	8000	0.15	44.012	0.4942	56.967
6	10000	0.18	55.015	0.5931	67.438
7	12000	0.21	66.018	0.6919	77.603
8	14000	0.26	77.021	0.8567	93.860
9	16000	0.28	88.024	0.9226	100.124
10	18000	0.31	99.027	1.0214	109.264
11	20000	0.35	110.030	1.1532	120.973
12	22000	0.37	121.033	1.2191	126.623
13	24000	0.41	132.036	1.3509	137.512
14	26000	0.45	143.039	1.4827	147.855
15	28000	0.49	154.042	1.6145	157.652
16	30000	0.51	165.045	1.6804	162.346
17	32000	0.55	176.048	1.8122	171.323
18	34000	0.59	187.051	1.9440	179.754
19	36000	0.70	198.054	2.3064	200.124
20	38000	0.75	209.057	2.4712	208.017
21	40000	0.91	220.060	2.9984	227.539
22	42000	0.96	231.063	3.1631	231.848
23	<b>44000</b>	<b>1.26</b>	<b>242.066</b>	<b>4.1516</b>	<b>239.773</b>
24	43000	1.35	236.564	4.4481	236.160
25	42000	1.41	231.063	4.6458	232.214
26	41000	1.50	225.561	4.9423	223.991

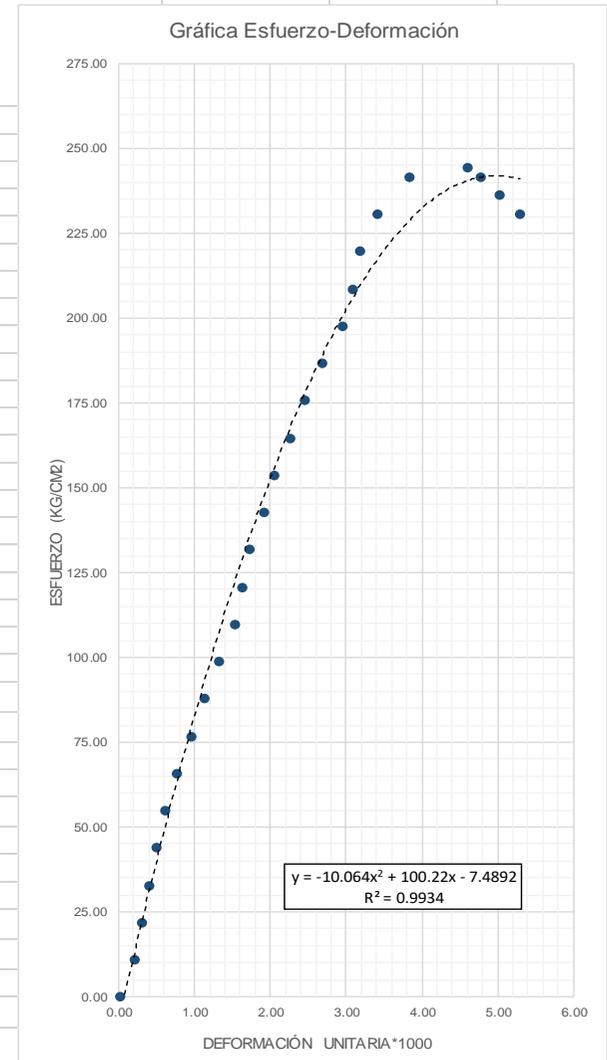


Ecuac. Esfuerzo:	-15.724	X <sup>2</sup>	124.87	X	-7.2359
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9947				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	242.07				
Mod. Elasticidad:	233376.958				
Ecuac. Corregida:	-15.724	X <sup>2</sup>	123.03	X	0

**PROBETA 01: TRATAMIENTO DE C. I CON 10%- 28DIAS**

h(cm)=	30.25	d(cm)=	15.220
t(min)=	1.96	Vcarga (Tn/s)=	0.38
Carga ulti.(tn)=	44.50	Peso (Kg)	12.456

