

UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL CURADO INTERNO DEL CONCRETO,
EMPLEANDO MATERIAL CERÁMICO EN LA MEZCLA DEL
CONCRETO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

TESISTA:

Bach. ESPINOZA ROMERO, Karol Mishell

ASESOR:

Ing. Jim Arturo Rivera Vidal

**HUÁNUCO- PERU
2019**

DEDICATORIA

A Dios: Por darme una vida maravillosa y quien bendice e ilumina mi camino, dándome fortaleza.

A mis amados padres Teresa Romero Ramirez y Walter Espinoza Cardenas por su amor incondicional y los sacrificios del día a día para que a sus hijos nunca nos falte nada y además incentivarnos a estudiar para ser profesionales honorables y de respeto en esta vida.

A mis Hermanos: Kamila y Kevin Espinoza Romero, por la ayuda incondicional para lograr este proyecto.

A mi enamorado, por el apoyo incondicional y por las recomendaciones para mejorar día a día como profesional.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la facultad de ingeniería civil y arquitectura y a algunos amigos, quienes estuvieron pendientes del avance del trabajo, con su motivación y apoyo hicieron posible mantenerme firme hasta culminar esta tesis.

A mi asesor de tesis el Ing. Leoncio Alvarado Ponce por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis.

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

RESUMEN

El curado del concreto juega un papel primordial en las propiedades de los elementos que se construyen con este material. Del curado depende que exista la suficiente cantidad de agua para que el proceso de hidratación del cemento se desarrolle eficiente e ininterrumpidamente.

En casi la totalidad de los concretos elaborados en el país se realiza un curado de manera superficial, ya sea un curado por humedecimiento superficial durante los primeros días de edad o por rociado de compuestos líquidos formadores de membrana impermeable. Sin embargo, no se conoce la efectividad de estos tipos de curado en el desarrollo a la resistencia del concreto. Existiendo dudas sobre su eficacia, ya que comúnmente se observan problemas de agrietamiento en losas o estructuras expuestas a la intemperie en las construcciones realizadas, lo cual, puede ser causa de un curado no adecuado del concreto.

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; a comparación del curado por inmersión. 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 Huánuco. Se evalúa tres porcentajes de fragmentos de ladrillo: 10%, 20% y 30% del volumen de agregado grueso; para una resistencia de $f'c$: 210 Kg/cm². Asimismo, se estudia el porcentaje de humedad y resistencia a la compresión. 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 del concreto 8% y 280 Kg/cm² a los 28 días de edad respectivamente, mientras que el curado por inmersión nos muestra resultados inferiores: 1% y 259.66 Kg/cm², 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.

SUMMARY

The curing of concrete plays a key role in the properties of the elements that are constructed with this material. Curing depends on the sufficient amount of water for the cement hydration process to develop efficiently and continuously.

In almost all of the concretes elaborated in the country, a curing is carried out in a superficial way, either a curing by superficial moistening during the first days of age or by spraying of waterproofing membrane-forming liquid compounds. However, the difficulty of these types of curing in the development of concrete resistance is not known. There are doubts about its effectiveness, since cracking problems can be observed in the structures or structures exposed to the weather in the constructions made, which can be the cause of an inadequate cure of the concrete.

The objective of this investigation is to determine the complexity of internal curing by specifically replacing the coarse aggregate with fragments of saturated brick; evaluating the compressive strength; A comparison of immersion curing. I propose different replacement percentages of coarse aggregate with the ceramic material; This material was produced from the crushing of King Kong brick, used in the construction of houses in the city of Huánuco. Three percentages of brick fragments are evaluated: 10%, 20% and 30% of the volume of coarse aggregate; for a resistance of $f'c$: 210 Kg / cm². Similarly, study the percentage of moisture and compressive strength. It was concluded that internal curing by replacing the coarse aggregate with crushed and saturated brick fragments is effective, showing that a higher percentage of replacement results are better references to moisture retention and increased compressive strength of concrete 8% and 280.42 Kg / cm² at 28 days of age respectively, while immersion curing shows slightly higher results: 1% and 259.66 Kg / cm², headed that our proposal has been exclusively using internal curing and exposing the elements to the weather. examples, a situation that resembles what happened to the workforce.

KEYWORDS:

Ceramic material, internal curing, resistance, Moisture Retention, compressive strength.

INDICE GENERAL

CAPITULO I.....	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 SITUACIÓN ACTUAL.....	4
CAPITULO II.....	5
2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION	6
2.1.1 REVISION DE ESTUDIOS REALIZADOS	6
2.1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	8
2.2 BASE TEÓRICA	11
2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	49
2.4 OBJETIVOS	49
2.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	50
2.6 LIMITES Y ALCANCES.....	50
2.7 HIPÓTESIS	50
2.8 VARIABLES Y DIMENSIONES.....	51
2.9 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES Y DIMENSIONES.....	52
2.10 UNIVERSO/POBLACIÓN Y MUESTRA.....	53
CAPITULO III.....	54
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.....	55
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	56
3.5 METODOLOGIA Y CRITERIOS DE DISEÑO.....	57
3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS.....	59
3.7 MATERIALES A UTILIZAR	70
CAPITULO IV	73
4.1 OBTENCION DE RESULTADOS.....	74
4.2 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	79
4.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS	99
4.4 ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO	100
CONCLUSIONES.....	101
SUGERENCIAS	102
BIBLIOGRAFIA.....	103
APENDICE A:.....	105
APENDICE B:.....	111
APENDICE C:.....	113
APENDICE E.....	118
ANEXO A.....	125
ANEXO B.....	126

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tamaño de muestra para especímenes cilíndricos para ensayo de Resistencia a compresión Según tratamiento	53
Tabla 2: Tamaño de Análisis típico del agua	67
Tabla 3: límites permisibles del agua para mezcla y curado.....	67
Tabla 4 : Relación L/D.....	70
Tabla 5: Características de la cantera Andabamba – rio Huallaga	71
Tabla 6: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado por inmersión .	79
Tabla 7: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 10%.....	79
Tabla 8: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 20%.....	80
Tabla 9: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 30%.....	80
Tabla 10: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 7 días.....	80
Tabla 11: Medias para cada tratamiento.	80
Tabla 12: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado por inmersión	82
Tabla 13: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 10%.....	82
Tabla 14: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 20%.....	82
Tabla 15: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 30%.....	82
Tabla 16: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 14 días.....	83
Tabla 17: Medias para cada tratamiento.	83
Tabla 18: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión	84
Tabla 19: <i>Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 10%.....</i>	84
Tabla 20: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 20%.....	85

Tabla 21: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 30%.....	85
Tabla 22: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 28 días.....	85
Tabla 23: Medias para cada tratamiento.....	85
Tabla 24: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días- Tratamiento de curado por inmersión.....	87
Tabla 25: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%.....	87
Tabla 26: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%.....	88
Tabla 27: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 30%.....	88
Tabla 28: Análisis de varianza de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos a edad de 7 días.....	89
Tabla 29: Medias para cada tratamiento.....	89
Tabla 30: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado por inmersión.....	90
Tabla 31: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%.....	91
Tabla 32: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%.....	91
Tabla 33: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 30%.....	92
Tabla 34: Análisis de varianza de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos a edad de 14 días.....	93
Tabla 35: Medias para cada tratamiento.....	93
Tabla 36: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión.....	94
Tabla 37: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 10%.....	95
Tabla 38: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 20%.....	96
Tabla 39: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 30%.....	96
Tabla 40: Análisis de varianza de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos a edad de 14 días.....	97
Tabla 41: Medias para cada tratamiento.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción, Despacho Local y Despacho Total de Cemento2
Figura 2: Despacho Local mensual del Cemento 3
Figura 3: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema cerrado según Powers y colaboradores.....	16
Figura 4: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema abierto según Powers y colaboradores.....	16
Figura 5: Distribución de la humedad relativa.	18
Figura 6: Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concretos, expresado como porcentaje de la resistencia a los 28 días (Lange, 1994).....	19
Figura 7: Vigas de concreto después de muchos años de exposición a un suelo con alta concentración de sulfatos en Sacramento, California, terreno de ensayo.....	21
Figura 8: Cambios de volumen por contracción química y contracción autógena de pasta fresca y endurecida (sin escala) (Kosmatka, y otros, 2004).....	22
Figura 10: Relación volumétrica entre hundimiento (asentamiento), agua de sangrado, contracción química y contracción autógena. Sólo se muestra la contracción autógena después del inicio del fraguado. Sin escala (Kosmatka, y otros, 2004)	24
Figura 11: Las fisuras por contracción plástica se aparecen con rasgaduras en el concreto fresco (Kosmatka, y otros, 2004).....	25
Figura 12: figura esquemática de los movimientos de la humedad en el concreto. Si se conserva el concreto constantemente húmedo, ocurre una pequeña expansión. Sin embargo, normalmente también ocurre el secado, causando contracción. Humedecimiento y secado adicionales causan ciclos alternados de expansión y contracción (Roper 1960).	27
Figura 13: Cambio de longitud de especímenes de concreto expuestos a diferentes regímenes de curado (Aitcin 1999).	27
Figura 14: Efecto del curado inicial sobre la contracción por secado de prismas de concreto de cemento portland.....	28
Figura 15: Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre	32
Figura 16: Esquema comparativo del curado interno y externo	34
Figura 17: Efecto del curado Interno en la Retracción Autógena.	41
Figura 18: Efecto de curado interno en el Agrietamiento.....	43
Figura 19: Efecto de curado interno en el Modulo de elasticidad.	44
Figura 20: Efecto del tiempo de curado en la resistencia del hormigón.....	46
Figura 21. Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.50$	47
Figura 22: Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.30$	48
Figura 23: Efectos de la adición de agregados cerámicos porosos en el desarrollo de la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia.	48
Figura 24 y Figura 25 los agregados a utilizar.....	74
Figura 26: los tamices a utilizar.....	75
Figura 27: Grafica de intervalos con respecto al porcentaje de humedad a la edad de 7 días.....	81

Figura 28: Grafica de intervalos con respecto al porcentaje de humedad a la edad de 14 días.....	83
Figura 29: Grafica de intervalos con respecto al porcentaje de humedad a la edad de 28 días.....	86
Figura 30: Graficas de valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 7 días.....	89
Figura 31: Graficas de valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 14 días.....	93
Figura 32: Graficas de valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 28 días.....	98
Figura 33: Grafica de retención de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio.	99
Figura 34: Grafica de Resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio.....	100

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

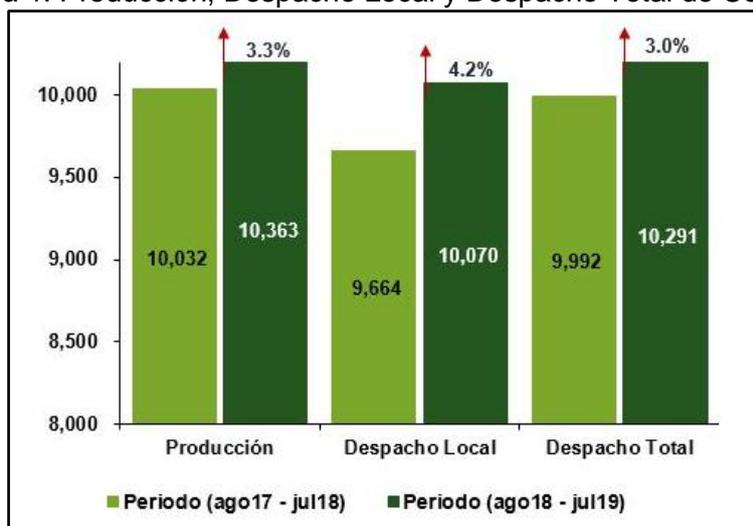
- 1.1. ANTECEDENTES
- 1.2. SITUACION ACTUAL

1.1 ANTECEDENTES

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.

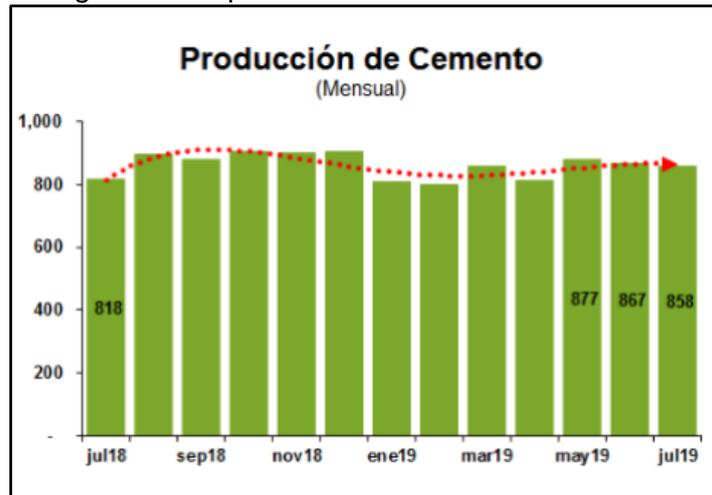
En el Perú, según la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), se despacharon aproximadamente 10,291 millones de toneladas métricas de cemento portland desde agosto del 2018 hasta agosto del 2019 con los cuales se produjeron aproximadamente 30 millones de metros cúbicos de concreto en todo el país. Como se expone en la figura N° 1, donde se muestra el crecimiento de la producción, el despacho local y total en el año 2018 y 2019. Asimismo, en la figura 2 se puede apreciar el crecimiento mensual y la comparación de este respecto al año anterior.

Figura 1: Producción, Despacho Local y Despacho Total de Cemento



Fuente: ASOCEM 208-2019

Figura 2: Despacho Local mensual del Cemento



Fuente: ASOCEM 208-2019

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.

1.2 SITUACIÓN ACTUAL

Hoy en día 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.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

- 2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION
 - 2.1.1 REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS
 - 2.1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES
- 2.2 BASE TEÓRICA
- 2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA
- 2.4 OBJETIVOS
- 2.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA
- 2.6 LIMITES Y ALCANCES
- 2.7 HIPÓTESIS
- 2.8 VARIABLES Y DIMENSIONES
- 2.9 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES Y DIMENSIONES
- 2.10 UNIVERSO/POBLACIÓN Y MUESTRA

2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION

2.1.1 REVISION DE ESTUDIOS REALIZADOS

2.1.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL

- **Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto, Colombia**

Ing. Eder Samir Aldana Barcinilla

El investigador tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de un concreto al cual se le hizo reemplazo, en ciertos porcentajes, del agregado grueso por material cerámico para obtener curado interno; dicho comportamiento se evaluó mediante la valoración de algunas de las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas hechas con este material. El material cerámico usado en las diferentes mezclas de los ensayos fue producido a partir de la trituración de ladrillo tolete estructural, comúnmente usado en la construcción de viviendas en la ciudad de Bogotá. Se evaluó una mezcla de concreto con tres porcentajes diferentes de reemplazo de agregado grueso por material cerámico (0%, 20% y 40%) y dos valores de relación agua/cemento (0.30 y 0.50). Dentro de las propiedades analizadas están la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, absorción, permeabilidad, contracción, permeabilidad al ion cloruro y sortividad.

Los resultados de los ensayos mostraron claramente que en la medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, para muestras con relación a/c de 0.30, los resultados de la resistencia a la compresión son más altos que para los concretos de la muestra patrón, mientras que para la relación a/c de 0.50, se obtuvieron resistencias a la compresión inferiores a las de un concreto con el 100% del agregado natural.

- **Curado interno en hormigones de alto desempeño - un nuevo paradigma,**

Mauricio López, Lawrence F. Kahn, Kimberly E. Kurtis

Los investigadores indican En adición, los métodos de curado tradicionales, donde el agua se supe desde el exterior, resultan poco eficaces dada la baja permeabilidad de estos hormigones.

Como resultado la retracción autógena y agrietamiento son difíciles de evitar incluso con el empleo simultáneo de diversas técnicas tradicionales de curado. Una solución a este problema la constituye el uso de agentes incorporadores de agua en el hormigón. Dichos agentes almacenan el agua en un comienzo por lo que la W/CM permanece inalterada. Una vez

que la humedad relativa dentro del hormigón disminuye, estos comienzan a liberar agua de curado. Si el agente está homogéneamente distribuido y su capacidad de retener agua es suficiente, el agua de curado puede incrementar el grado de hidratación de manera uniforme dentro del hormigón.

El uso de agregados livianos constituye hoy en día el principal agente de incorporación de agua. Los polímeros súper absorbentes también han demostrado ser eficaces en proveer un curado interno.

2.1.1.2 A NIVEL NACIONAL

- **Efectividad del curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso en comparación a otros tipos de curado, Cajamarca**

Ing. Luis Matías Tejada Arias

El investigador determinó qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso, referente a la humedad y a la resistencia a la compresión, en comparación a otros tres tipos de curado. Para lo cual, se planteó tomar como objeto de estudio cuatro tipos de curado del concreto elaborado con agregado chancado de río, para un mismo diseño de mezclas de una resistencia de $f'c$: 210 Kg/cm² obteniéndose así diferentes tratamientos de concreto los cuales fueron: (a) concreto con curado con rociado de agua (b) con aditivo Membranil Vista (c) con curado sumergido en agua y compararlo con un (d) curado interno mediante la saturación de agregado grueso (tomando este último como una nueva propuesta). De estos cuatro tratamientos de concreto se estudiaron las variables de humedad en el concreto y resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 28 y 90 días. Estos datos se recopilaron utilizando métodos cualitativos y cuantitativos para luego ser procesados y analizados mediante métodos estadísticos, concluyendo que el curado interno mediante la saturación de agregado grueso fue más efectivo en retención de humedad y aumento de resistencia a compresión del concreto a diferencia de los otros tratamientos de curado comunes estudiados.

- **Estudio experimental del curado interno de un concreto con adiciones de arcilla coccionada en reemplazo del agregado grueso, Cajamarca**

Bach., Lopez Mego. J

La investigadora experimentó y determinó 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/cm². 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/cm² y 54.247 Kg/cm² a los 28 días de edad respectivamente, a diferencia del tratamiento utilizando aditivo que obtuvo 3.62% y 165.07 Kg/cm², mientras que el curado por inmersión nos muestra resultados ligeramente superiores: 7.18%, 276.01 Kg/cm² y 45.780 Kg/cm², 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.

2.1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Algunos conceptos más importantes son los siguientes:

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" y queda retenido en el tamiz N° 200. 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.

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).

CEMENTO PORTLAND: Es un conglomerante hidráulico, obtenido por la pulverización del clinker, y sin más adición que la piedra de yeso natural, en un porcentaje no superior al 5%, para retrasar el fraguado de los silicatos y aluminatos anhidros, que forman el clinker. Su color es gris, más o menos oscuro, según la cantidad de óxido férrico (Rivva, 2004 págs. 30,31).