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.06	10.993	0.1983	19.182
3	4000	0.09	21.986	0.2975	28.476
4	6000	0.12	32.979	0.3967	37.572
5	8000	0.15	43.971	0.4959	46.470
6	10000	0.18	54.964	0.5950	55.170
7	12000	0.23	65.957	0.7603	69.230
8	14000	0.29	76.950	0.9587	85.376
9	16000	0.34	87.943	1.1240	98.227
10	18000	0.40	98.936	1.3223	112.921
11	20000	0.46	109.929	1.5207	126.824
12	22000	0.49	120.922	1.6198	133.478
13	24000	0.52	131.914	1.7190	139.935
14	26000	0.58	142.907	1.9174	152.254
15	28000	0.62	153.900	2.0496	160.026
16	30000	0.68	164.893	2.2479	171.026
17	32000	0.74	175.886	2.4463	181.233
18	34000	0.81	186.879	2.6777	192.141
19	36000	0.89	197.872	2.9421	203.287
20	38000	0.93	208.865	3.0744	208.332
21	40000	0.96	219.857	3.1736	211.885
22	42000	1.03	230.850	3.4050	219.405
23	44000	1.16	241.843	3.8347	230.512
24	44500	1.39	244.591	4.5950	241.056
25	44000	1.44	241.843	4.7603	241.808
26	43000	1.52	236.347	5.0248	241.868
27	42000	1.60	230.850	5.2893	240.520

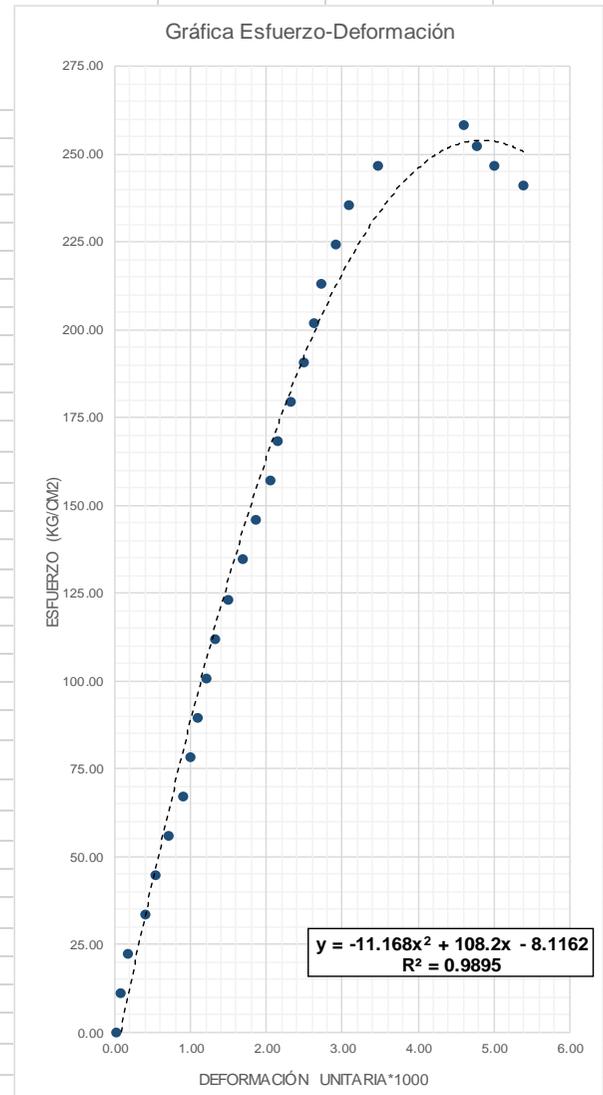


Ecuac. Esfuerzo:	-10.064	X <sup>2</sup>	100.22	X	-7.4892
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9934				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	244.59				
Mod. Elasticidad:	234591.275				
Ecuac. Corregida:	-10.064	X <sup>2</sup>	98.70	X	0

**PROBETA 02: TRATAMIENTO DE C. I CON 10%- 28DIAS**

h(cm)=	30.26	d(cm)=	15.060
t(min)=	1.95	Vcarga (Tn/s)=	0.39
Carga ulti.(tn)=	46.00	Peso (Kg)	12.654

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.02	11.228	0.0661	<b>6.991</b>
3	4000	0.05	22.455	0.1652	17.294
4	6000	0.12	33.683	0.3966	40.482
5	8000	0.16	44.911	0.5288	53.196
6	10000	0.21	56.138	0.6940	68.539
7	12000	0.27	67.366	0.8923	86.145
8	14000	0.30	78.594	0.9914	94.619
9	16000	0.33	89.822	1.0905	102.874
10	18000	0.36	101.049	1.1897	110.909
11	20000	0.40	112.277	1.3219	121.280
12	22000	0.45	123.505	1.4871	133.696
13	24000	0.51	134.732	1.6854	147.790
14	26000	0.56	145.960	1.8506	158.864
15	28000	0.62	157.188	2.0489	171.349
16	30000	0.65	168.415	2.1481	177.261
17	32000	0.70	179.643	2.3133	186.628
18	34000	0.75	190.871	2.4785	195.385
19	36000	0.79	202.098	2.6107	201.951
20	38000	0.82	213.326	2.7098	206.620
21	40000	0.88	224.554	2.9081	215.299
22	42000	0.93	235.782	3.0734	221.860
23	44000	1.05	247.009	3.4699	235.120
<b>24</b>	<b>46000</b>	<b>1.39</b>	<b>258.237</b>	<b>4.5935</b>	<b>253.613</b>
25	45000	1.44	252.623	4.7588	253.954
26	44000	1.51	247.009	4.9901	253.407
27	43000	1.63	241.395	5.3866	249.689

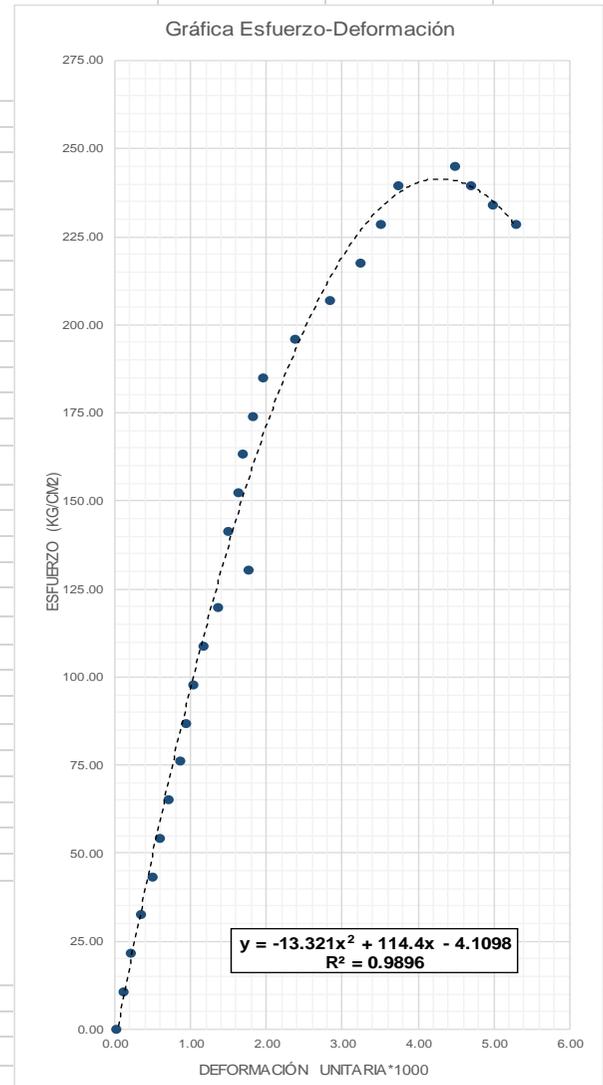


Ecuac. Esfuerzo:	-11.168	X <sup>2</sup>	108.2	X	-8.1162
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9895				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	258.24				
Mod. Elasticidad:	241046.287				
Ecuac. Corregida:	-11.168	X <sup>2</sup>	106.51	X	0

**PROBETA 03: TRATAMIENTO DE C. I CON 10%- 28DIAS**

h(cm)=	30.3	d(cm)=	15.290
t(min)=	1.92	Vcarga (Tn/s)=	0.39
Carga ul. (tn)=	45.00	Peso (Kg)	12.398

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.03	10.892	0.0990	11.101
3	4000	0.06	21.785	0.1980	21.941
4	6000	0.10	32.677	0.3300	35.988
5	8000	0.15	43.570	0.4950	52.893
6	10000	0.18	54.462	0.5941	62.688
7	12000	0.21	65.355	0.6931	72.222
8	14000	0.26	76.247	0.8581	87.532
9	16000	0.28	87.140	0.9241	93.453
10	18000	0.31	98.032	1.0231	102.116
11	20000	0.35	108.924	1.1551	113.261
12	22000	0.41	119.817	1.3531	129.108
13	24000	0.53	130.709	1.7492	157.668
14	26000	0.45	141.602	1.4851	139.092
15	28000	0.49	152.494	1.6172	148.612
16	30000	0.51	163.387	1.6832	153.198
17	32000	0.55	174.279	1.8152	162.021
18	34000	0.59	185.172	1.9472	170.380
19	36000	0.72	196.064	2.3762	194.341
20	38000	0.86	206.957	2.8383	214.660
21	40000	0.98	217.849	3.2343	227.550
22	42000	1.06	228.741	3.4983	233.821
23	44000	1.13	239.634	3.7294	237.785
<b>24</b>	<b>45000</b>	<b>1.36</b>	<b>245.080</b>	<b>4.4884</b>	<b>240.798</b>
25	44000	1.42	239.634	4.6865	239.060
26	43000	1.51	234.188	4.9835	234.493
27	42000	1.60	228.741	5.2805	227.576