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).

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 cual es el procedimiento para curar especímenes cilíndricos de concreto sumergiéndolos en agua de curado. La Norma indica que Transcurridas 24 ± 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).

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO: Es la selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador. La selección de las proporciones de la unidad cúbica de concreto deberá permitir que éste alcance a los 28 días, o a la edad seleccionada, la resistencia en compresión promedio elegida. El concreto deberá ser dosificado de manera tal de minimizar la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a la resistencia de diseño especificada.

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).

FRAGUADO: El término fraguado se refiere al cambio del estado fluido al estado sólido. Se dice que la pasta de cemento portland ha fraguado cuando está lo suficientemente rígida como para soportar una presión arbitraria definida. El tiempo de fraguado se divide en dos partes: el comienzo y el fin de la fragua, conocidos como la «fragua inicial» y la «fragua final». Cuando la pasta de cemento portland ha logrado la fragua final, empieza un nuevo período de incremento de su rigidez y resistencia denominado «endurecimiento» (Rivva, 2004 pp. 87,88).

RELACIÓN AGUA/CEMENTO: Desde que la mayoría de las propiedades deseables en el concreto endurecido dependen de la calidad de la pasta, producto final del proceso de hidratación del cemento, se considera que una de las etapas fundamentales en la selección de las proporciones de una mezcla de concreto es la elección de la relación agua/cemento más adecuada. La relación agua/cemento de diseño se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir, no toma ni aporta agua. La relación agua/cemento efectivo se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando no se tiene en consideración la relación real de la humedad del agregado (Rivva, 2010 p. 61).

RESISTENCIA A COMPRESIÓN: La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad (Rivva, 2010 pág. 29).

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).

2.2 BASE TEÓRICA

2.2.1 El concreto y sus componentes.

El concreto es un producto artificial que está compuesto de (a) un medio ligante denominado pasta, y (b) de un medio ligado denominado “agregado” el cual se encuentran embebido dentro de la pasta, La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste (Rivva, 2004 pág. 8).

La pasta de concreto, según RIVVA, (2004 págs. 8, 9,10) es aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta 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.

De otro lado, la pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto que son: (a) Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido, (b) Separar las partículas de agregado, (c) Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas, (d) Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

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.

2.2.1.1 Porosidad de la pasta (RIVVA, 2004 págs. 8,9,10)

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 éste los espacios originalmente llenos de agua, pudiéndose llegar a un sistema parcialmente discontinuo, el cual definitivamente se presenta en relaciones agua/cemento bajas. En la práctica nunca se llega a un

sistema totalmente discontinuo aún en relaciones agua/cemento tan bajas como 0.45

La importancia de los poros capilares radica en que, conforme aumenta su número:

- Disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta endurecida.
- Aumentan la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.
- Aumenta la vulnerabilidad de la pasta al ataque por acción de las bajas temperaturas sobre el concreto.
- Este último punto es de gran importancia dado que 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.

2.2.1.2 Funciones del agregado

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son (Rivva, 2004 pp. 17,18):

- 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.

2.2.1.3. Interrelación agregado-concreto

Las propiedades del concreto resultante del empleo de un agregado determinado dependen de (Rivva, 2004 pp. 17,18):

- 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.
- e. La porosidad y absorción del agregado, las cuales influyen sobre la relación agua-cemento efectiva, así como sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido.

2.2.1.4. La Hidratación del cemento Portland.

La hidratación del cemento es el principal proceso físico, químico y termodinámico en la formación del concreto, ya que éste se da cuando el agua entra en contacto con el cemento portland y forman la pasta de cemento, la cual es el medio ligante del concreto. 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” (α).

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.

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 de ingeniería del concreto fraguado y endurecimiento, 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 (SiO₂) 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.

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.

Según Powers, Jensen y Hansen citados por Trujillo R. esquemáticamente, representaron los resultados de sus trabajos sobre el desarrollo de la hidratación (Figuras 3 y 4). 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 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, pero como se

observa la cantidad de poros aumentarán por producirse una auto desecación del concreto (Trujillo R., 2011).

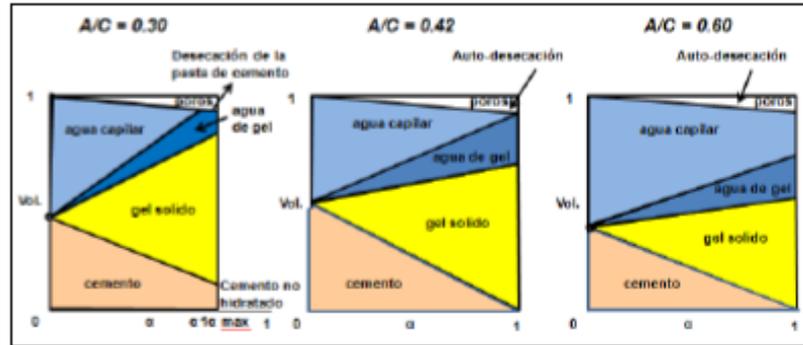


Figura 3: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema cerrado según Powers y colaboradores. Jensen y Hansen, además, demostraron que cuando una fuente de agua externa se encuentra disponible durante la hidratación del cemento portland, es posible obtener una pasta de cemento sin poros cuando la relación agua/cemento 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).

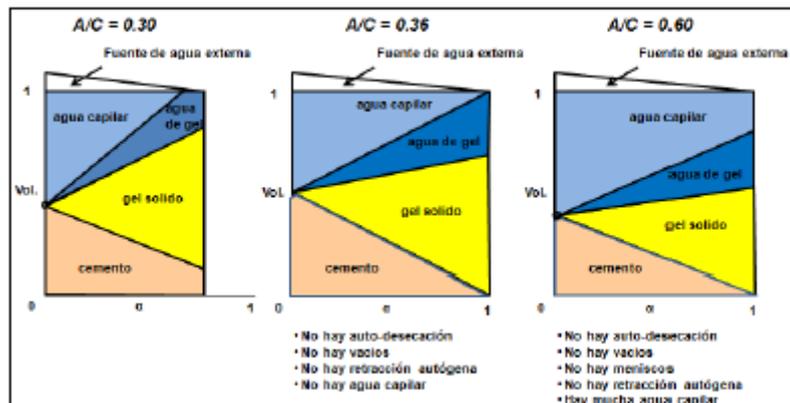


Figura 4: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema abierto según Powers y colaboradores.

Para los concretos de resistencia normal (menores de 35 Mpa), el máximo grado de hidratación de la pasta es 1 ó 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 $\alpha < 1$ (por ejemplo, un grado de hidratación $\alpha_{max} = 0.5$ para una relación A/C = 0.21) (Trujillo R., 2011).

Durante la reacción de hidratación, el agua fluye por la red de capilares finos, dentro de los cuales los poros 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 desecación, 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 agua / cemento bajas (menores que 0.42), el agua de curado o neblina en los primeros días no es perceptible para mejorar las propiedades en estos concretos, por ello la importancia de un curado satisfactorio (Trujillo R., 2011).

Debido a que las propiedades del concreto a edades tempranas son de vital importancia para el mejor desempeño durante su vida útil, y ya que el curado convencional es insuficiente para contrarrestar la retracción autógena en los concretos de alta resistencia, en las investigaciones antecedentes estudiadas el curado interno ha sido propuesto como un método de curado para mitigar este fin. Con la intención de proveer a la industria de la construcción local herramientas que involucren procedimientos y materiales disponibles y dar una alternativa de solución a este problema (Trujillo R., 2011).

2.2.1.5. Velocidad de Secado del Concreto (deseccación del concreto)

El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en él) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto pierde humedad, la resistencia para de crecer; el hecho es que el secado no indica que haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables (Kosmatka, y otros, 2004).

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Por ejemplo, como se mencionó, el concreto necesita tener suficiente humedad durante el periodo de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie hacia 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° 5, muestra la tasa de secado en varias profundidades en cilindros de concreto expuestos al ambiente de laboratorio. Así, Los miembros de concreto en estructuras tendrían perfiles de secado distintos debido a las condiciones ambientales, los efectos del tamaño y las propiedades del concreto.

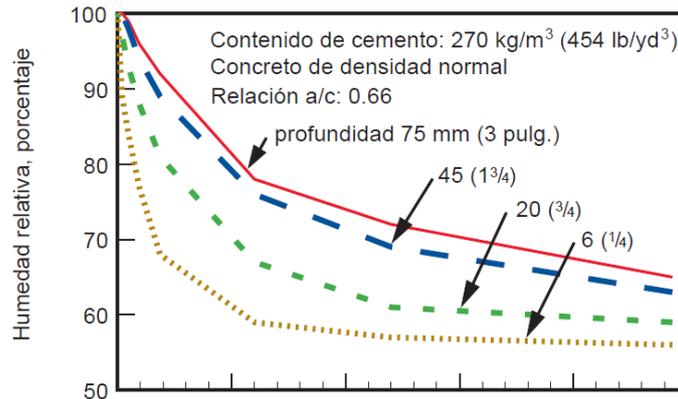


Figura 5: Distribución de la humedad relativa, retracción (contracción, encogimiento) por secado (deseccación) y pérdida de masa de cilindros de 150 x 300-mm (6 x 12- pulg.) sometidos a curado húmedo por 7 días y posteriormente al secado al aire del laboratorio a 23°C (73°F). (Hanson, 1968).

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, 1998) y después de varios meses de secado al aire con humedad relativa entre el 50% y 90%, la cantidad de humedad es cerca del 1% al 2% del peso del concreto.

El tamaño y la forma de los miembros de concreto desempeñan un papel importante en la velocidad de secado. Los elementos con área superficial grande con relación a su volumen (como en los pisos o losas) se secan mucho más rápidamente que los miembros con gran volumen de concreto y relativamente pequeñas áreas superficiales (como en los estribos de los puentes, placas, columnas, vigas). Muchas otras propiedades del concreto endurecido también son afectadas por la cantidad de humedad, tales como elasticidad, fluencia (flujo plástico, deformación diferida), valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia a abrasión, conductividad eléctrica, resistencia al congelamiento (congelación), resistencia al descascaramiento (descascarillado, astilladura, desonchadura, despostilladura,

engalletamiento y desmoronamiento) y resistencia a reactividad álcali-agregado (Kosmatka, y otros, 2004).

2.2.1.6. Resistencia a compresión (Kosmatka, y otros, 2004)

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/cm²), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg² o psi) a una edad de 28 días. Un mega pascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado (N/mm²) o 10.2 kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado. 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°4. La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo f'_c 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).

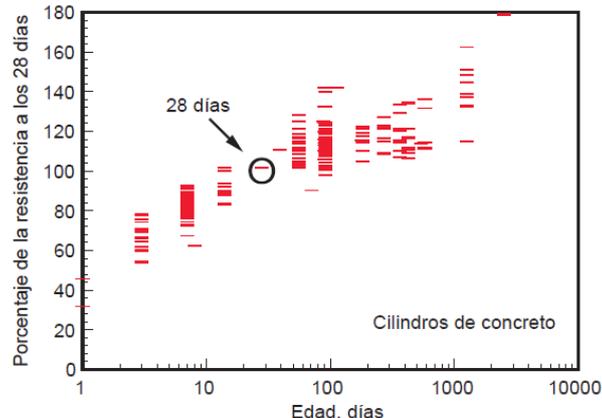


Figura 6: Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concretos, expresado como porcentaje de la resistencia a los 28 días (Lange, 1994)

2.2.1.7. Durabilidad del concreto

Según Kosmatka y colaboradores, la durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la

proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto (Kosmatka, y otros, 2004).

La durabilidad del concreto reforzado, debido a la presencia de agentes promotoras del deterioro en el medio ambiente depende mucho de la permeabilidad del concreto. Tres mecanismos pueden utilizarse para describir el transporte de fluidos dentro del concreto: (1) permeabilidad, (2) difusión y (3) absorción. La permeabilidad es la medida del flujo del agua bajo un gradiente de presión, la difusión es el movimiento de los iones debido al gradiente de la concentración y la absorción puede ser descrita como la habilidad de los materiales para tomar agua por medio de la succión capilar. El agua de absorción es un indicador útil para estimar la durabilidad de los sistemas cementantes (Trujillo R., 2011).

El Comité ACI 201, en 1991, definió la durabilidad como la capacidad de un concreto de cemento hidráulico para resistir la acción de la erosión, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Los concretos en servicio y bajos los efectos de un ambiente determinado se consideraran durables si son estables en forma, calidad y servicio. Una manera de incrementar la durabilidad del concreto reforzado es utilizando adecuados contenidos de aire, procedimientos de compactación, niveles de uniformidad, relaciones Agua / Cemento bajas y procedimientos y períodos de curado. Para producir un concreto durable se debe tener en cuenta la relación Agua / Cemento, el grado de hidratación del cemento y la acción positiva o negativa de añadirle materiales suplementarios, y/o aditivos, entre otros. El desarrollo de materiales cementantes suplementarios alternativos para intentar sobrellevar los problemas de durabilidad por los factores físico-químicos, ha venido acaparando la atención en el área de la construcción. Una solución viable para obtener un concreto durable es diseñar con una relación Agua /Cemento baja, un consumo de cemento bajo y un consumo maximizado de MCS.



Figura 7: Vigas de concreto después de muchos años de exposición a un suelo con alta concentración de sulfatos en Sacramento, California, terreno de ensayo. Las vigas en mejores condiciones tienen bajas relaciones agua-materials cementantes y muchas de ellas tienen cemento resistente a sulfatos. La foto menor, a la derecha en la parte superior, enseña dos vigas inclinadas sobre sus laterales para mostrar niveles decrecientes de deterioro con la profundidad y el nivel de humedad. (Kosmatka, y otros, 2004).

2.2.1.8. Cambios de volumen en el concreto.

El mayor inconveniente asociado con el concreto como material de construcción es la inestabilidad de su volumen con el paso del tiempo, al igual que otros materiales de construcción, se contrae y se expande con los cambios de humedad y temperatura y se deforma dependiendo de la carga y las condiciones de apoyo, en otras palabras, es propenso a sufrir retracciones y finalmente a presentar fisuras si no se toman las medidas necesarias en el diseño y construcción para soportar dichos movimientos estas grietas o fisuras son fallas que aparecen en el concreto como consecuencia de su debilidad para resistir los esfuerzos de tensión inducida por las retracciones. Las retracciones del concreto toman lugar en dos distintas etapas de su vida: edad temprana y edad tardía (Trujillo R., 2011).

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) (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.

2.2.1.9 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).

2.2.1.10. Contracción Química.

La contracción química se refiere a la reducción en el volumen absoluto de sólidos y líquidos de la pasta, resultante de la hidratación del concreto. El volumen absoluto de los productos hidratados del cemento es menor que el del cemento y del agua antes de la hidratación. Este cambio del volumen de las pastas de cemento en el estado plástico se representa por las dos primeras barras de la figura N°8. No están incluidas las burbujas de aire del mezclado. La contracción (retracción) química es continua a una escala microscópica, mientras que el cemento se hidrata.

Después del fraguado inicial, la pasta no se puede deformar tanto cuanto en el estado plástico. Por lo tanto, se compensan la hidratación y la contracción química adicionales con la formación de vacíos en la micro estructura. La mayor parte de este cambio de volumen es interna y no cambia considerablemente las dimensiones externas visibles del elemento de concreto (Kosmatka, y otros, 2004).

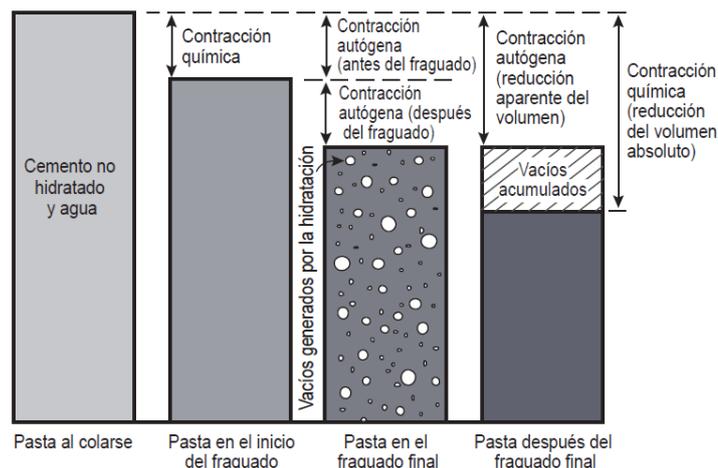


Figura 8: Cambios de volumen por contracción química y contracción autógena de pasta fresca y endurecida (sin escala) (Kosmatka, y otros, 2004)

2.2.1.11. 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. 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. La relación entre contracción autógena y contracción química se presenta en las ilustraciones N°09 y 010. 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 la desecación del concreto por falta de curado.

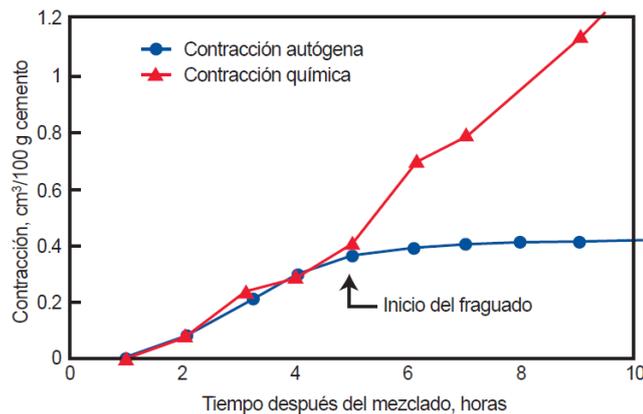


Figura 9: Relación entre contracción autógena y contracción química de la pasta a edades tempranas según Hammer citado por Kosmatka (Kosmatka, y otros, 2004)

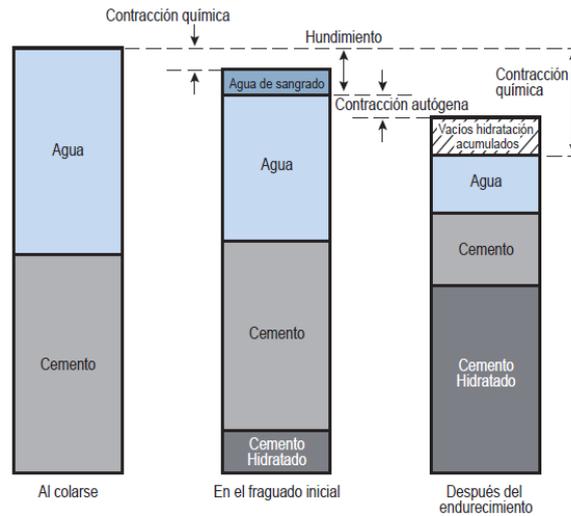


Figura 10: Relación volumétrica entre hundimiento (asentamiento), agua de sangrado, contracción química y contracción autógena. Sólo se muestra la contracción autógena después del inicio del fraguado. Sin escala (Kosmatka, y otros, 2004)

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).