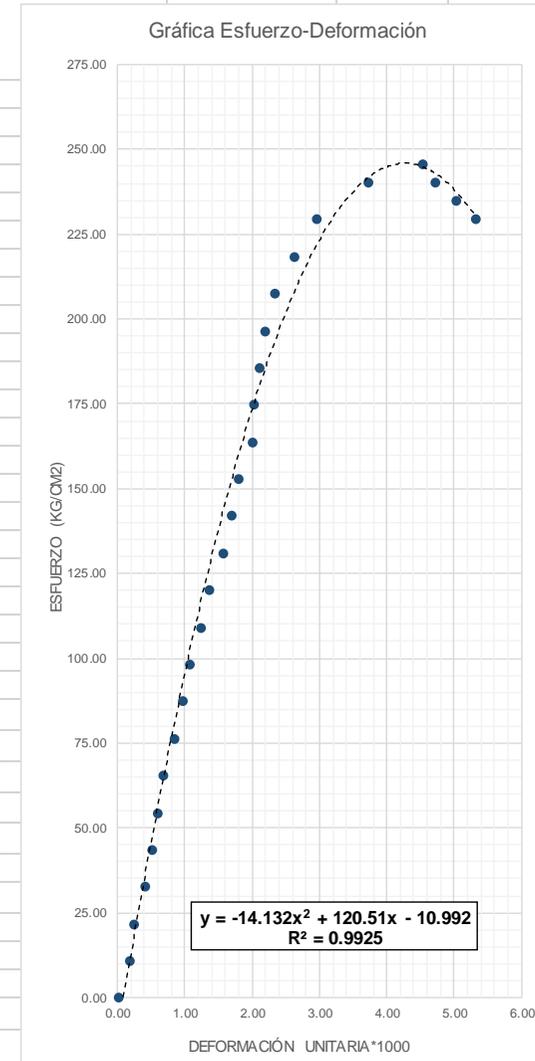


Ecuac. Esfuerzo:	-13.321	$x^2$	114.4	X	-4.109
Coef. Correlacion:	$R^2 = 0.9896$				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	245.08				
Mod. Elasticidad:	234825.509				
Ecuac. Corregida:	-13.321	$x^2$	113.44	X	0

**PROBETA 01: TRATAMIENTO DE C. I CON 20%- 28DIAS**

h(cm)=	30.12	d(cm)=	15.265
t(min)=	2.68	Vcarga (Tn/s)=	0.28
Carga ul. (tn)=	45.00	Peso (Kg)	12.33

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.05	10.928	0.1660	19.183
3	4000	0.07	21.856	0.2324	26.638
4	6000	0.12	32.784	0.3984	44.730
5	8000	0.15	43.713	0.4980	55.212
6	10000	0.18	54.641	0.5976	65.413
7	12000	0.20	65.569	0.6640	72.058
8	14000	0.25	76.497	0.8300	88.126
9	16000	0.29	87.425	0.9628	100.419
10	18000	0.32	98.353	1.0624	109.312
11	20000	0.37	109.282	1.2284	123.510
12	22000	0.41	120.210	1.3612	134.308
13	24000	0.47	131.138	1.5604	149.570
14	26000	0.51	142.066	1.6932	159.121
15	28000	0.54	152.994	1.7928	165.958
16	30000	0.60	163.922	1.9920	178.790
17	32000	0.61	174.850	2.0252	180.819
18	34000	0.63	185.779	2.0916	184.785
19	36000	0.66	196.707	2.1912	190.500
20	38000	0.70	207.635	2.3240	197.684
21	40000	0.79	218.563	2.6228	212.025
22	42000	0.89	229.491	2.9548	224.999
23	44000	1.12	240.419	3.7185	243.018
<b>24</b>	<b>45000</b>	<b>1.36</b>	<b>245.883</b>	<b>4.5153</b>	<b>244.249</b>
25	44000	1.42	240.419	4.7145	241.753
26	43000	1.51	234.955	5.0133	235.905
27	42000	1.60	229.491	5.3121	227.535