El uso reciente de concretos de alto desempeño y baja relación agua-cemento, en puentes y otras estructuras, ha reanudado el interés en la contracción autógena, a fin de controlar el desarrollo de fisuras. Los concretos altamente susceptibles a contracción autógena se deben curar con agua externa, por un periodo de, por lo menos, 7 días a fin de ayudar a controlar el desarrollo de grietas. Se deben proporcionar el rociado y la niebla, tan pronto se coloca el concreto. La hidratación de los materiales cementantes suplementarios también contribuye para la contracción autógena, pero en un nivel diferente del cemento portland (Kosmatka, y otros, 2004).

- **Hundimiento.**

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° 11 (Kosmatka, y otros, 2004).

- **Contracción Plástica**

Contracción plástica se refiere a los cambios que ocurren mientras el concreto aún está en estado fresco, antes de endurecerse. 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. La contracción plástica resulta de la combinación de la contracción (retracción) química y autógena y la rápida evaporación de la humedad de la superficie, superando la tasa de sangrado (exudación). 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).



Figura 11: Las fisuras por contracción plástica se aparecen con rasgaduras en el concreto fresco (Kosmatka, y otros, 2004)

- **Expansión.**

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 autodesecación, 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).

- **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).

2.2.1.12. Cambios de humedad (contracción por secado) del concreto endurecido.

El concreto endurecido se expande ligeramente con el aumento de la humedad y se contrae con la pérdida de la misma. Los efectos de estos ciclos de humedad se ilustran esquemáticamente en la figura N°12 La probeta A representa el concreto almacenado constantemente en agua desde su colocación. La probeta B representa el mismo concreto expuesto primeramente al secado al aire y después a ciclos alternados de humedecimiento y secado (Kosmatka, y otros, 2004).

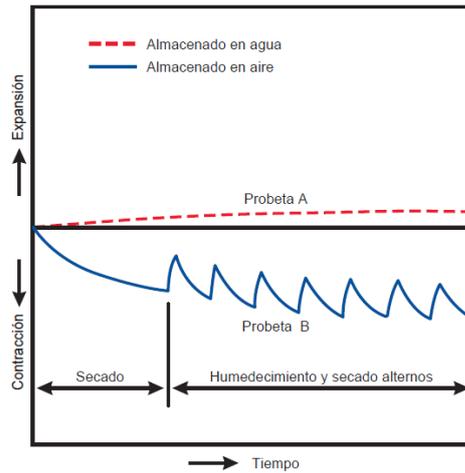


Figura 12: figura esquemática de los movimientos de la humedad en el concreto. Si se conserva el concreto constantemente húmedo, ocurre una pequeña expansión. Sin embargo, normalmente también ocurre el secado, causando contracción. Humedecimiento y secado adicionales causan ciclos alternados de expansión y contracción (Roper 1960).

Se observa que la expansión que ocurre durante el almacenamiento húmedo continuo durante un periodo de varios años es normalmente menor que 150 millonésimos. Esto es cerca de un cuarto de la contracción del concreto secado al aire durante el mismo periodo. La figura N°13 muestra que hay una expansión de los concretos sujetos a curado húmedo por siete días, seguida de contracción, cuando se los sella o se los expone al secado al aire. La contracción (retracción) autógena reduce el volumen de los concretos sellados a un nivel aproximadamente igual a la magnitud de la expansión a siete días. Observe que los concretos curados con humedad por siete días tuvieron menos contracción autógena y por secado que el concreto sin curado húmedo. Esto muestra la importancia del curado húmedo temprano para minimizar la contracción (Kosmatka, y otros, 2004).

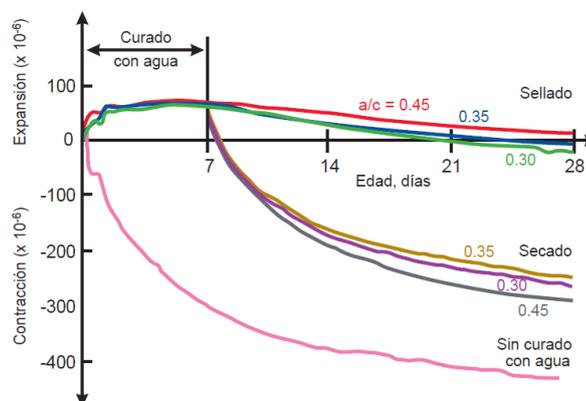


Figura 13: Cambio de longitud de especímenes de concreto expuestos a diferentes regímenes de curado (Aïtcin 1999).

2.2.1.13. Efecto del Curado Sobre la Contracción por Secado.

La duración y el tipo de curado pueden afectar la tasa y la cantidad final de la contracción por secado. Los compuestos de curado, selladores y revestimientos pueden retener la humedad libre en el concreto por largos periodos de tiempo, retrasando la contracción por secado. Los métodos de curado húmedo, tales como la niebla, el rociado o materiales húmedos, retardan la contracción hasta que el curado se haya acabado, después de los cuales, el concreto se seca y se contrae a una tasa normal. Temperaturas iniciales de curado más bajas pueden disminuir la contracción por secado (Figura N° 14). El curado al vapor también reduce la contracción por secado. E incluso, están disponibles programas de computadora para predecir el efecto del curado y de las condiciones ambientales sobre la contracción y el agrietamiento (Kosmatka, y otros, 2004).

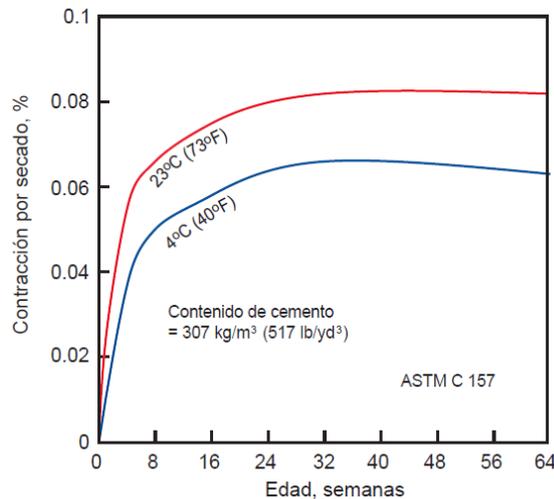


Figura 14: Efecto del curado inicial sobre la contracción por secado de prismas de concreto de cemento portland. El concreto con curado húmedo inicial de siete días a 4°C (40°F) tuvo menos contracción que un concreto con curado húmedo inicial a 23°C (73°F). Se obtuvieron resultados similares en concretos conteniendo 25% de ceniza volante como parte del material cementante (Gebler y Klieger 1986).

2.2.1.14. Algunas maneras de mitigar la retracción autógena.

El término: “curado”, se usa frecuentemente para describir el proceso mediante el cual el concreto de cemento hidráulico desarrolla con el tiempo las propiedades en estado endurecido que resultan de la continua hidratación del cemento, en presencia de suficiente cantidad de agua. Debido a que en concretos de alta resistencia, el curado convencional con agua, que se recomienda para los concretos convencionales, resulta ser insuficiente para una buena hidratación, ya

que sólo se cura de manera eficientemente los primeros centímetros hacia el interior del concreto a partir de la superficie expuesta al ambiente. Por tal motivo, el curado interno ha sido propuesto como un método para mitigar la retracción autógena, ya que estos métodos representan una reserva de agua dentro del concreto que contribuye al curado cuando se presenta la auto desecación, minimizando tanto a la propia auto desecación como a la retracción autógena. Por lo cual como un tipo de curado interno, se propone el curado interno mediante la saturación de agregado grueso (Trujillo R., 2011).

2.2.2 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 re-moldeada.

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.

2.2.2.1. Generalidades de los concretos 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 CO₂ 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.

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.

2.2.3. El curado del concreto

Según Kosmatka, y otros, 2004, el curado es la manutención 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 concreto.

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° 15 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).

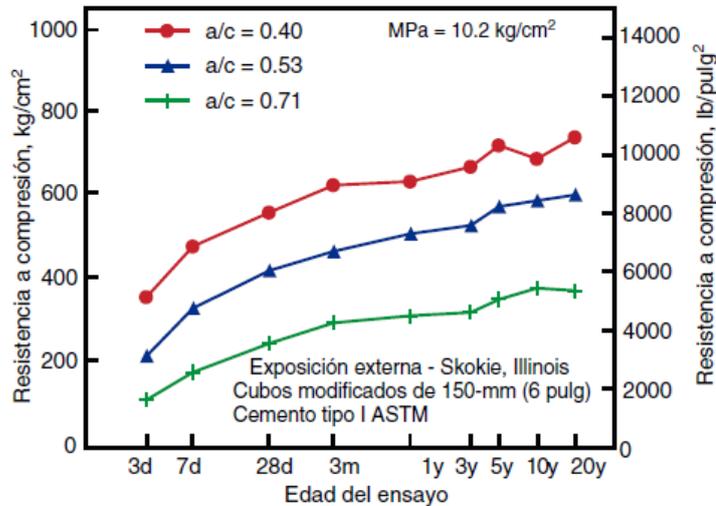


Figura 15: Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre, Fuente: Kosmatka, Kerhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

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 descolorir 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 sulfítica), 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.

2.2.4. 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° 16, 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.

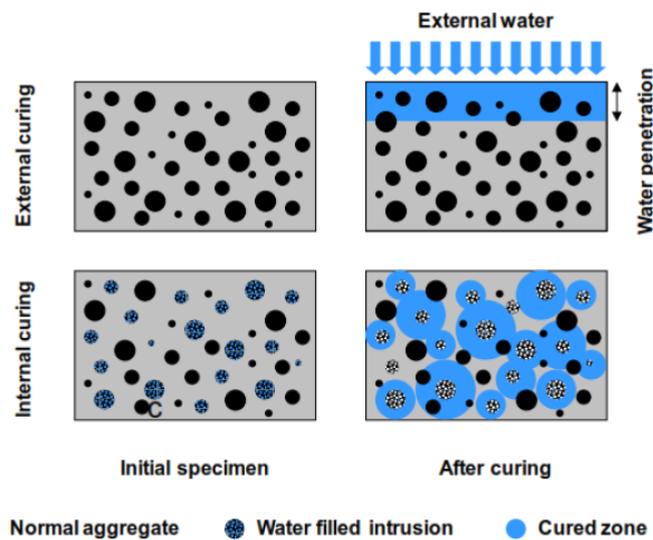


Figura 16: Esquema comparativo del curado interno y externo Fuente: Robert Philleo, 1991.

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 desarrollo 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 cm³ 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 espaciado inicial entre las partículas de cemento y por lo tanto el espaciado 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. 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.

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 (An/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.

2.2.4.1. 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 se ha hidratado o si la permeabilidad de la pasta es muy baja y no permite el transporte de agua.

2.2.4.2. 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/m³ de hormigón (Holm, 2003) y de hasta 190 l/m³ 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).

2.2.4.3. 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 reemplazar 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 microsilica. 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, microsilica y ceniza volante. Se consideró además dos tipos de agregado, arena silicea 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° 15. La disminución o eliminación de la retracción autógena se debe a que la fuente del curado interno no permite que la humedad relativa decazca en el sistema de poros.

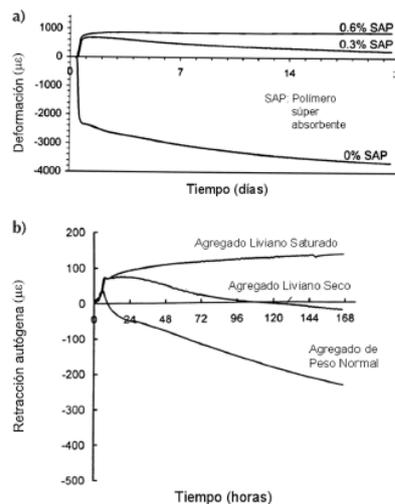


Figura 17: Efecto del curado Interno en la Retracción Autógena. Fuente: Jensen y Hansen, 2002 y Bentur 2001

Cabe destacar que las mezclas sometidas a curado interno mostradas en la Figura N° 17, 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° 16 (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 microsilica. 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° 18 (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.

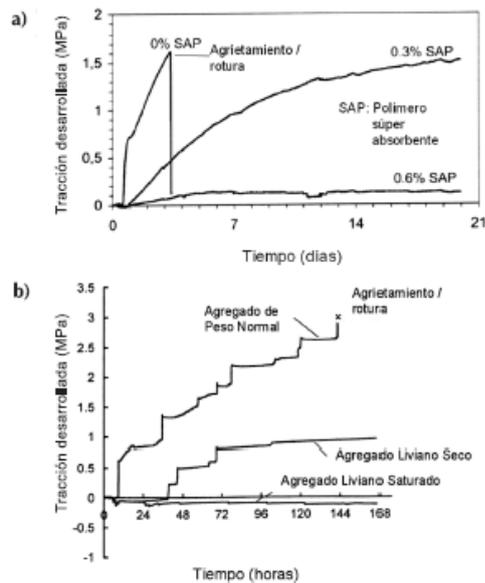


Figura 18: Efecto de curado interno en el Agrietamiento
Fuente: Jensen y Hansen, 2002 y Bentur 2001

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° 19, 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.

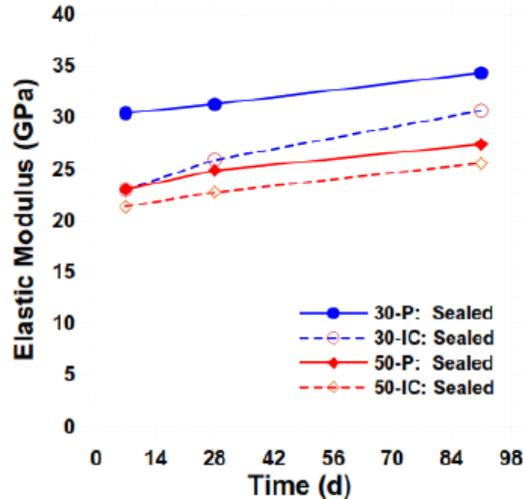


Figura 19: Efecto de curado interno en el Modulo de elasticidad
Fuente: Weiss, Yang, y Shah, 1999.

2.2.4.4. Diferentes tipos de 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.

- **Agua de mezclado**

El comité 116 del American Concrete Institute (ACI-116) define agua de mezclado como el agua presente en concreto, mortero o grout 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 et al., 2003).

- **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).

- **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.

- **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.

Necesidad de curado

Mehta y Monteiro (1993) 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.

El curado es necesario no sólo para alcanzar la resistencia requerida sino para alcanzar el óptimo en todas las propiedades del hormigón. Se requiere de un

adecuado suministro de humedad para asegurar la hidratación de los materiales cementicios, reducir así la porosidad y maximizar las propiedades mecánicas y durabilidad (Mindess et al., 2003).

Powers (1947) demostró que si la humedad relativa en los capilares baja de 80%, la hidratación se detiene. Esto implicaría que si las condiciones de humedad relativa del ambiente son mayores a 80 % no habría necesidad de suministro de agua externamente. Neville (1996) concluye que en la práctica debido al viento, diferencias en temperatura y otros, siempre habrá migración de humedad desde el hormigón hacia el ambiente, por lo que "curado natural" no existe.

Kosmatka et al., (2002) concluyen que el agua de mezclado en hormigones convencionales es usualmente mayor que el agua requerida para la hidratación del cemento. Sin embargo, pérdidas de agua desde el hormigón al ambiente pueden retrasar o incluso detener la hidratación. La Figura 20 es presentada por Kosmatka et al., (2002) como una evidencia

empírica el efecto del suministro externo de agua de curado en la resistencia a compresión del hormigón.

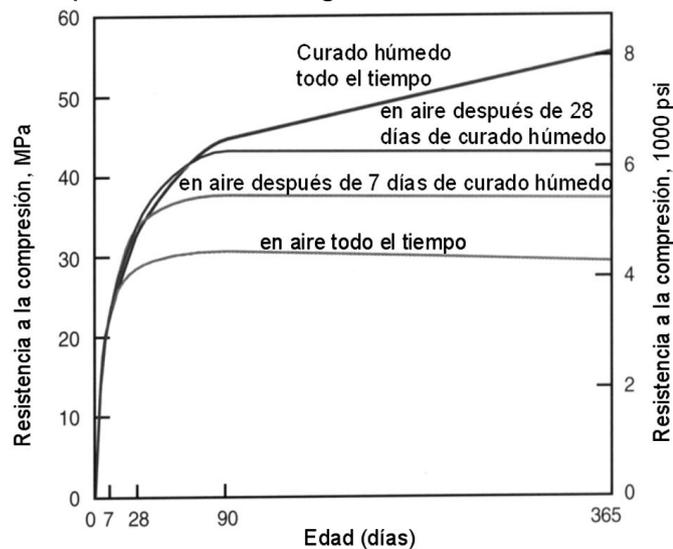


Figura 20: Efecto del tiempo de curado en la resistencia del hormigón (Kosmatka et al., 2002).

2.2.5. Curado interno en concretos con material cerámico

Mientras que el curado interno ha sido inadvertidamente incluido en muchos concretos ligeros producidos dentro de los últimos 100 años, es sólo en la primera década del siglo XXI que esta tecnología ha sido usada intencionalmente en mezclas de concreto en la fase de dosificación, utilizando una variedad de materiales que incluyen agregados de peso ligero pre-humedecidos, partículas súper absorbentes y fibras de madera pre-humedecidas.

Hoy en día se usan mezclas curadas internamente en distintas obras a nivel mundial, arrojando resultados satisfactorios y concretos con iguales resistencias a las de un concreto curado normalmente, se han evidenciado menores fisuras, y así, mejores comportamientos de la mezcla en puentes y otras estructuras de concreto masivo.

Recientes investigaciones muestran algunas de las conclusiones a que se ha llegado al estudiar el comportamiento de mezclas con curado interno, utilizando ciertas variables como reemplazo del agregado grueso por agregados de peso ligero, en porcentajes que varían entre 0.0% y 33.0%, condiciones de curado como sellado y no sellado, y relaciones a/c entre 0.30 y 0.55:

- La permeabilidad al ion cloruro de concretos con curado interno es inferior al concreto convencional (aproximadamente 35% a 91 días).
- El contenido de iones cloruro es mayor en la superficie, pero su valor disminuye a bajas profundidades, especialmente con las edades.

- Las mezclas con agregado liviano saturado o polímeros súper absorbentes presentan considerablemente menos contracción por secado que las mezclas sin curado interno. En algunos casos la contracción ha sido completamente eliminada.

Otros estudios han demostrado que la inclusión de materiales como los residuos de tejas hechas por la quema de arcilla, incrementan considerablemente la resistencia a la compresión de mezclas de concreto cuando se reemplaza su agregado grueso en proporciones alrededor del 20% y 40% (Seiki, et al, 2010). En la Figura 21 y Figura 22 se presentan las gráficas de la resistencia a la compresión para las mezclas de concreto hechas con porcentajes de adición de ceniza volante y material cerámico poroso, en las que se observa que las resistencias a la 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 la mezcla con adiciones de ceniza volante tanto a los 28 días como a los 90 días. Mientras que la mezcla con reemplazo del 40% tiene una resistencia a la compresión mayor sólo a los 90 días.

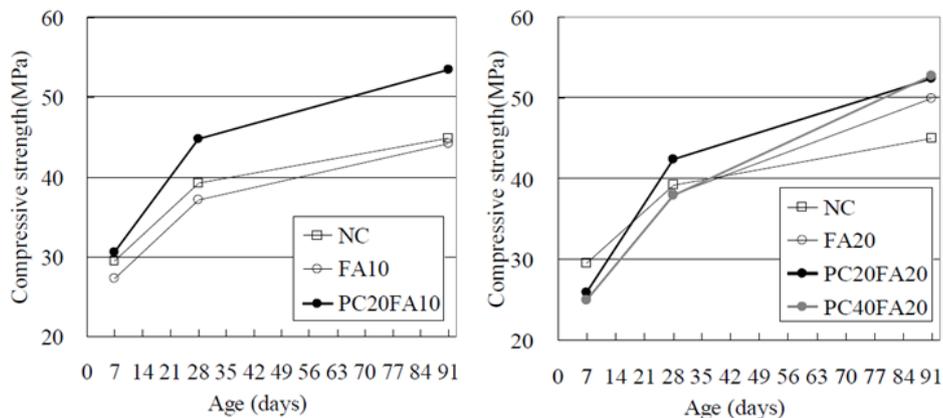


Figura 21. Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.50$.

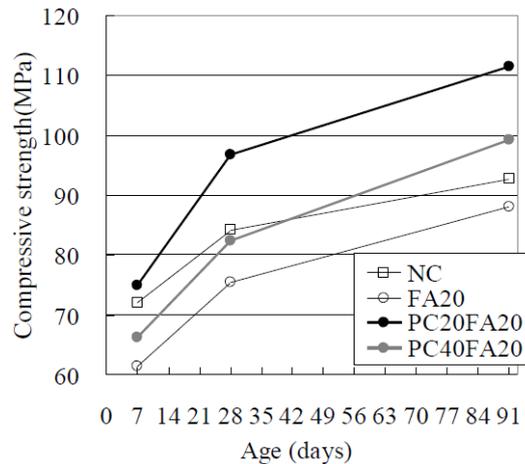


Figura 22: Efectos de la sustitución del agregado grueso por material cerámico en la resistencia a la compresión del concreto. $a/c = 0.30$.

En la actualidad se están usando cada vez con mayor frecuencia los llamados concretos de alta resistencia, los cuales son más susceptibles de fisurarse internamente debido a las bajas relaciones a/c que se manejan, es ahí donde el curado interno con materiales cerámicos o materiales súper absorbentes juega un papel muy importante en el desarrollo de estos concretos.

En muchos casos el desempeño de los concretos de alta resistencia ha mejorado considerablemente con la implementación del curado interno, se han obtenido resultado como reducir al mínimo la contracción por secado y mejoras en la resistencia a la compresión a los 28 días.

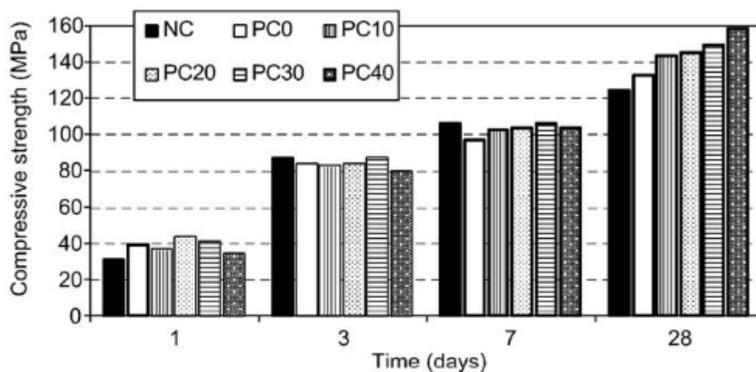


Figura 23: Efectos de la adición de agregados cerámicos porosos en el desarrollo de la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia.

En la Figura 23 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.

2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Ante la situación presentada y en búsqueda de posibles soluciones, surge las siguientes interrogantes.

2.3.1 Problema General

- ¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la adición de material cerámico (ladrillo triturado), referente a la retención de humedad?

2.3.2 Problemas Específicos

- ¿Qué porcentaje de material cerámico (ladrillo triturado) será óptimo para que el concreto logre el curado interno aceptable?
- ¿Qué efectividad tiene el curado interno en relación al curado del concreto sumergido en agua?
- ¿Cuál será la variación de resistencia a compresión del concreto con respecto al curado interno y curado sumergido en agua?

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo General:

Evaluar el curado interno del concreto adicionado material cerámico (ladrillo triturado) con porcentajes de remplazo al agregado grueso referente a la retención de humedad.

2.4.2 Objetivos Específicos:

- A) Determinar la cantidad necesaria de material cerámico (ladrillo triturado) para obtener un buen curado interno del concreto.
- B) Analizar la efectividad del curado interno adicionando material cerámico (ladrillo triturado) con respecto al curado de concreto sumergido en agua.
- C) Determinar qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la adición de material cerámico (ladrillo triturado) referente a la resistencia a la compresión, a edades de 7,14 y 28 días, en comparación al curado sumergido en agua.

2.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

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. 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.

Con él 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 ciudad de Huánuco y el país, encontrándose en la práctica escasos antecedentes locales de este tipo de curado.

2.6 LIMITES Y ALCANCES

Las limitaciones para la investigación son las siguientes:

- El trabajo de investigación constara de estudios de pregrado, con la aplicación de todo lo aprendido en las aulas universitarias, además de información extra de libros, publicaciones y asesoramiento de especialistas.
- No se encontró mucha información bibliográfica a disposición, del tema en la ciudad de Huánuco, por lo que quizá sea el primero de este tipo en nuestra ciudad.

El curado interno adicionado material cerámico se realizará con la trituración de ladrillo King Kong tipo estructural realizando los ensayos para determinar la resistencia a la compresión según la norma E 060 CONCRETO ARMADO.

2.7 HIPÓTESIS

2.7.1 Hipótesis general:

El curado interno mediante adiciones de material cerámico (ladrillo triturado) en ciertos porcentajes de reemplazo de agregado grueso (10%,20% y 30%) es más efectivo en retención de humedad que los curados sumergido en agua.

2.7.2 Hipótesis específicas:

- La adición de 10%, 20% y 30% de material cerámico (ladrillo triturado) con respecto al agregado grueso, generara el curado interno del concreto.
- El curado interno será un 2.76% más efectivo empleando material cerámico (ladrillo triturado) a la mezcla de concreto en comparación al curado sumergido en agua.
- El curado interno mediante la adición de material cerámico (ladrillo triturado) a la mezcla de concreto será 5.74% más efectivo la resistencia a la compresión en comparación a un concreto curado sumergido en agua.

2.8 VARIABLES Y DIMENSIONES

2.8.1 Variables Independientes:

- ❖ Incorporación de material cerámico

2.8.2 Variables Dependientes:

- ❖ Comportamiento estructural del concreto
- ❖ Curado interno del concreto

2.9 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES Y DIMENSIONES

VARIABLE	TIPO	HIPOTESIS	INDICADORES	MEDICION	RANGO DE VIABILIDAD
Incorporación de material cerámico	INDEPENDIENTE	<p><u>HIPOTESIS GENERAL:</u></p> <p>El curado interno mediante adiciones de material cerámico (ladrillo triturado) en ciertos porcentajes de reemplazo de agregado grueso (10%,20% y 30%) es más efectivo en retención de humedad que los curados sumergido en agua.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIF.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La adición de 10%, 20% y 30% de material cerámico (ladrillo triturado) con respecto al agregado grueso, generara el curado interno del concreto. • El curado interno será un 2.76% más efectivo empleando material cerámico (ladrillo triturado) a la mezcla de concreto en comparación al curado sumergido en agua. • El curado interno mediante la adición de material cerámico (ladrillo triturado) a la mezcla de concreto será 5.74% más efectivo la resistencia a la compresión en comparación a un concreto curado sumergido en agua. 	Cantidad de material cerámico	% en peso % en volumen	10% y 30%
			Contenido de humedad	%	3% y 5%
			Absorción del material cerámico	%	3% y 5%
comportamiento estructural del concreto	DEPENDIENTE		trabajabilidad	pulg.	-----
			relación agua / cemento	-----	0.42
			resistencia a la compresión	kg/cm ²	-----
			calidad de materiales	-----	-----

2.10 UNIVERSO/POBLACIÓN Y MUESTRA

Según el reglamento E 060 CONCRETO ARMADO: Capítulo 5, ítem 5.3.1.1 Deben consistir en al menos 30 ensayos consecutivos, o de dos grupos de ensayos consecutivos totalizando al menos 30 ensayos como se define en 5.6.2.3, excepto por lo especificado en 5.3.1.2.

Por lo tanto, realizaremos 30 ensayos por tipo de mezcla, el cual curado interno con adición de material cerámico, curado con agua sumergida.

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

Edad de Ensayo	curado por inmersión (patrón)	Curado interno			Total
		remp 10%	remp 20%	remp 30%	
7 días	10	10	10	10	40
14 días	10	10	10	10	40
28 días	10	10	10	10	40
Total	30	30	30	30	120

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

- 3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO
- 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN
- 3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN
- 3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
- 3.5 METODOLOGIA DE ESTUDIO
- 3.6 TECNICAS Y EQUIPOS UTILIZADOS
- 3.7 MATERIALES A UTILIZAR

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

La presente tesis tubo como lugar de investigación la ciudad de Huánuco, capital de la provincia y del Departamento de Huánuco. Está situada a 1912 msnm en el valle formado por el rio Huallaga, está es la tierra templada de la vertiente oriental de los Andes centrales. Sus coordenadas geográficas 9°55'46" de latitud sur y 76°14'23" de longitud Oeste. Característica importante y con repercusión en esta tesis es el clima, el cual por su ubicación se puede denominar como seco y soleado, con una temperatura promedio de 24 °C, llamado por propios y visitantes como "*La ciudad del mejor clima del mundo*", es tan agradable y benigno su clima que el sol brilla todo el año, en un cielo limpio con un resplandeciente celeste intenso. Su temperatura más baja es en el invierno, es decir en los meses de julio y agosto (21 °C en el día y 17 °C en las noches) y la temperatura más alta es en la primavera, en los meses de noviembre y diciembre (30 °C en el día), 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, donde se realizaron los especímenes de concreto y la aplicación de los curados de los tratamientos.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

➤ **Según la intervención del investigador**

La investigación es EXPERIMENTAL ya que es analítico y de nivel investigativo, "explicativo".

➤ **Según la planificación de toma de datos**

La investigación será PROSPECTIVO, los datos son recogidos a propósito de la investigación (Primarios). Por lo que posee control de sesgo de medición.

➤ **Según el número de ocasiones en que se mide la variable**

La investigación será TRANSVERSAL, todas las variables son medidas en una sola ocasión.

➤ **Según el número de variables de interés**

La investigación será ANALITICO, los diferentes resultados serán analizados ampliamente mediante sus correspondientes variables los mismos que nos permiten llegar a conclusiones valiosas para contrastar la hipótesis.

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El estudio se hará a nivel Descriptivo – Analítico.

- **Descriptiva.**

Comprende el proceso de identificación, descripción, caracterización, evaluación de aspectos, dimensiones o componentes tanto del tipo de suelo como de las estructuras de defensa a plantearse.

- **Explicativo.**

Explica el comportamiento de una variable en función de otra(s); por ser estudios de causa efecto requieren control y deben cumplir otros criterios de casualidad.

Analítico. Los diferentes resultados serán ampliamente analizados y comparados con modelos de estudio, los mismos que nos permitirán llegar a conclusiones valiosas para verificar la hipótesis.

3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

- **Esquema de la investigación**

1. Investigación bibliográfica de los libros e investigaciones relacionadas a nuestro tema (antecedentes), información de docentes ingenieros que conocen sobre el tema en estudio, etc.
2. Identificación de los materiales y del material cerámico y obtener sus propiedades.
3. Caracterización física de los materiales a ser utilizados para la elaboración del curado interno del concreto, como:
 - peso volumétrico
 - análisis granulométrico
 - capacidad de absorción de agua
 - contenido de humedad
 - masas unitarias
 - contenido de finos y sustancias perjudiciales.
4. Elaboración de la mezcla.
5. Realizar ensayos de laboratorio para conocer la resistencia a la compresión del concreto a condiciones normales y adicionadas material cerámico.
6. Analizar los resultados obtenidos, guiándonos de los antecedentes en estudio.
7. Realizar un aporte o un diseño de mezcla que cumpla con la resistencia adecuada y tengas las demás características de un buen concreto.
8. Conclusiones y Recomendaciones
9. Elaboración del Informe final.

➤ Metodología de la investigación

Para el desarrollo de la investigación de Tesis, se seguirá los 8 pasos descritos anteriormente. El tiempo de ejecución de cada ítem se describirán más adelante en el cronograma de acciones.

3.5 METODOLOGIA Y CRITERIOS DE DISEÑO

- IDENTIFICACION DE LOS MATERIALES PARA LA ELABORACION DEL ESTUDIO

Los agregados que vamos a utilizar en esta investigación son provenientes de la cantera “Andabamba”, este material es extraído por explotación a cielo abierto y el proceso para obtener las diferentes dimensiones del agregado que conforma una granulometría apta para el diseño de concretos.

- 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.

- DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE LOS TRATAMIENTOS.

Se planteó el diseño de mezcla a utilizar, para el cual utilizamos el método ACI, 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 10%, 20% y 30% 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, y con el tratamiento de curado interno..

- 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; 30 probetas curadas por inmersión y 90 empleando el curado interno (30 para cada porcentaje planteado: 10, 20 y 30%). 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)

- APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO DE CURADO A LOS ESPECÍMENES DE ESTUDIO.

- Tratamiento de especímenes cilíndricos de concretos curados con rociado de agua.

Este curado consistió en que después de haber desmoldado los especímenes de concreto fueron rociarlos con agua, lo cual se realizó cada día en los 7 primeros días de edad del concreto, dos veces al día, una vez en la mañana y otra en la tarde.

- Tratamiento de especímenes cilíndricos 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 de concreto sumergiéndolos en agua de curado. La Norma indica que Transcurridas 24 ± 8 horas después de elaborar los especímenes, estos 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 saturó el agua con cal viva (ASTM C 31M–08a , 2008)

- Tratamiento de especímenes cilíndricos de concreto con curado interno del concreto.

Consistió en elaborar los especímenes cilíndricos de concreto utilizando agregado grueso saturado al máximo por 72 horas.

- OBTENCIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE ESTUDIO.

Los datos de la resistencia a compresión de los 120 especímenes de concreto elaborados, se obtuvieron mediante las consideraciones para este ensayo de resistencia a compresión que se describen en La Norma ASTM C 39. (ASTM C 39, 1999)

- OBTENCIÓN DE DATOS DE HUMEDAD DE LAS UNIDADES DE ESTUDIO.

Luego de haber ensayado los especímenes cilíndricos de concreto a compresión se procedió a tomar muestras representativas de estos especímenes para realizar el ensayo de contenido de humedad de los mismos, tomando en cuenta que la profundidad de la muestra de concreto sea la misma para todos los especímenes.

- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

Luego de obtener los datos de resistencia a la compresión a edades de 7, 28 y 90 días de todos los tratamientos y el contenido de humedad de estos especímenes, se procedió a determinar el desarrollo de la resistencia a la compresión de cada tratamiento, así como la relación de estos desarrollos con el contenido de humedad, para encontrar una relación entre el aumento de la resistencia a la compresión con la retención de humedad del tratamiento de curado aplicado. Asimismo, los resultados obtenidos sirvieron para ser comparados con los indicadores dados en las hipótesis de esta investigación, a fin de hacer su contrastación (evaluar la certeza o falsedad de las hipótesis).

3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS

3.6.1. MUESTREO DE CONCRETO FRESCO (RESUMEN ASTM C172)

Esta práctica cubre procedimientos para la obtención de muestras representativas de concreto fresco obtenidas en sitio, además se describe el método de tamizado en húmedo para remover partículas en el concreto de tamaño mayor al especificado en la norma de ensayo.

Además, intenta proporcionar los estándares requeridos y procedimientos para obtener muestras de concreto fresco de los diferentes contenedores utilizados en la producción o transporte del mismo.

MUESTRA:

El tiempo para obtener la muestra compuesta no debe exceder de 15 minutos, entre la obtención de la primera y última porción de muestra. Transportar las muestras individuales al lugar donde el concreto va a ser experimentado las mismas que deben ser combinadas y premezcladas con una pala para asegurar su uniformidad.

Iniciar las pruebas de revenimiento, temperatura y contenido de aire dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la última porción de la muestra compuesta. Además iniciar el moldeo de cilindros dentro de los 15 minutos siguientes a la fabricación de la muestra compuesta. Proteger la muestra del sol, aire u otros causantes de su rápida evaporación y de la contaminación.

PROCEDIMIENTO:

Obtener una muestra representativa

a) *Tamaño de la muestra.*- tomar una muestra mínima de 28 litros (1 pie 3) si se va a fabricar especímenes para ensayos de resistencia, muestras más pequeñas pueden ser utilizadas para ensayos de contenido de aire, temperatura y revenimiento. (Párr.5.1).

b) *Muestreo de mezclador estacionario.*- la muestra de concreto debe ser obtenida de dos o más porciones tomadas en intervalos de espacios regulares durante la mitad de la caída del concreto. Obtener dichas porciones con el límite de tiempo especificado anteriormente. No se debe obtener las porciones de la muestra compuesta de la primera y última descarga. Tener cuidado de no restringir el flujo del mezclador, camión o unidad de transporte para así no causar segregación.