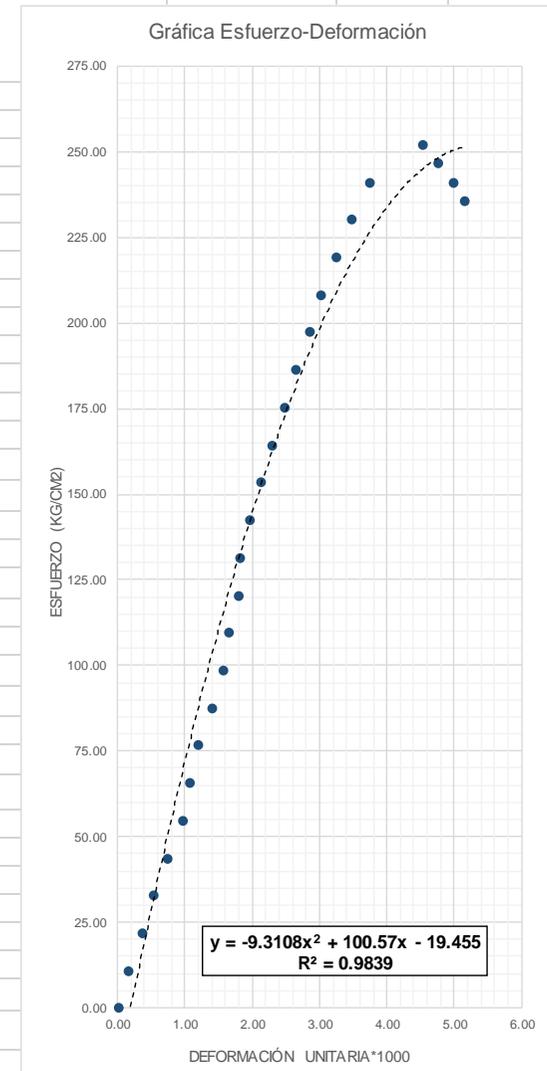


Ecuac. Esfuerzo:	-14.132	$x^2$	120.51	X	-10.992
Coef. Correlacion:	$R^2 = 0.9925$				
Esf. Rótura (Kg/cm2):	245.88				
Mod. Elasticidad:	235210.091				
Ecuac. Corregida:	-14.132	$x^2$	117.90	X	0

**PROBETA 02: TRATAMIENTO DE C. I CON 20%- 28DIAS**

h(cm)=	30.26	d(cm)=	15.236
t(min)=	2.73	Vcarga (Tn/s)=	0.28
Carga ulti. (tn)=	46.00	Peso (Kg)	12.205

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.05	10.970	0.1652	15.757
3	4000	0.11	21.940	0.3635	33.995
4	6000	0.16	32.909	0.5288	48.633
5	8000	0.22	43.879	0.7270	65.529
6	10000	0.29	54.849	0.9584	84.314
7	12000	0.32	65.819	1.0575	92.060
8	14000	0.36	76.789	1.1897	102.104
9	16000	0.42	87.758	1.3880	116.559
10	18000	0.47	98.728	1.5532	128.045
11	20000	0.50	109.698	1.6523	134.693
12	22000	0.54	120.668	1.7845	143.272
13	24000	0.55	131.638	1.8176	145.366
14	26000	0.59	142.607	1.9498	153.538
15	28000	0.64	153.577	2.1150	163.296
16	30000	0.69	164.547	2.2802	172.545
17	32000	0.75	175.517	2.4785	182.974
18	34000	0.80	186.487	2.6438	191.105
19	36000	0.86	197.456	2.8420	200.191
20	38000	0.91	208.426	3.0073	207.203
21	40000	0.98	219.396	3.2386	216.166
22	42000	1.05	230.366	3.4699	224.133
23	44000	1.13	241.336	3.7343	232.018
24	46000	1.37	252.305	4.5274	247.862
25	45000	1.44	246.820	4.7588	250.277
26	44000	1.51	241.336	4.9901	251.695
27	43000	1.56	235.851	5.1553	252.098

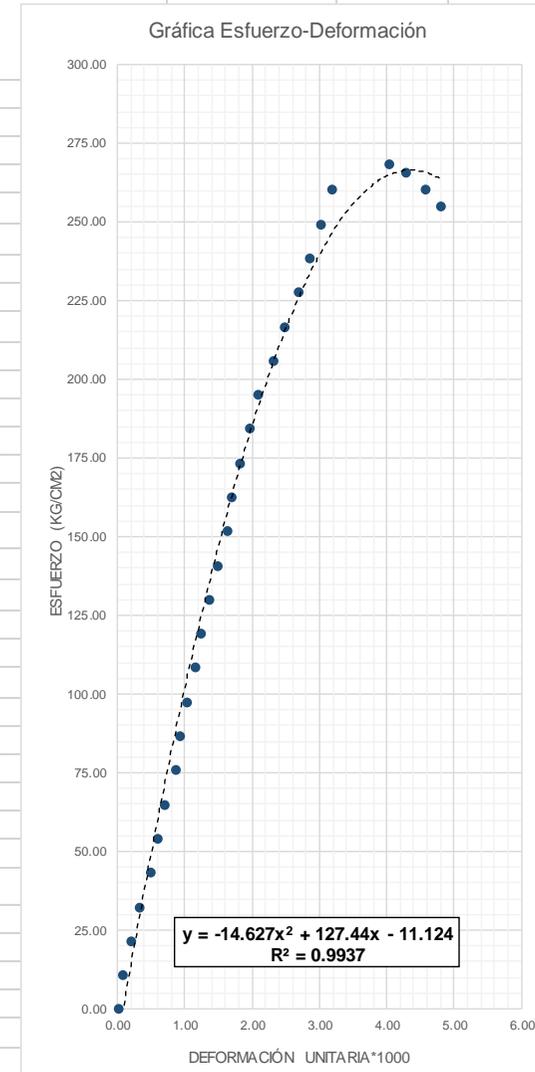


Ecuac. Esfuerzo:	-9.3108	X <sup>2</sup>	100.57	X	-19.455
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9839				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	252.31				
Mod. Elasticidad:	238261.819				
Ecuac. Corregida:	-9.3108	X <sup>2</sup>	96.90	X	0

**PROBETA 03: TRATAMIENTO DE C. I CON 20%- 28DIAS**

h(cm)=	30.24	d(cm)=	15.321
t(min)=	2.92	Vcarga (Tn/s)=	0.28
Carga ulti.(tn)=	49.50	Peso (Kg)	12.289

PUNTO	CARGA (Kg)	DEFORMC. (mm)	ESFUERZO (Kg/cm2)	DEFORMC. UNIT.*1000	ESFUERZO CORREGIDO (Kg/cm2)
1	0	0.00	0.000	0.0000	0.000
2	2000	0.02	10.848	0.0661	8.194
3	4000	0.06	21.697	0.1984	24.198
4	6000	0.10	32.545	0.3307	39.690
5	8000	0.15	43.394	0.4960	58.336
6	10000	0.18	54.242	0.5952	69.139
7	12000	0.21	65.090	0.6944	79.655
8	14000	0.26	75.939	0.8598	96.541
9	16000	0.28	86.787	0.9259	103.071
10	18000	0.31	97.636	1.0251	112.627
11	20000	0.35	108.484	1.1574	124.920
12	22000	0.37	119.333	1.2235	130.875
13	24000	0.41	130.181	1.3558	142.400
14	26000	0.45	141.029	1.4881	153.414
15	28000	0.49	151.878	1.6204	163.915
16	30000	0.51	162.726	1.6865	168.974
17	32000	0.55	173.575	1.8188	178.708
18	34000	0.59	184.423	1.9511	187.930
19	36000	0.63	195.271	2.0833	196.641
20	38000	0.70	206.120	2.3148	210.652
21	40000	0.75	216.968	2.4802	219.700
22	42000	0.81	227.817	2.6786	229.502
23	44000	0.86	238.665	2.8439	236.791
24	46000	0.91	249.514	3.0093	243.280
25	48000	0.96	260.362	3.1746	248.970
26	49500	1.22	268.498	4.0344	265.662
27	49000	1.29	265.786	4.2659	266.461
28	48000	1.38	260.362	4.5635	265.185
29	47000	1.45	254.938	4.7950	262.402



Ecuac. Esfuerzo:	-14.627	X <sup>2</sup>	127.44	X	-11.124
Coef. Correlacion:	R <sup>2</sup> = 0.9937				
Esf. Rotura (Kg/cm2):	268.50				
Mod. Elasticidad:	245788.743				
Ecuac. Corregida:	-14.627	X <sup>2</sup>	124.86	X	0