3.6.2. PROCEDIMIENTO PARA MUESTREO DE CONCRETO CON TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO GRANDE:

Cuando el concreto contenga agregado más grande que el apropiado para los moldes o equipo que se utilizará, proceda con el tamizado húmedo descrito a continuación, excepto para el ensayo de peso unitario con aplicación en cálculos de rendimiento.

a) *Tamizado húmedo del concreto.*- Es el proceso de remover los agregados más grandes que el tamaño señalado para el concreto fresco, cribándolo en un tamiz del tamaño indicado. (Párr. 6.2.1)

b) Equipo.- Tamices, señalados de acuerdo con las especificaciones ASTM. (Párr. 6.3.1).

c) Herramientas manuales. - Se requieren palas, cucharones, paletas de enlucido y guantes de caucho. (Párr. 6.3.3)

d) Procedimiento para el tamizado húmedo.-Luego de muestrear el concreto páselo sobre el tamiz indicado y retire el agregado retenido. Esto se debe hacer antes del remezclado.

Agite o vibre el tamiz manual o mecánicamente hasta que no quede material menor al tamiz en la criba. El mortero adherido al agregado retenido no debe ser limpiado antes de ser desechado. Coloque solamente el material suficiente en el tamiz. El concreto que pasa el tamiz deberá caer en un recipiente de tamaño adecuado, el mismo que deberá estar humedecido antes de usarlo con su superficie limpia, húmeda y no absorbente. Raspe el mortero adherido en las paredes del equipo para tamizado húmedo y colóquelo en el lote. Después de remover las partículas más grandes por el tamizado húmedo, re-mezcle el lote con una pala la mínima cantidad necesaria para asegurar la uniformidad y proceda inmediatamente con los ensayos. (Párr. 6.4.1)

CONSIDERACIONES GENERALES

Tiempo:

- No se debe exceder de 15 minutos entre obtener la primera y la última porción de la muestra compuesta.
- Los ensayos de asentamiento, temperatura y contenido de aire, se deben iniciar dentro de los siguientes 5 minutos después de obtener la última porción de la muestra compuesta.
- El moldeo de cilindros para el ensayo de resistencia se lo debe empezar dentro de 15 minutos después de fabricar la muestra compuesta.

3.6.3 ENSAYOS A LOS MATERIALES A UTILIZARSE PARA EL DISEÑO DEL CONCRETO

3.6.3.1 AGREGADOS:

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

APARATOS

- **Balanzas:** Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino, grueso y global deberán tener la siguiente exactitud y aproximación: Para agregado fino, con

aproximación de 0,1 g y exacta a 0,1 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

Para agregado grueso o agregado global, con aproximación y exacta a 0,5 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

- Tamices: Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001.
- Horno: Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

MUESTREO 7.1 Tomar la muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010.
El tamaño de la muestra de campo deberá ser la cantidad indicada en la NTP 400.010

MUESTREO

Tomar la muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010.
El tamaño de la muestra de campo deberá ser la cantidad indicada en la NTP 400.010

Mezclar completamente la muestra y reducirla a la cantidad necesaria para el ensayo utilizando los procedimientos descritos en la práctica normalizada ASTM C 702. La muestra para el ensayo será aproximadamente de la cantidad deseada cuando esté seca y deberá ser el resultado final de la reducción. No se permitirá la reducción a una cantidad exacta predeterminada.

Agregado fino: La cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, será de 300 g mínimo.

Agregado grueso: La cantidad de muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo indicado en la Tabla 1.
NORMA TÉCNICA NTP 400.012 PERUANA 5 de 14

Muestras de agregado grueso: La cantidad de muestra requerida para agregados con tamaños máximos nominales a 50 mm o mayores debe ser tal como para evitar la reducción de la muestra y ensayarla como una unidad; excepto con cuarteador y agitador mecánico de tamices de capacidad suficiente. Cuando no se disponga de estos equipos, en lugar de combinar y mezclar incrementos de muestra para luego reducirla a una muestra de ensayo, como una opción, se puede realizar el tamizado de aproximadamente igual número de

incrementos de tal modo que el total de la masa ensayada cumpla con los requisitos. En el caso que la determinación de la cantidad de material más fino que la malla 75 μm (No. 200) sea realizada mediante el método descrito en 7.7.1

Para agregados con tamaño máximo nominal de 12,5 mm (1/2 pulgadas) o menores, utilizar la muestra de ensayo que se utiliza en la NTP 400.018 y este método. Primero ensayar la muestra de acuerdo con la NTP 400.018 completando la operación de secado final, luego tamizar la muestra en seco como se estipula en los apartados 8.2 hasta 8.7 de la presente NTP. 7.7.2 Para agregados con tamaño máximo nominal mayores a 12,5 mm (1/2 pulgadas) se puede utilizar una muestra de ensayo simple como se describe en el apartado 7.7.1 o se puede utilizar una muestra simple separada por el método de ensayo que describe la NTP 400.018. 7.7.3 Cuando la especificación requiera la determinación de la cantidad total de material más fino que la malla de 75 μm (No. 200) por lavado y secado.

PROCEDIMIENTO

Secar la muestra a peso constante a una temperatura de 110 ° C \pm 5° C. Se seleccionarán tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario para obtener otra información, tal como módulo de fineza o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un período suficiente, establecido por tanda o verificado por la medida de la muestra ensayada, para obtener los criterios de suficiencia o tamizado descritos.

Limitar la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas menores que 4,75 mm (N° 4), la cantidad retenida sobre alguna malla al completar el tamizado no excederá a 7 kg/m² de área superficial de tamizado (NOTA 5). Para tamices con aberturas de 4,75 mm (N° 4) y mayores, la cantidad retenida en kg no deberá sobrepasar el producto de 2,5 x (abertura del tamiz en mm x (área efectiva de tamizado, m²)). Esta cantidad se

muestra en la Tabla 1 para 5 dimensiones de tamices de uso común. En ningún caso la cantidad retenida será mayor como para causar deformación permanente al tamiz.

Prevenir una sobrecarga de material sobre un tamiz individual por uno de los siguientes procedimientos:

Colocar un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices.

Separar la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individual. Combinar las masas de cada porción retenidas sobre un tamiz especificado antes de calcular el porcentaje de la muestra sobre el tamiz.

Utilizar tamices de mayor armazón que provean mayor área de tamizado.

Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal manera que al final no más del 1 % de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante 1 min de tamizado manual como sigue: Sostener firmemente el tamiz individual con su tapa y fondo bien ajustado en posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear el filo contra el talón de la otra mano con un movimiento hacia arriba y a una velocidad de cerca de 150 veces por min, girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes. En la determinación de la eficacia del tamizado para medidas mayores de 4,75 mm (Nº 4), limitar a una capa simple de partículas sobre el tamiz. Si la medida del tamiz hace impracticable el movimiento de tamizado descrito, utilizar el tamiz de 203 mm de diámetro (8 pulgadas) para verificar la eficiencia del tamizado.

En el caso del agregado global, la porción de la muestra más fina que el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) puede ser distribuida entre dos o más juegos de tamices para prevenir la sobrecarga de los tamices individuales; con el fin de facilitar la acción del tamizado. Alternativamente, la porción más fina que la malla de 4,75 mm (Nº 4), puede ser reducida utilizando un sacudidor mecánico de acuerdo con el método ASTM C 702. Si se siguió este procedimiento, calcular la masa del incremento de cada medida de la muestra original como sigue:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad \dots \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

A = masa del incremento de la medida sobre la base de la muestra total.

W1 = masa de la fracción más fina que la malla de 4,75 mm (Nº 4) en la muestra total.

W2 = masa de la porción reducida de material más fino que la malla de 4,75 mm (Nº 4) efectivamente tamizada.

B = masa del incremento en la porción reducida tamizada.

A no ser que se utilice un sacudidor mecánico, tamizar manualmente las partículas mayores que 75 mm (3 pulgadas) para la determinación de las aberturas menores de tamiz a través de las que cada partícula debe pasar. Empezar con el menor tamiz utilizado. Alternar las partículas, si es necesario, para determinar si pasarán a través de una abertura particular; de cualquier modo no fuerce las partículas a pasar a través del tamiz.

Determinar la masa de cada incremento de medida sobre una balanza conforme a los requerimientos especificados en el apartado 5.1 aproximando al 0,1 % más cercano de la masa total original de la muestra seca. La masa total de material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0,3 %, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación. 8.8 Si la muestra fue previamente ensayada por el método descrito en la NTP 400.018, adicionar la masa del material más fino que la malla de 75 μm (Nº200) determinada por el método de tamizado seco.

CÁLCULO

Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximando al 0,1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra. Si la misma muestra fue primero ensayada por el método de ensayo que se describe en la NTP 400.018, incluir la masa de material más fino que la malla de 75 μm (Nº200) calculada por el método de lavado y utilizar el total de la masa de la muestra seca previa al lavado descrito en el método de ensayo de la NTP 400.018, como base para calcular todos los porcentajes.

Cuando se ensayan incrementos de la muestra, como se indica, se utilizará el total de la masa de la porción del incremento retenido en cada tamiz, para calcular los porcentajes que se mencionan.

Cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150 μm (Nº 100); 300 μm (Nº 50); 600 μm (Nº 30); 1,18 mm (Nº 16); 2,36 mm (Nº 8); 4,75 mm (Nº 4); 9,5

mm (3/8 de pulgada); 19,0 mm (3/4 de pulgada); 37,5 mm (1 1/2 pulgada) y mayores; incrementando en la relación 2 a 1.

3.6.3.2 CEMENTO CEMENTO PORTLAND / TIPO II NORMA TÉCNICA: ASTM C-150 Y NORMA TÉCNICA PERUANA 334.009

CARACTERÍSTICAS

Producto obtenido de la molienda conjunta de clinker tipo II de bajo contenido de álcalis y yeso. - Bajo en contenido de álcalis (sodio y potasio). - Se logran altas resistencias a tempranas edades. - Por el buen desarrollo de resistencias a la compresión, es usado en muchas aplicaciones. Además, tiene la capacidad de utilizarse en variados diseños de mezclas de concreto. - Presenta mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Portland tipo I. - Sus cualidades son ampliamente conocidas por el sector construcción civil en el extranjero.

USOS Y APLICACIONES

Para construcciones en general y de gran envergadura, especialmente cuando se desea una resistencia a la acción de los sulfatos y un moderado calor de hidratación. - Cemento resistente a la reacción álcali/ agregado.

RECOMENDACIONES - Como en todo cemento, se debe respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias y trabajabilidad. Es importante utilizar agregados de buena calidad, si estos están húmedos es recomendable dosificar menor cantidad de agua para mantener las proporciones correctas. - Para lograr resistencias adecuadas es recomendable curar con agua todos los elementos estructurales.

3.6.3.3 AGUA

No existe un patrón definitivo en cuanto a las limitaciones en composición química que debe tener el agua de mezcla, ya que incluso aguas no aptas para el consumo humano sirven para preparar concreto y por otro lado depende mucho del tipo de cemento y las impurezas de los demás ingredientes.

Las normas nacionales son conservadoras y es relativamente fácil su cumplimiento. Fuera de los centros urbanos más poblados, todavía las fuentes de agua natural se mantienen todavía relativamente puras.

Salvo aguas contaminadas por relaves mineros o desagües cloacales, no hay normalmente problema en conseguir agua apta para usarse en la producción y curado de concreto.

Los efectos más perniciosos de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencias, etc. No emplear especificaciones foráneas para agua potable y aplicarlas para agua a utilizarse en concreto.

ANÁLISIS TÍPICO DE AGUA

Tabla 2: Tamaño de Análisis típico del agua

Sustancias Químicas	Agua Potable	Agua de Mar
Silica (SiO ₂)	0 to 25	—
Iron (Fe)	0 to 0.2	—
Calcium (Ca)	1 to 100	50 to 480
Magnesium (Mg)	0 to 30	260 to 1410
Sodium (Na)	1 to 225	2190 to 12,200
Potassium (K)	0 to 20	70 to 550
Bicarbonate (HCO ₃)	4 to 550	—
Sulfate (SO ₄)	2 to 125	580 to 2810
Chloride (Cl)	1 to 300	3960 to 20,000
Nitrate (NO ₃)	0 to 2	—
Total dissolved solids	20 to 1000	35,000

LIMITES PERMISIBLES PARA AGUA DE MEZCLA Y DE CURADO

Tabla 3: límites permisibles del agua para mezcla y curado.

Características	Limite permisible			
	Unidad	NTP 339.088	Unicon	Método de Ensayo
1. Residuos sólidos totales	ppm	5,000	max. 5,000	GID-LA-ME-018
2. Sulfatos solubles (lón SO ₄)	ppm	3000	max. 1,000	GID-LA-ME-019
3. Cloruros solubles (lón Cl ⁻)	ppm	1,000	max. 1,000	GID-LA-ME-020
4. PH		5 a 8	min. 5.5	GID-LA-ME-021
5. Alcalinidad (NaHCO ₃)	ppm	600	max. 1,000	GID-LA-ME-022
6. Materia Orgánica	ppm	3		

3.6.3.4 DETERMINACION DEL ESFUERZO DE COMPRESION EN ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

Esta práctica cubre la determinación del esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos, sean estos moldeados o núcleos obtenidos por extracción. Esta norma se limita a concretos que tengan un peso unitario en exceso de 800 kg/m³ (50 lb/pie³). El esfuerzo a la compresión del espécimen es calculado dividiendo la máxima carga obtenida durante el ensayo por el área de la cara axial del espécimen. Los resultados a la compresión obtenidos pueden depender de forma y el tamaño del espécimen, la pasta del cemento, los procedimientos de mezcla, los métodos de muestreo, fabricación y la edad y las condiciones de humedad durante el curado.

EQUIPO

Máquina de ensayo.

La máquina de ensayo deberá tener la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. La calibración de la máquina se debe verificar de acuerdo a la Norma ASTM E4 y en las siguientes condiciones:

- Se debe calibrar la máquina por lo menos cada 13 meses.
- En la instalación original o relocalización de la máquina.
- Si se tiene duda de su precisión o exactitud.

La máquina deberá ser operada con energía y será capaz de aplicar una carga continua durante todo el proceso de ensayo. El porcentaje de error permitido para máquinas de ensayo no debe exceder el ± 1.0 % de la carga indicada.

Equipo adicional. está compuesto de los siguientes materiales:

Escuadras metálicas. deben ser como mínimo de 30cm. de longitud, para chequear la perpendicularidad.

Equipo de láminas graduadas. El cual está provisto de láminas de espesor determinado que sirve para chequear la planeidad y las depresiones en las caras del espécimen de concreto.

Flexómetro. dispositivo para medir. Tornillo micrométrico. se utiliza para medir el diámetro del cilindro, con una aproximación de 0.25mm, (0.01 pulg).

MUESTRA.

Las probetas cilíndricas de concreto deberán cumplir con lo siguiente:

- Medir dos diámetros en ángulo recto en la parte media de la altura del espécimen, con una aproximación de 0.25 mm (0.01 pulg).
- Chequear que el eje axial de perpendicularidad y los extremos planos del espécimen, no se alejen más de 0.5° (1 mm en 100 mm).
- Los especímenes que no tengan sus extremos planos dentro de 0.05 mm (0.002 pulg.) se pulirán, esmerilarán o capearán según la Norma ASTM C617 o ASTM C1231.
- La longitud debe ser medida con precisión de 1mm, en tres lugares espaciados alrededor de la circunferencia. Cuando la determinación de la densidad no es requerida y cuando la relación de la longitud con el radio es menor que 1.8 o mayor que 2.2, se debe medir la longitud del espécimen con una precisión de 0.05 D.

PROCEDIMIENTO

- Empezar el ensayo tan pronto como el espécimen ha sido retirado de la cámara de curado y conservar sus condiciones de humedad.
- Limpiar la superficie de los soportes superior e inferior de la prensa.
- Colocar el espécimen en el bloque de soporte inferior.
- Alinear los ejes del espécimen con el centro del bloque de empuje superior (soporte con cabeza móvil).
- Verificar que el indicador de carga se encuentre en cero.
- Mover el bloque de soporte inferior lentamente para poner el espécimen en contacto con los platos de compresión de la prensa.
- Aplicar carga continuamente (sin choque) con un rango de velocidad de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 psi/s). Para máquinas de tornillo la proporción de carga dependerá del tamaño del espécimen de prueba, módulo de elasticidad del concreto y de la dureza de la máquina de comprobación.
- Durante el ensayo ajuste la válvula de inyección de aceite suavemente, con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga durante la última mitad de la fase de carga.

- Aplicar la carga hasta que el espécimen falle.
- Registrar la máxima carga soportada por el espécimen. Para máquinas con indicadores de carga automáticos, no detener la aplicación de la carga hasta que disminuya más del 95 % de la máxima carga.
- Anotar el tipo de fractura y la apariencia del concreto.
- Calcular el esfuerzo de compresión con una aproximación de 0,1 MPa. (10 psi)
- Si la relación L/D es 1.75 o menor, el valor calculado de esfuerzo se debe multiplicar por el factor de corrección determinado en la Tabla 4.

Tabla 4 : Relación L/D

L/D	FACTOR DE CORRECCION
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Adoptado de la norma ASTM C39

3.7 MATERIALES A UTILIZAR

Presentamos las características de los materiales que se van a utilizar para realizar para el diseño del concreto.

3.7.1 AGREGADOS

3.7.1.1 PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS

Los agregados que vamos a utilizar en esta investigación son provenientes de la cantera “Andabamba”, este material es extraído por explotación a cielo abierto y el proceso para obtener las diferentes dimensiones del agregado que conforma una granulometría apta para el diseño de concretos.

CARACTERISTICAS DE LA CANTERA
CANTERA: ANDABAMBA - RIO HUALLAGA

Tabla 5: Características de la cantera Andabamba – río Huallaga

UBICACIÓN	A 6+000 Km. Del punto de inicio (Km. 0+000), en el lado izquierdo de la carretera Huánuco – Ambo.
ACCESO	Habilitado en uso.
DESCRIPCIÓN	Depósito de suelo transportado aluvial. Se clasifica como arena y grava limpia pobremente graduada (SP, GP) y pocos finos no plásticos, con cantos y bolonerías en regular proporción (20%), actualmente se encuentra en proceso de explotación.
POTENCIA ESTIMADA	5,000 M3.
EXPLOTACIÓN	Limpieza Superficial 0.20 m.
ANTECEDENTES DE EXPLOTACIÓN	Es una de las canteras de mayor explotación en la zona. Se ha utilizado en las obras de arte de la carretera central, caminos vecinales y de penetración de la zona, en la construcción de viviendas, etc.
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	Todo el año.
USOS	Agregados para concreto (100%)
PROCEDIMIENTOS	Zarandeo.
EQUIPOS	Cargador frontal, zarandeo.

3.7.2 CEMENTO

Para la realización de los especímenes de concreto se empleó el Cemento portland tipo I de cemento Andino 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).