## APÉNDICE F: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

S10

Página : 1

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto **0102002** TESIS: "ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL CURADO INTERNO DE UN CONCRETO CON ADICIONES DE ARCILLA COCCIONADA EN REEMPLAZO DEL AGREGADO GRUESO"

Subpresupuesto **006** TESIS Fecha presupuesto **20/08/2007**

Partida **01.01** CONCRETO EN COLUMNAS  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> - CONVENCIONAL

Rendimiento **m3/DIA** MO. **10.0000** EQ. **10.0000** Costo unitario directo por : m<sup>3</sup> **478.49**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	19.27	30.83
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	15.67	25.07
0101010005	PEON	hh	11.0000	8.8000	14.00	123.20
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.8000	19.00	15.20
<b>194.30</b>						
<b>Materiales</b>						
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.3400	90.00	30.60
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.3500	90.00	31.50
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		7.8200	23.80	186.12
02221800010015	ADITIVO CURADOR MEMBRANIL REFORZADO	gal		0.5400	21.00	11.34
<b>259.56</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	194.30	5.83
03012900010006	VIBRADOR DE 2.0", 4HP	hm	1.0000	0.8000	15.00	12.00
03012900030005	MEZCLADORA DE CONCRETO 9- 11 P3 (9 HP)	hm	1.0000	0.8000	8.50	6.80
<b>24.63</b>						

Partida **01.02** CONCRETO EN COLUMNAS  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> CON CURADO INTERNO

Rendimiento **m3/DIA** MO. **10.0000** EQ. **10.0000** Costo unitario directo por : m<sup>3</sup> **445.78**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	19.27	30.83
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	15.67	25.07
0101010005	PEON	hh	9.0000	7.2000	14.00	100.80
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.8000	19.00	15.20
<b>171.90</b>						
<b>Materiales</b>						
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.2700	90.00	24.30
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.3500	90.00	31.50
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		7.8200	23.80	186.12
<b>241.92</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	171.90	5.16
03012100030001	WINCHE ELECTRICO 3.6 HP DE DOS BALDES	hm	1.0000	0.8000	10.00	8.00
03012900010006	VIBRADOR DE 2.0", 4HP	hm	1.0000	0.8000	15.00	12.00
03012900030005	MEZCLADORA DE CONCRETO 9- 11 P3 (9 HP)	hm	1.0000	0.8000	8.50	6.80
<b>31.96</b>						

## APÉNDICE G: FOTOGRAFÍAS



*Imagen N° 1: Fotografía de la cantera de agregados*



*Imagen N° 2: Fotografía de los agregados utilizados*



*Imagen N° 3: Fotografía de las muestras de prueba de concreto patrón*



*Imagen N° 4: Fotografía de la mezcla manual de la tanda de prueba*



*Imagen N° 5: Fotografía de las muestras de prueba de concreto patrón*



*Imagen N° 6: Fotografía del ladrillo empleado para el curado interno*



*Imagen N° 7: Fotografía de la prueba de abran para el concreto fresco*



*Imagen N° 8: Fotografía del ladrillo triturado para el tratamiento de curado interno.*



*Imagen N° 9: Fotografía de la máquina de ensayo de resistencia a compresión*



*Imagen N° 10: Fotografía de los especímenes curados en la posa para el tratamiento de curado por inmersión*



*Imagen N° 11: Fotografía de la realización de probetas*



*Imagen N° 12: Fotografía de la realización de las probetas*



*Imagen N° 13: Fotografía de la aplicación del aditivo curador Membranil*



*Imagen N° 14: Fotografía de la falla de las probetas*



*Imagen N° 15: Fotografía de los especímenes prismáticos*



*Imagen N° 16: Fotografía de la máquina de ensayo a flexión*



*Imagen N° 17: Fotografía de la distribución del ladrillo en la probeta ensayada*



*Imagen N° 18: : Fotografía de la distribución del ladrillo en la probeta ensayada a flexión*

# ANEXO A FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Viviero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002  
Versión 01

## Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150  
Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	<b>2.2</b>	Máximo 6.0
SO3	%	<b>2.8</b>	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	<b>3.0</b>	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	<b>0.73</b>	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	<b>8</b>	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	<b>0.10</b>	Máximo 0.50
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	<b>3770</b>	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	<b>3.12</b>	NO ESPECIFICA