3.7.3 MATERIAL PARA EL CURADO INTERNO

Este material, como ya se menciona fue obtenido de la trituración del ladrillo de arcilla King Kong, los ladrillos a utilizar fueron Pirámide, cuya ficha técnica es presentada en los anexos.

3.7.4 AGUA POTABLE DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNHEVAL

El agua empleada en la preparación y curado de los especímenes de concreto fue el agua potable de la Ciudad Universitaria de la UNHEVAL, 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).

CAPITULO IV

RESULTADOS

- 4.1 OBTENCION DE RESULTADOS
- 4.2 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS
- 4.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 OBTENCION DE RESULTADOS

4.1.1 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

4.1.1.1 MUESTREO

Para el ensayo de muestreo de los agregados debemos referenciarlos NTP 400.010 en la cual se establece el procedimiento para la obtención de la muestra significativa del material a ser evaluado.



Figura 24 y Figura 25 los agregados a utilizar.

4.1.1.2 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 2.80 (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 6.87. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037, 2002 Y 400.012, 2000).



Figura 26: los tamices a utilizar

4.1.1.3 PESO ESPECIFICO 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 2.69 gr. /cm³, peso específico en condición sss de 2.59 gr/cm³, peso específico aparente de 2.59gr/cm³ y una absorción de 1.42% 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 2.74 gr. /cm³, peso específico en condición sss de 2.79 gr/cm³, peso específico aparente de 2.79 gr. /cm³ y una absorción de 0.66% a las 24 horas (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021, 2002).

4.1.1.4 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS 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).

4.1.1.5 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL CERAMICO

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 11.17 % 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).

4.1.1.6 ENSAYO A LA COMPRESION DE LAS UNIDADES DE ESTUDIO

Los datos de la resistencia a compresión de los 150 especímenes de concreto elaborados, se obtuvieron mediante las consideraciones para este ensayo de resistencia a compresión que se describen en La Norma ASTM C 39. (ASTM C 39, 1999).

4.1.1.7 DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO ACI

Es usual que las características de la obra establezcan limitaciones a quien tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla. Entre dichas limitaciones pueden estar:

- Relación agua cemento.
- Contenido de cemento.
- Contenido máximo de aire.
- Asentamiento.
- Tamaño máximo del agregado grueso.
- Resistencia en compresión mínima.
- Requisitos especiales relacionados con la resistencia promedio, el empleo de aditivos o la utilización de tipos especiales de cemento.

a. Requerimientos del concreto

El diseño de mezcla realizado fue siguiendo el método ACI, teniendo en cuenta que un diseño es el que va a realizar para los curados por inmersión y los otros tres diseños pertenecen al tratamiento por curado interno en sus tres porcentajes estos serán ensayados a

compresión uniaxial 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/cm², 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: CEMENTO ANDINO. - Cemento portland Tipo I, cumple con los requisitos de las normas técnicas *NTP 334.009* y *ASTM C 150.*, Peso específico: 3.15 gr/cm³

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

Peso específico SSS: 2.69 gr/cm

Peso específico de masa: 2.59 gr/cm

Humedad natural: 4.00%

Absorción AF: 1.42%

Módulo de fineza: 2.80

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

TMN del agregado grueso: 3/4"

Peso específico SSS: 2.74 gr/cm³

Peso unitario compactado: 1.420 gr/cm³

Humedad natural para el diseño patrón: 0.22%

Absorción: 0.66%

c. Diseño de Mezcla por el método ACI

Se empleó el Método ACI. 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, la dosificación obtenida fue:

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua de diseño: 184.97 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 962.90 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 882.14 Kg/m³

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:

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua de diseño: 184.21 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 962.93 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 793.92 Kg/m³

Ladrillo triturado: 87.70 Kg/m³

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:

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua de diseño: 183.98 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 962.93 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 705.71 Kg/m³

Ladrillo triturado: 175.41 Kg/m³

Para elaboración de concreto para curado interno, con porcentaje de reemplazo del 30% del agregado grueso por ladrillo triturado y saturado, la dosificación obtenida fue:

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua de diseño: 183.59 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 962.93 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 617.50Kg/m³

Ladrillo triturado: 263.11 Kg/m³

4.2 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.2.1 Humedad expresada en porcentaje, 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 6: 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	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	16/09/2019	10.05
2	16/09/2019	9.92
3	16/09/2019	10.07

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

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	16/09/2019	7.27
2	16/09/2019	7.35
3	16/09/2019	7.30

Tabla 8: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 20%.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	16/09/2019	8.36
2	16/09/2019	8.07
3	16/09/2019	8.16

Tabla 9: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 30%.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	16/09/2019	10.16
2	16/09/2019	10.04
3	16/09/2019	10.25

b. Análisis estadístico de los resultados.

Los resultados se muestran:

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

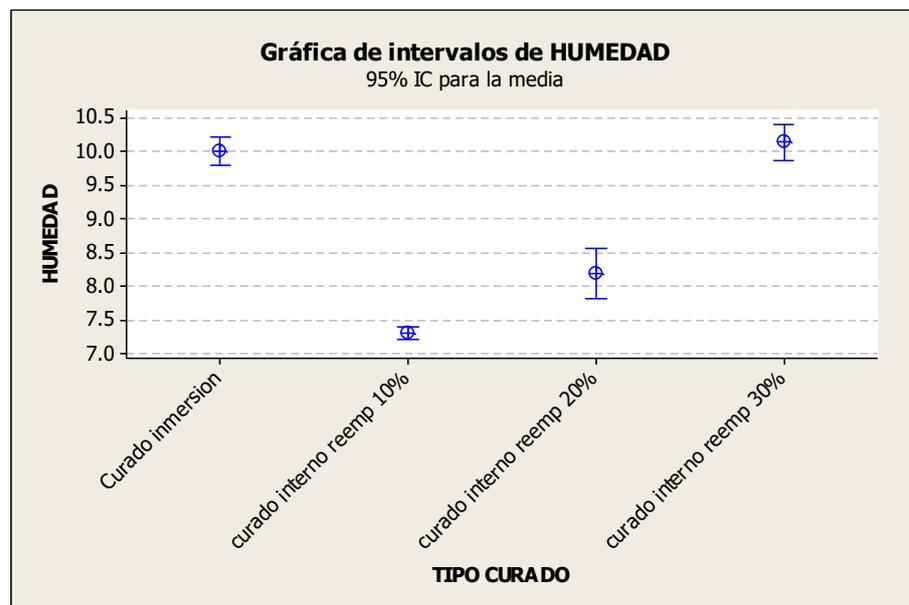
Fuente	GL	SC	MC	F	P
tipo de curado	3	17.5094	5.8365	559.8	0
Error	8	0.0834	0.0104	-	-
Total	11	17.5929	-	-	-

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

Tabla 11: Medias para cada tratamiento.

Tipo de curado	N°	MEDIA (%)	DESV. EST. (%)
Curado inmersión	3	10.014	0.083
curado interno reemp 10%	3	7.307	0.04
curado interno reemp 20%	3	8.197	0.148
curado interno reemp 30%	3	10.15	0.105
Desv.Est. agrupada = 0.102			

Figura 27: Grafica de intervalos con respecto al porcentaje de humedad a la edad de 7 días.



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 4 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 interno con adición de ladrillo saturado en porcentaje de 30%(que es la propuesta) con 10.15%; le sigue el curado sumergido en agua con 10.014%; seguidamente del curado con reemplazo de 20% con 8.197% y finalmente el curado con reemplazo del 10% con un resultado estadísticamente igual de 7.307%.

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

- a. Porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos a edad de 14 días.

Tabla 12: 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	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	23/09/2019	9.67
2	23/09/2019	9.82
3	23/09/2019	9.78

Tabla 13: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 10%.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	23/09/2019	5.26
2	23/09/2019	4.52
3	23/09/2019	4.64

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

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	23/09/2019	7.03
2	23/09/2019	5.85
3	23/09/2019	6.78

Tabla 15: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 30%.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	23/09/2019	8.45

2	23/09/2019	7.95
3	23/09/2019	8.64

- b. Análisis estadístico de los resultados.
Los resultados se muestran:

Tabla 16: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 14 días.

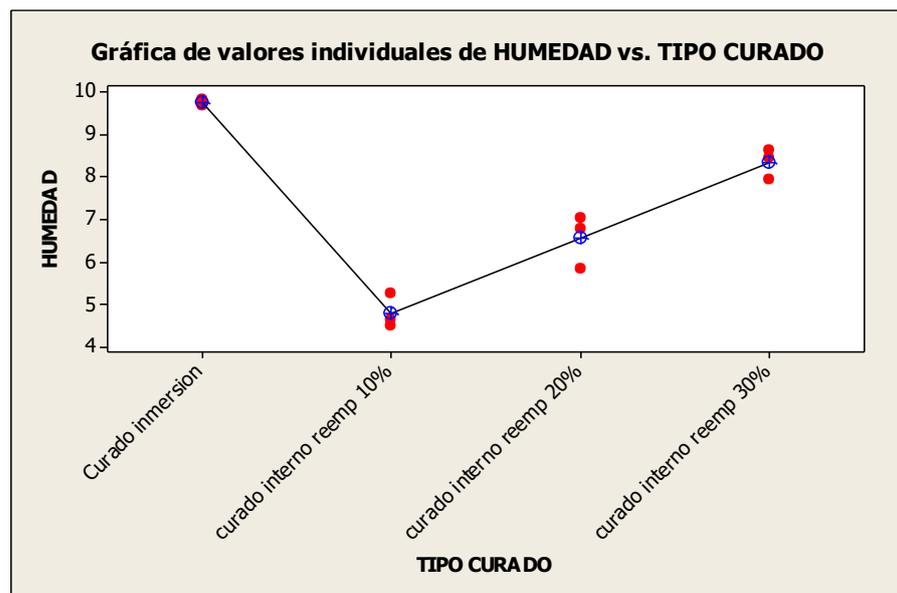
Fuente	GL	SC	MC	F	P
tipo de curado	3	41.663	13.88	82	0
Error	8	1.355	0.169	-	-
Total	11	43.018	-	-	-

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

Tabla 17: Medias para cada tratamiento.

Tipo de curado	N°	MEDIA (%)	DESV. EST. (%)
Curado inmersión	3	9.757	0.078
curado interno reemp 10%	3	4.807	0.397
curado interno reemp 20%	3	6.553	0.622
curado interno reemp 30%	3	8.347	0.356
Desv.Est. agrupada = 0.412			

Figura 28: Grafica de intervalos con respecto al porcentaje de humedad a la edad de 14 días.



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 4 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 9.757%; le sigue el Curado interno con adición de ladrillo saturado en porcentaje de 30% (que es la propuesta), con 8.347%; seguidamente y los tratamientos de curado interno con 20% y 10% de reemplazo con 6.553%, 4.807% respectivamente.

4.2.3 Humedad expresada en porcentaje, 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 18: 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	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	06/10/2019	6.55
2	06/10/2019	7.92
3	06/10/2019	7.06

Tabla 19: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 10%.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	06/10/2019	4.27
2	06/10/2019	4.05
3	06/10/2019	4.92

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

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	06/10/2019	5.01
2	06/10/2019	5.21
3	06/10/2019	5.41

Tabla 21: Porcentajes de humedad para especímenes cilíndricos ensayados a resistencia a compresión a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo de 30%.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
1	06/10/2019	6.34
2	06/10/2019	6.24
3	06/10/2019	5.74

b. Análisis estadístico de los resultados.

Los resultados se muestran:

Tabla 22: Análisis de varianza de porcentaje de humedad de especímenes cilíndricos ensayados a compresión a edad de 28 días.

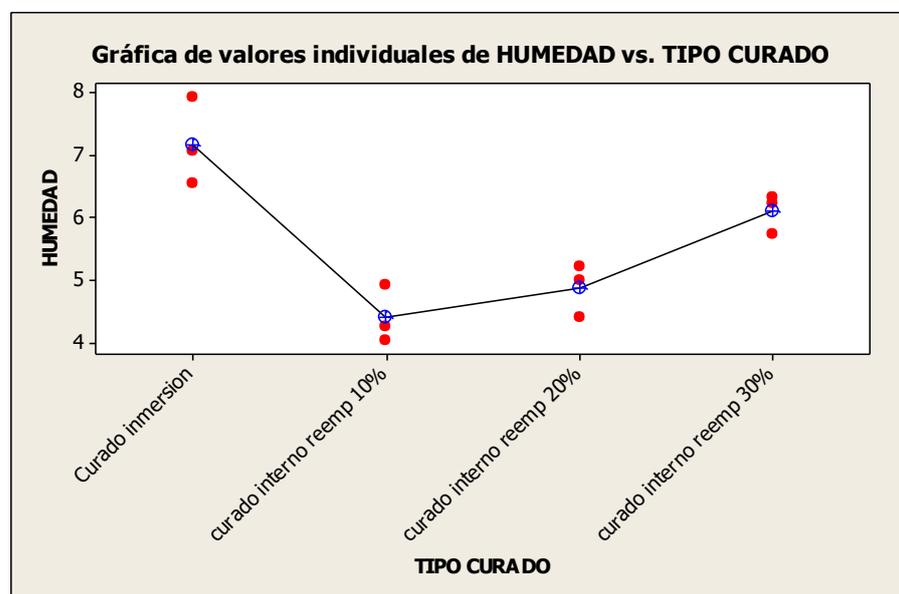
Fuente	GL	SC	MC	F	P
tipo de curado	3	13.999	4.66	19.43	0
Error	8	1.921	0.24	-	-
Total	11	15.921	-	-	-

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

Tabla 23: Medias para cada tratamiento.

Tipo de curado	N°	MEDIA (%)	DESV. EST. (%)
Curado inmersión	3	7.1767	0.6924
curado interno reemp 10%	3	4.4133	0.4524
curado interno reemp 20%	3	4.8767	0.4163
curado interno reemp 30%	3	6.1067	0.3215
Desv.Est. agrupada = 0.4901			

Figura 29: Gráfica de intervalos con respecto al porcentaje de humedad a la edad de 28 días.



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 4 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 7.1767%; le sigue el Curado interno con adición de ladrillo saturado en porcentaje de 30% (que es la propuesta), con 6.1067%; seguidamente y los tratamientos de curado interno con 20% y 10% de reemplazo con 4.8767%, 4.4133% respectivamente.

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

a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndrico a edad de 7 días.

Tabla 24: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días- Tratamiento de curado por inmersión.

ENSAYO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	16/09/2019	32,086.25	15.24	175.90	70%
2	09/09/2019	16/09/2019	32,965.00	15.24	191.68	72%
3	09/09/2019	16/09/2019	32,790.00	15.24	190.72	71%
4	09/09/2019	16/09/2019	32,889.00	15.24	177.87	72%
5	09/09/2019	16/09/2019	32,641.00	15.24	179.31	71%
6	09/09/2019	16/09/2019	32,205.00	15.24	176.73	70%
7	09/09/2019	16/09/2019	32,731.00	15.24	177.74	71%
8	09/09/2019	16/09/2019	32,335.00	15.24	184.49	70%
9	09/09/2019	16/09/2019	32,917.00	15.24	178.02	72%
10	09/09/2019	16/09/2019	32,345.00	15.24	177.06	70%

Tabla 25: 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 ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	16/09/2019	32,290.00	15.24	177.01	70%
2	09/09/2019	16/09/2019	33,470.00	15.24	183.48	73%

3	09/09/2019	16/09/2019	31,700.00	15.24	173.78	69%
4	09/09/2019	16/09/2019	32,950.00	15.24	180.63	72%
5	09/09/2019	16/09/2019	32,042.00	15.24	175.65	70%
6	09/09/2019	16/09/2019	32,203.00	15.24	176.54	70%
7	09/09/2019	16/09/2019	32,567.00	15.24	178.53	71%
8	09/09/2019	16/09/2019	33,428.00	15.24	183.25	73%
9	09/09/2019	16/09/2019	32,490.00	15.24	178.11	71%
10	09/09/2019	16/09/2019	33,297.00	15.24	182.53	72%

Tabla 26: 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 ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	16/09/2019	39,821.00	15.24	218.30	87%
2	09/09/2019	16/09/2019	38,429.00	15.24	210.67	84%
3	09/09/2019	16/09/2019	39,701.00	15.24	217.64	86%
4	09/09/2019	16/09/2019	39,643.00	15.24	217.32	86%
5	09/09/2019	16/09/2019	39,756.00	15.24	217.94	86%
6	09/09/2019	16/09/2019	40,107.00	15.24	219.87	87%
7	09/09/2019	16/09/2019	38,826.00	15.24	212.84	84%
8	09/09/2019	16/09/2019	39,634.00	15.24	217.27	86%
9	09/09/2019	16/09/2019	39,126.00	15.24	214.49	85%
10	09/09/2019	16/09/2019	38,222.00	15.24	209.53	83%

Tabla 27: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 7 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 30%.

ENSAYO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	16/09/2019	46,300.00	15.24	253.82	101%
2	09/09/2019	16/09/2019	44,630.00	15.24	244.66	97%
3	09/09/2019	16/09/2019	47,530.00	15.24	260.56	103%
4	09/09/2019	16/09/2019	46,321.00	15.24	253.93	101%
5	09/09/2019	16/09/2019	47,204.00	15.24	258.77	103%
6	09/09/2019	16/09/2019	47,194.00	15.24	258.72	103%

7	09/09/2019	16/09/2019	45,620.00	15.24	250.09	99%
8	09/09/2019	16/09/2019	46,128.00	15.24	252.87	100%
9	09/09/2019	16/09/2019	47,142.00	15.24	258.43	103%
10	09/09/2019	16/09/2019	44,993.00	15.24	246.65	98%

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:

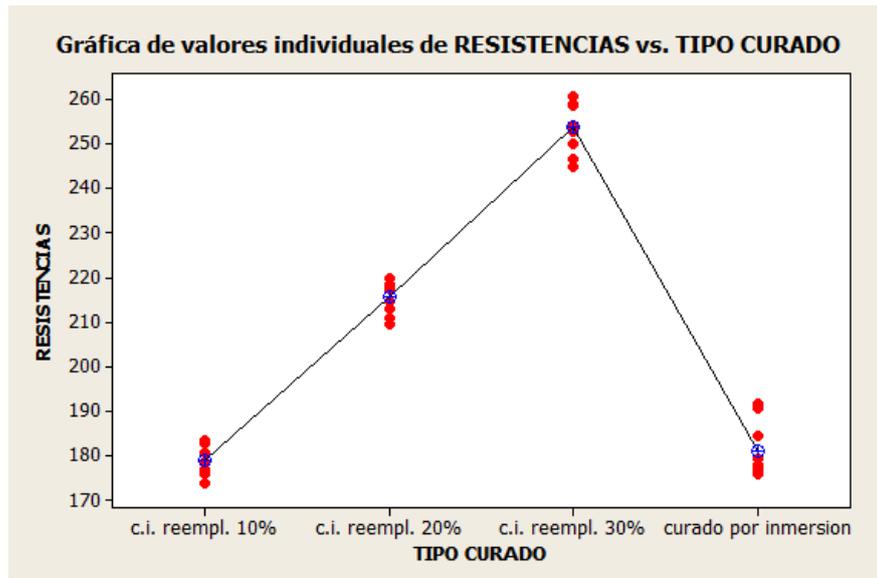
Tabla 28: Análisis de varianza de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos a edad de 7 días

Fuente	GL	SC	MC	F	P
tipo de curado	3	37334.6	12444.9	566.08	0
Error	36	791.4	14.1	-	-
Total	39	38126	-	-	-

Tabla 29: Medias para cada tratamiento

tipo de curado	N°	media (%)	DESV. EST. (%)
Curado inmersión	10	180.95	3.38
curado interno reemp 10%	10	178.95	3.51
curado interno reemp 20%	10	215.59	5.43
curado interno reemp 30%	10	253.85	1.76
Desv.Est. agrupada = 3.75			

Figura 30: Graficas de valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 7 días.



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 20% y 30% son estadísticamente diferentes, mientras que el curado interno con reemplazo del 10% 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 30% de reemplazo (Propuesta) que obtuvo una media de 253.85 Kg/cm²; le sigue el curado interno con 20 % de reemplazo con 215.59 Kg/cm²; en general para esta edad se observa que la propuesta supero el curado por inmersión.

4.2.5 Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 14 días.

- a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndrico a edad de 14 días.

Tabla 30: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado por inmersión.

ENSAYO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	23/09/2019	35,000.00	15.24	191.87	76%
2	09/09/2019	23/09/2019	40,000.00	15.24	219.28	87%
3	09/09/2019	23/09/2019	34,000.00	15.24	186.39	74%
4	09/09/2019	23/09/2019	38,000.00	15.24	208.32	83%
5	09/09/2019	23/09/2019	36,000.00	15.24	197.35	78%
6	09/09/2019	23/09/2019	37,550.00	15.24	205.85	82%
7	09/09/2019	23/09/2019	36,500.00	15.24	200.09	79%
8	09/09/2019	23/09/2019	37,000.00	15.24	202.83	80%
9	09/09/2019	23/09/2019	39,800.00	15.24	218.18	87%
10	09/09/2019	23/09/2019	37,860.00	15.24	207.55	82%

Tabla 31: 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 ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	23/09/2019	45,000.00	15.24	246.69	98%
2	09/09/2019	23/09/2019	43,500.00	15.24	238.47	95%
3	09/09/2019	23/09/2019	39,875.00	15.24	218.60	87%
4	09/09/2019	23/09/2019	36,000.00	15.24	197.35	78%
5	09/09/2019	23/09/2019	38,580.00	15.24	211.50	84%
6	09/09/2019	23/09/2019	37,850.00	15.24	207.49	82%
7	09/09/2019	23/09/2019	40,500.00	15.24	222.02	88%
8	09/09/2019	23/09/2019	39,850.00	15.24	218.46	87%
9	09/09/2019	23/09/2019	41,784.00	15.24	229.06	91%
10	09/09/2019	23/09/2019	37,864.00	15.24	207.57	82%

Tabla 32: 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 ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	23/09/2019	39,700.00	15.24	217.64	86%
2	09/09/2019	23/09/2019	41,500.00	15.24	227.50	90%
3	09/09/2019	23/09/2019	39,760.00	15.24	217.96	86%
4	09/09/2019	23/09/2019	39,960.00	15.24	219.06	87%
5	09/09/2019	23/09/2019	41,500.00	15.24	227.50	90%
6	09/09/2019	23/09/2019	43,800.00	15.24	240.11	95%
7	09/09/2019	23/09/2019	42,870.00	15.24	235.01	93%
8	09/09/2019	23/09/2019	44,800.00	15.24	245.59	97%
9	09/09/2019	23/09/2019	45,200.00	15.24	247.79	98%
10	09/09/2019	23/09/2019	40,950.00	15.24	224.49	89%

Tabla 33: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 14 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 30%.

ENSAYO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	23/09/2019	48,900.00	15.24	268.07	106%
2	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	261.22	104%
3	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	249.87	99%
4	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	255.82	102%
5	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	241.66	96%
6	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	258.46	103%
7	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	248.34	99%
8	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	253.35	101%
9	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	254.61	101%
10	09/09/2019	23/09/2019	31,000.00	15.24	261.40	104%

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:

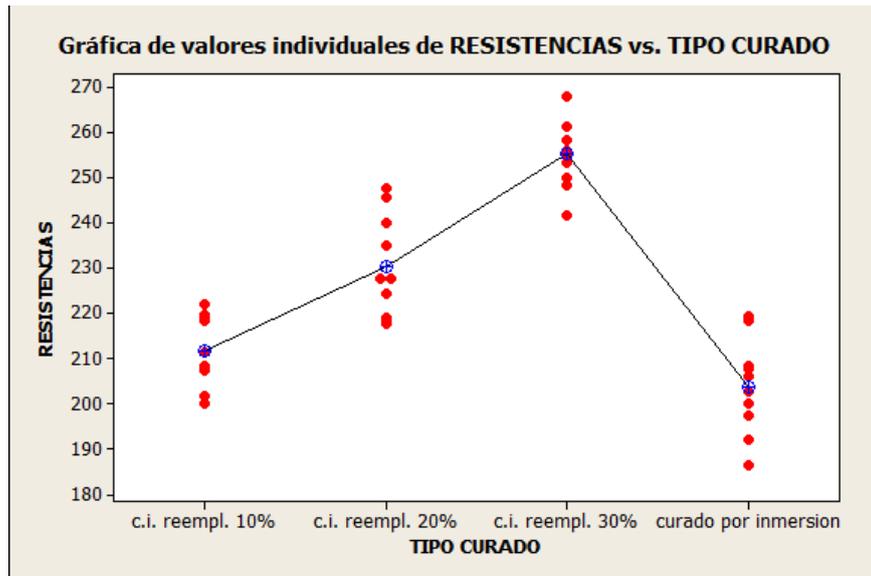
Tabla 34: Análisis de varianza de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos a edad de 14 días

Fuente	GL	SC	MC	F	P
tipo de curado	3	15762	5254	59.25	0
Error	36	3192	88.7	-	
Total	39	18954.1		-	

Tabla 35: Medias para cada tratamiento

tipo de curado	N°	media (%)	DESV. EST. (%)
Curado inmersión	10	203.77	10.47
curado interno reemp 10%	10	211.51	7.78
curado interno reemp 20%	10	230.27	11.29
curado interno reemp 30%	10	255.28	7.56
Desv.Est. agrupada = 9.42			

Figura 31: Graficas de valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 14 días.



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 255.28 Kg/cm²; en general para esta edad se observa que la propuesta supero el curado por inmersión.

4.2.6 Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 28 días.

a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndrico a edad de 28 días.

Tabla 36: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado por inmersión.

--	--	--	--	--	--	--

ENSAYO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	06/10/2019	48,900.00	15.24	268.07	106%
2	09/09/2019	06/10/2019	47,650.00	15.24	261.22	104%
3	09/09/2019	06/10/2019	45,580.00	15.24	249.87	99%
4	09/09/2019	06/10/2019	46,665.00	15.24	255.82	102%
5	09/09/2019	06/10/2019	46,082.00	15.24	252.62	100%
6	09/09/2019	06/10/2019	47,146.00	15.24	258.46	103%
7	09/09/2019	06/10/2019	48,300.00	15.24	264.78	105%
8	09/09/2019	06/10/2019	46,214.00	15.24	253.35	101%
9	09/09/2019	06/10/2019	49,444.00	15.24	271.05	108%
10	09/09/2019	06/10/2019	47,683.00	15.24	261.40	104%

Tabla 37: 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 ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	06/10/2019	46,070.00	15.24	252.56	100%
2	09/09/2019	06/10/2019	47,500.00	15.24	260.40	103%
3	09/09/2019	06/10/2019	47,875.00	15.24	262.45	104%
4	09/09/2019	06/10/2019	46,500.00	15.24	254.91	101%
5	09/09/2019	06/10/2019	48,580.00	15.24	266.32	106%

6	09/09/2019	06/10/2019	47,850.00	15.24	262.31	104%
7	09/09/2019	06/10/2019	46,500.00	15.24	254.91	101%
8	09/09/2019	06/10/2019	47,850.00	15.24	262.31	104%
9	09/09/2019	06/10/2019	48,784.00	15.24	267.43	106%
10	09/09/2019	06/10/2019	49,864.00	15.24	273.36	108%

Tabla 38: 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 ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	06/10/2019	49,096.00	15.24	269.14	128%
2	09/09/2019	06/10/2019	49,202.00	15.24	269.73	128%
3	09/09/2019	06/10/2019	48,699.00	15.24	266.97	127%
4	09/09/2019	06/10/2019	49,230.00	15.24	269.88	129%
5	09/09/2019	06/10/2019	49,860.00	15.24	273.33	130%
6	09/09/2019	06/10/2019	48,638.00	15.24	266.63	127%
7	09/09/2019	06/10/2019	48,087.00	15.24	263.61	126%
8	09/09/2019	06/10/2019	48,984.00	15.24	268.53	128%
9	09/09/2019	06/10/2019	49,566.00	15.24	271.72	129%
10	09/09/2019	06/10/2019	49,243.00	15.24	269.95	129%

Tabla 39: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos ensayados a la edad de 28 días- Tratamiento de curado interno con reemplazo del 30%.

ENSAYO N°	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ENSAYO	CARGA DE ROTURA (Kg.)	DIAMETRO (cm)	RESISTENCIA MAXIMA (Kg/cm2)	% OBTENIDO DE F'c
1	09/09/2019	06/10/2019	51,169.00	15.24	280.51	134%
2	09/09/2019	06/10/2019	50,485.00	15.24	276.76	132%
3	09/09/2019	06/10/2019	51,677.00	15.24	283.29	135%

4	09/09/2019	06/10/2019	51,744.00	15.24	283.66	135%
5	09/09/2019	06/10/2019	51,525.00	15.24	282.46	135%
6	09/09/2019	06/10/2019	50,940.00	15.24	279.25	133%
7	09/09/2019	06/10/2019	50,851.00	15.24	278.77	133%
8	09/09/2019	06/10/2019	50,269.00	15.24	275.58	131%
9	09/09/2019	06/10/2019	51,315.00	15.24	281.31	134%
10	09/09/2019	06/10/2019	51,551.00	15.24	282.60	135%

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:

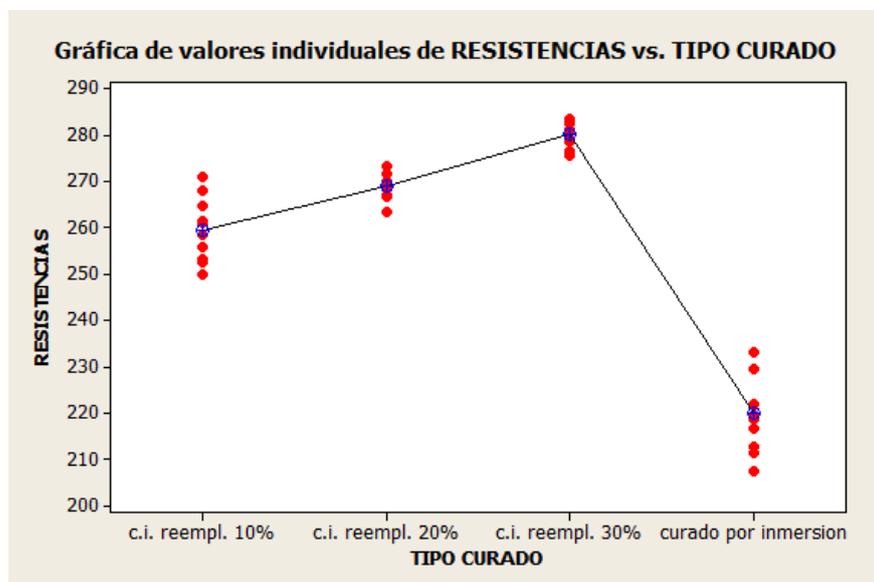
Tabla 40: Análisis de varianza de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos a edad de 14 días

Fuente	GL	SC	MC	F	P
tipo de curado	3	20646.2	6882.1	202.94	0
Error	36	1220.8	33.9	-	
Total	39	21867.1		-	

Tabla 41: Medias para cada tratamiento

tipo de curado	N°	media (%)	DESV. EST. (%)
Curado inmersión	10	259.66	8.5
curado interno reemp 10%	10	261.70	6.94
curado interno reemp 20%	10	268.95	2.74
curado interno reemp 30%	10	280.42	2.78
Desv.Est. agrupada = 5.82			

Figura 32: Graficas de valores individuales para resistencia a compresión a la edad de 28 días.



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.

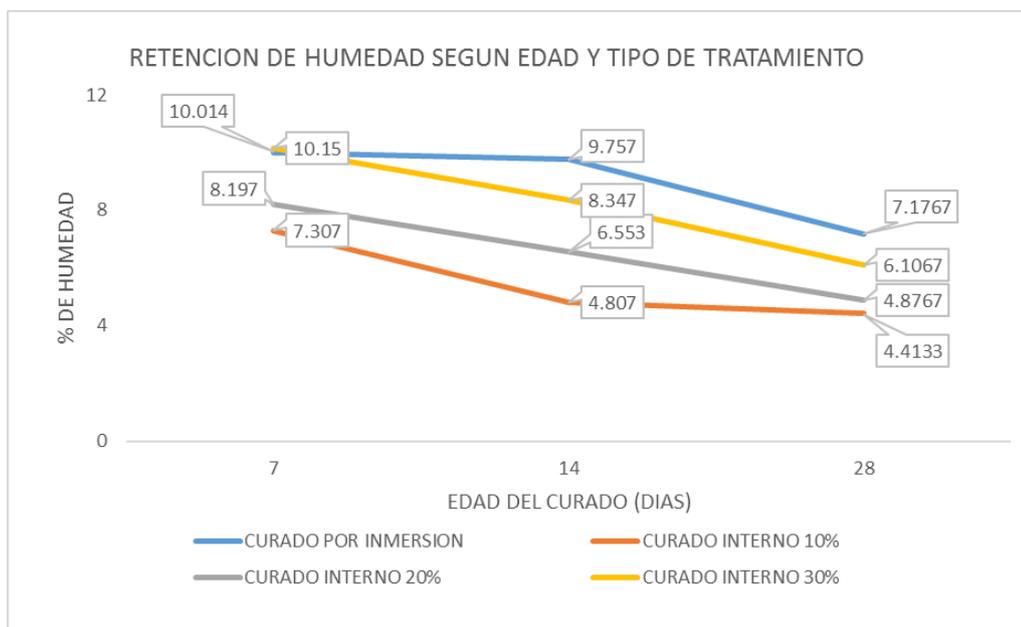
Según estos resultados, se observa claramente la variación que hay llegado a los 28 días, el cual es causado por diversos factores, el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a resistencia a compresión fue el curado por inmersión que obtuvo una media de 259.76 Kg/cm² seguida por la propuesta de curado interno con reemplazo de agregado grueso por ladrillo en 30%, 20% y 10% de reemplazo que obtuvo una media de 259.66, 268.95 y 280.42Kg/cm² respectivamente.

4.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.3.1. 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 33: Grafica de retención de humedad a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio.

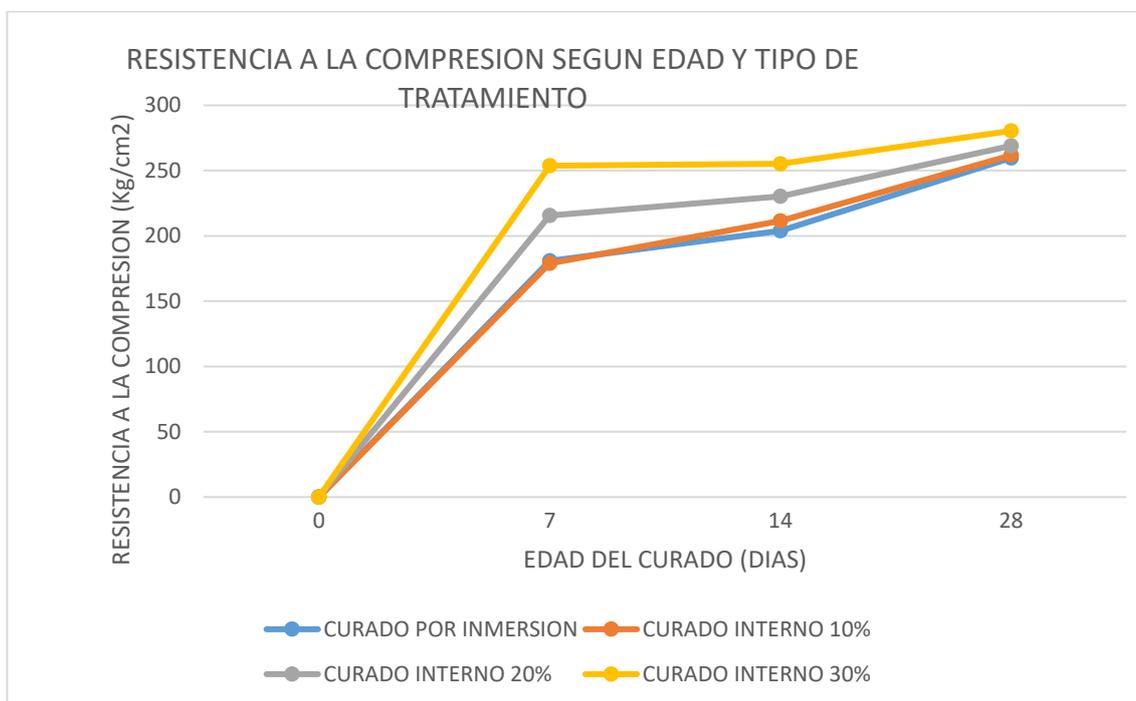


En la Figura N° 33 se observa como a la edad de 7 días el tratamiento que mantiene más humedad dentro de los especímenes de concreto fue el tratamiento con curado estándar sumergido en agua, donde se tuvo una media de porcentaje de humedad relativo de 10.014%, manteniéndose como el tratamiento con más porcentaje de humedad retenida en el concreto a la edad de 14 y 28 días.

4.3.2. 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° 33, 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 34: Grafica de Resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días según el tratamiento de estudio.



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 propuesta obtuvo un mejor desempeño.