**Resistencia Compresión :**

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>31.7</b> <b>(323)</b>	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>38.5</b> <b>(392)</b>	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>46.5</b> <b>(474)</b>	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

**Tiempo de Fraguado Vicat :**

Fraguado Inicial	min	<b>132</b>	Mínimo 45
Fraguado Final	min	<b>289</b>	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-05-2016 al 30-05-2016  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016  
(\*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

## ANEXO B FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO MEMBRANIL REFORZADO

Hoja Técnica



### MEMBRANIL REFORZADO

Curador de concreto tipo membrana, protector del concreto fresco para aplicar en climas templados

CUR.6.4.2  
RMP - V.0

**DESCRIPCIÓN** **MEMBRANIL REFORZADO** es un curador líquido que una vez aplicado sobre el concreto fresco, forma una membrana que evita la evaporación prematura del agua de amasado y lo protege. Con esta alternativa de curado se evitan grietas o fisuras en la superficie del concreto y permite que se alcance la fuerza a la compresión deseada o de diseño. Producto adecuado a la norma ASTM C 309 Clase A Tipo 1.

- VENTAJAS**
- Forma una película rápida y continua sobre el concreto fresco y endurecido, otorgando así un período máximo de hidratación, a una temperatura desde 5°C hasta 25° C y por adversas que sean las condiciones del tiempo.
  - Protege el concreto de la acción nociva de agentes atmosféricos como: altas temperaturas, vientos fuertes y lluvia.
  - Aumenta la resistencia mecánica a la abrasión superficial, contrarrestando el desgaste prematuro.
  - Evita la formación de fisuras superficiales y descascamiento por refracción.

- USOS**
- Losas de estacionamientos, edificios, veredas y calzadas.
  - Elementos de concreto caravista.
  - Losas de pavimentos, autopistas vehiculares, carretera y pistas de aterrizaje.
  - Taludes y muros de contención.
  - Canales, curado de tubos prefabricados y acueductos de concreto armado.
  - Puentes, concreto de obras de arte.
  - Elementos de concreto en general.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>Color:</b>	Lechoso, transparente una vez seco
	<b>Apariencia:</b>	Líquido
	<b>Ph:</b>	8
	<b>Densidad:</b>	1.0 Kg/lt
	<b>VOC<sup>1</sup>:</b>	0 gr/lt

Para mayor información, solicitar certificados de ensayos de laboratorios externos.

- PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO**
1. Agítese bien antes de emplear.
  2. Aplíquelo en dos manos directamente del envase (sin diluir) con brocha, rodillo o mochila de aspersión sobre la superficie a curar:
    - Losas, techos: sobre el concreto fresco cuando desaparezca la exudación de la superficie o que se note la superficie ligeramente húmeda.
    - Vigas, columnas: inmediatamente después del desencofrado.

<sup>1</sup> Compuestos Orgánicos Volátiles.



Calidad que Construye

## MEMBRANIL REFORZADO

Curador de concreto tipo membrana, protector del concreto fresco para aplicar en climas templados

CUR.6.4.2  
RMP - V.0

<b>RENDIMIENTO</b>	No deberá excederse de 15 m <sup>2</sup> por galón, para garantizar una película que pueda adecuarse a las normas ASTM.
<b>PRESENTACIÓN</b>	Envase de 1 gal. (Código: 21008004) Envase de 5 gal. (Código: 21008005) Envase de 55 gal. (Código: 21008055)
<b>ALMACENAMIENTO</b>	De almacenarse en un lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo el tiempo de vida útil será de 12 meses.
<b>PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES</b>	En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico). Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños. No comer ni beber mientras manipula el producto. Lavarse las manos luego de manipular el producto. Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo. Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados. En caso de contacto con los ojos y la piel, lávelos con abundante agua. Si es ingerido, no provocar vómitos, procurar ayuda médica inmediata.

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

**ANEXO C**  
**CONSTANCIA DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

---



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



*Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería*

---

EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA :

**CONSTANCIA:**

Que la Señorita Jenny López Mego, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha realizado sus ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC, para la Tesis Titulada “ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL CURADO INTERNO DE UN CONCRETO CON ADICIONES DE ARCILLA COCCIONADA EN REEMPLAZO DEL AGREGADO GRUESO”. Dichos ensayos se realizaron del 15 de abril al 12 de julio del 2017.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 18 de Julio de 2017.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería  
  
-----  
M. Cs. Ing. MARCO CENABÓN VARGAS  
DIRECTOR