4.4 ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO

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 m³ Curado Común con Aditivo = S/ 478.49

Costo por m³ Curado Interno = S/ 445.78

CONCLUSIONES

- 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 el curado patrón de inmersión (al mostrar

valores mayores en 1.036% a los 7 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 1.41% y 1.07% a los 14 y 28 días, respectivamente).

- 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 el tipo de curado. respecto al curado por inmersión, fue 1% superior a los 7 días, 4% superior a los 14 días y a los 28 días fue 8% superior.

SUGERENCIAS

- 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 mayor agua para hidratar el concreto.

- Estudiar la efectividad que tiene el curado interno combinando con otros curados superficiales.
- 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.
- Se recomienda usar mezclas de concreto con material cerámico para elaborar elementos estructurales a escala real y someterlos a cargas, con el fin de analizar las deformaciones obtenidas y compararlas con concretos convencionales.

BIBLIOGRAFIA

1. *ACI 214R-02*. **American Concrete Institute**. 2002. USA: Evaluation of Strength Test Results of Concrete Reported by ACI Committee 214, 2002.
2. *ASTM C 150*. **ASTM International**. 2012. USA: Especificaciones estándar para cementos portland, 2012.

3. *ASTM C 31M–08a*. **ASTM Internacional**. 2008. USA: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra, 2008.
4. *ASTM C 39*. **ASTM International**. 1999. USA: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto, 1999.
5. López Mauricio, F. Kahn Lawrence, E. Kurtis. Kimberly “*Curado interno en hormigones de alto desempeño - un nuevo paradigma*”. Web. Atlanta, USA, agosto 2005
6. Tejada Arias, L. “*Efectividad del curado interno del Concreto mediante la Saturación del Agregado grueso en comparación a otros tipos de curado*”. (Tesis de Magister). Cajamarca. 2016
7. Aldana Barcinilla, E. “*Diseño Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto*” (Tesis de Magister). Bogotá, Colombia 2014.
8. Espinoza Hijazin, G. “*Efecto Del Curado Interno En Hormigones Y Su Aplicación Como Método Complementario Al Curado Tradicional En Obra Del Hormigón*” (Tesis de Magister). Chile 2010
9. Lopez Mego. J “*Estudio experimental del curado interno de un concreto con adiciones de arcilla coccionada en reemplazo del agregado grueso*” (Tesis Pregrado). Cajamarca, 2017.
10. Bentz, Dale; Wiss Jason W., “*Internal curing: a 2010 state of the art review*”. Web. Estado Unidos, febrero 2011
11. Víctor Goicochea V, Inés Mariano B, José Luis Villavicencio Guardia, “*Lineamiento para la elaboración del protocolo de investigación*” Joail E.I.R.L, Perú. 1er Edición 2014.
12. Jiménez Miranda J, “*Referencias Bibliográficas según estilo Vancouver*”. Lázara Cruz, La – Habana 1999-2001.
13. *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.

14. *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.088. INDECOPI. 1982.* Lima, Perú: HORMIGON (CONCRETO). Agua para morteros y hormigones de cementos Portland. Requisitos, 1982.
15. *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.
16. *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 um (200) por lavado en agregados, 2002.
17. *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.

APENDICE A:

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

I. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS

I.1. Análisis granulométrico del agregado Grueso:

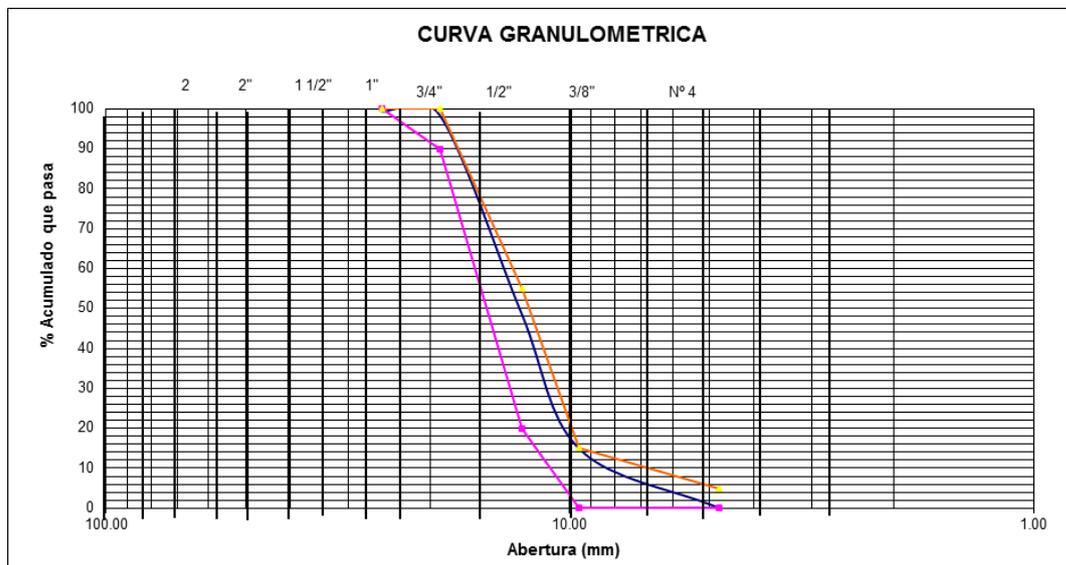
NTP 400.012, 400.037 / A.S.T.M -136

Tabla A.I.1.1 Análisis Granulométrico de la Muestra para el agregado grueso.

Peso Muestra	4981.00 gramos.			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	%

				ACUMULADO
3"			100.00	0.00
2"			100.00	0.00
1 1/2"	0.00	0.00	100.00	0.00
1 "	27.00	0.54	99.46	0.54
3/4"	52.00	1.04	98.41	1.59
1/2"	2473.00	49.65	48.77	51.23
3/8"	1691.00	33.95	14.82	85.18
4	735.00	14.76	0.06	99.94
FONDO	3.00	0.06	0.00	100.00
Tamaño Máximo Nominal	3/4"			
Modulo Fineza	6.87			

Figura A.I.1.1: Granulometría del agregado grueso.



I.2. Análisis granulométrico del Agregado Fino:

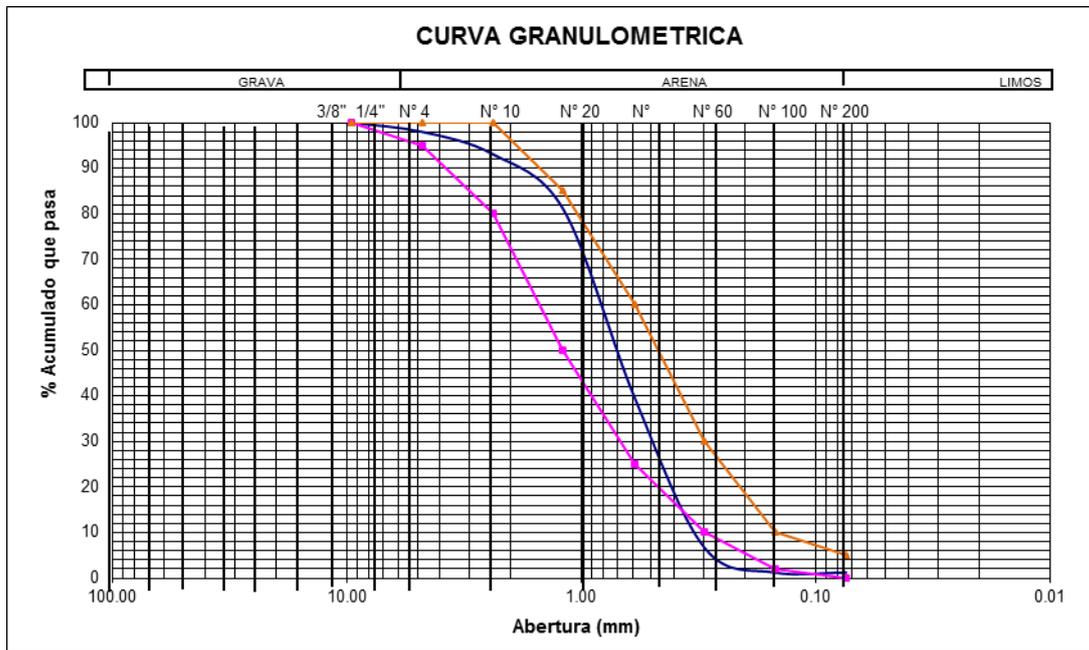
NTP 400.012, 400.037 / A.S.T.M -136

Tabla A.I.2.1 Análisis Granulométrico de la Muestra para el agregado fino.

Peso Muestra		4699.00 grms.				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	% ACUMULADO	%QUE PASA MIN	MAX
			100.00			
3/8"	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	100.00
4	94.00	2.00	98.00	2.00	95.00	100.00
8	230.00	4.89	93.10	6.90	80.00	100.00

16	568.00	12.09	81.02	18.98	50.00	85.00
30	1945.00	41.39	39.63	60.37	25.00	60.00
50	1545.00	32.88	6.75	93.25	10.00	30.00
100	254.00	5.41	1.34	98.66	2.00	10.00
FONDO	63.00	1.34	0.00	100.00	0.00	5.00
Modulo Fineza	2.80					

Figura A.I.2.1: Granulometría del agregado grueso.



I.3. Módulo de finura del Agregado Grueso:

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acum. en mallas } 3, 1\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 3\frac{7}{8}, N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50 \text{ y } N^{\circ} 100}{100}$$

$$M.F = \frac{1.59 + 85.18 + 99.94 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100}$$

$$M.F = 6.87$$

I.4. Módulo de finura del Agregado Fino:

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

$$M.F = \frac{2 + 6.90 + 18.98 + 60.37 + 93.25 + 98.66}{100}$$

$$M.F = 2.80$$

II. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

II.1. Peso específico y absorción del agregado Grueso:

Tabla A.II.1.1 Peso específico y Absorción del agregado grueso

DATOS		
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (B)	gr	1982.00
Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	0.00
Peso de la Muestra Saturada + Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	1982.00
Peso de la Muestra Saturada Sumergida (C)	gr	1263.00
Peso de la Tara	gr	0.00
Peso de la Tara + Muestra Seca	gr	1969.10
Peso de la Muestra Seca (6-5) (A)	gr	1969.10
RESULTADOS		
Peso Específico Aparente ((A/(B-C))	gr/cm³	2.74
Peso Específico Aparente (S.S.S) ((A/B(B-C))	gr/cm³	2.74
Peso Específico Nominal ((A/(A-C))	gr/cm³	2.79
Porcentaje de Absorción ((B-A)/A)*100	%	0.66

II.2. Peso específico y absorción del agregado Fino:

Tabla A.II.2.1 Peso específico y Absorción del agregado fino

DATOS		1
Peso de la Arena S.S.S. (D)	gr	350.00
Peso del Balón Seco	gr	169.02
Peso de la Arena S.S.S. + Peso del Balón (1+2)	gr	519.02
Peso de la Arena S.S.S. + Peso del Balón + Peso del Agua	gr	885.97
Peso del Agua (4-3) (W)	gr	366.95
Peso de la Tara	gr	0.00

Peso de la Tara + Arena Seca	gr	345.10
Peso de la Arena Seca (7-6) (A)	gr	345.10
Volumen del Balón (V)	cm ³	500.00
RESULTADOS		
Peso Específico Aparente ((A/(V-W))	gr/cm³	2.59
Peso Específico Aparente S.S.S ((A/(V-W))	gr/cm³	2.59
Peso Específico Nominal ((A/((V-W)-(D-A)))	gr/cm³	2.69
Porcentaje de Absorción ((D-A)/A)*100	%	1.42

III. ABRASION DEL AGREGADO GRUESO

Tabla A.III.1 Determinación de la resistencia de Abrasión del agregado grueso.

" GRADACION B"		
Tamiz		Peso (gr.)
Pasa	Retenido	
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
total		5000
Retenido en el tamiz n°12		3603
% de desgaste		27.94%

IV. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

IV.1. Peso unitario del agregado Grueso:

NTP 400.017, 400.037 / ASTM.C -29

Tabla A.IV.1.1 Determinación del Peso unitario suelto del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO	PIEDRA T.M.N 3/4"			
Peso de la Muestra + Recipiente	gr	23640	23610	23620
Peso del Recipiente	gr	5830	5830	5830
Peso de la Muestra (1-2)	gr	17810	17780	17790

Volumen del Recipiente	m3	0.01410	0.01410	0.01410
P.U.S. (3/4)/1000	kg/m3	1264	1261	1262
Promedio P.U.S. Seco	kg/m3	1262		

Tabla A.IV.1.2 Determinación del Peso unitario compacto del agregado grueso

PESO UNITARIO COMPACTO				
Peso de la Muestra + Recipiente	gr	25840	25870	25830
Peso del Recipiente	gr	5830	5830	5830
Peso de la Muestra (1-2)	gr	20010	20040	20000
Volumen del Recipiente	m3	0.01410	0.01410	0.01410
P.U.C	kg/m3	1420	1422	1419
Promedio P.U.S. Compacto	kg/m3	1420		

IV.2. Peso unitario del agregado Fino:

NTP 400.017, 400.037 / ASTM.C -29

Tabla A.IV.2.1 Determinación del Peso unitario suelto del agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO	ARENA GRUESA			
Peso de la Muestra + Recipiente	gr	5942	5968	5982
Peso del Recipiente	gr	1783	1783	1783
Peso de la Muestra (1-2)	gr	4159	4185	4199
Volumen del Recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
P.U.S. (3/4)/1000	kg/m3	1483	1493	1498
Promedio P.U.S. Seco	kg/m3	1491		

Tabla A.IV.2.2 Determinación del Peso unitario compacto del agregado fino

Peso de la Muestra + Recipiente	gr	6337	6348	6364
Peso del Recipiente	gr	1783	1783	1783
Peso de la Muestra (1-2)	gr	4554	4565	4581
Volumen del Recipiente	m3	0.00280	0.00280	0.00280
P.U.C	kg/m3	1624	1628	1634
Promedio P.U.S. Compacto	kg/m3	1629		

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

I. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION 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

DATOS		
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (B)	gr	2500.00

Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	0.00
Peso de la Muestra Saturada + Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	2500.00
Peso de la Muestra Saturada Sumergida (C)	gr	1446.00
Peso de la Tara	gr	0.00
Pes de la Tara + Mustra Seca	gr	2296.70
Peso de la Muestra Seca (6-5) (A)	gr	2296.70
RESULTADOS		
Peso Especifico Aparente ((A/(B-C))	gr/cm3	2.18
Peso Especifico Aparente (S.S.S) ((A/B(B-C))	gr/cm3	2.18
Peso Especifico Nominal ((A/(A-C))	gr/cm3	2.70
Porcentaje de Absorsión ((B-A)/A)*100	%	8.85

I.2 Peso Específico y Absorción del Ladrillo a 5 días de Saturación

Tabla B.I.1.2 Peso específico y Absorción del Ladrillo saturado por 05 días

DATOS		1
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (B)	gr	2500.00
Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	0.00
Peso de la Muestra Saturada + Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	2500.00
Peso de la Muestra Saturada Sumergida (C)	gr	1446.00
Peso de la Tara	gr	0.00
Pes de la Tara + Muestra Seca	gr	2256.70
Peso de la Muestra Seca (6-5) (A)	gr	2256.70
RESULTADOS		
Peso Especifico Aparente ((A/(B-C))	gr/cm3	2.14
Peso Especifico Aparente (S.S.S) ((A/B(B-C))	gr/cm3	2.14
Peso Especifico Nominal ((A/(A-C))	gr/cm3	2.78
Porcentaje de Absorción ((B-A)/A)*100	%	10.78

I.3 Peso Específico y Absorción del Ladrillo a 7 días de Saturación

Tabla B.I.1.3 Peso específico y Absorción del Ladrillo saturado por 07 días

DATOS		1
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (B)	gr	2500.00
Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	0.00
Peso de la Muestra Saturada + Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	2500.00
Peso de la Muestra Saturada Sumergida (C)	gr	1446.00
Peso de la Tara	gr	0.00
Pes de la Tara + Muestra Seca	gr	2256.70
Peso de la Muestra Seca (6-5) (A)	gr	2256.70
RESULTADOS		
Peso Específico Aparente ((A/(B-C))	gr/cm ³	2.13
Peso Específico Aparente (S.S.S) ((A/B(B-C))	gr/cm ³	2.13
Peso Específico Nominal ((A/(A-C))	gr/cm ³	2.79
Porcentaje de Absorción ((B-A)/A)*100	%	10.79

APENDICE C:
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO USANDO EL METODO DEL
MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS

I. Determinación del Tamaño máximo nominal

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

II. determinación del módulo de fineza

$$M.F. = \frac{\%Acumulado (4 + 8 + 16 + 30 + 50 + 100)}{100}$$

$$M.F. = 2.80$$

III. Determinación Resistencia Promedio

En este caso no se cuenta con la desviación estándar por lo que utilizara la siguiente tabla dada por ACI:

Resistencia especificada a la Compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la Compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7.0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8.5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1.1 f'c + 5.0$

Tabla IV.1: Resistencia especificada a la compresion.

$$f'cr = 2.52 \text{ MPa}$$

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: 3/4", Aire incorporado: Concreto Sin Aire Incorporado.

Asentamiento	Agua en l/m ³ , para los tamaños maximos de nominales de agregado grueso y consistencia indicado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
concretos sin aire incorporado								
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	...
concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Tabla IV.2: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes valores del asentamiento y Tamaño Máximo Nominal del Agregado.

Se tiene como agua de mezclado: **205 Lts/m³**

V. Selección de la relación agua / cemento.

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: 210 Kg/cm²

F'cr kg/cm ²	A/C	A/C
	Concreto sin aire Incorporado	Concreto con aire Incorporado
450	0.38	...
400	0.43
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Tabla VI.3: Relación Agua / Cemento por resistencia

Interpolamos para determinar la relación para nuestro caso:

F'cr		a/c
250	----	0.62
252	----	x
300	----	0.55

$$x \dots = 0.617$$

Relación A/C: 0.62

VI. 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.

$$Cemento = \frac{\text{volumen Unitario de Agua}}{\text{Relacion A/C}} = \frac{205}{0.62} = 332.15 \frac{kg}{cm^2}$$

$$Bolsas de emento = \frac{332.15}{42.5} = 7.82 \frac{bolsas}{m^3}$$

VII. Contenido de Agregado Grueso.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado	Volumen de Agregado Grueso Seco y Compactado, por Volumen Unitario de Concreto para diferentes Módulos de Fineza de la Arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla VI.4: Relación Agua / Cemento por resistencia

Agregado Grueso Seco Compactado: 0.62 m³

VIII. 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: ¾"

Concreto sin aire incorporado							
Tamaño Máximo nominal A°	3/8"	1"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3

Tabla VI.5: contenido de aire

Se tiene como porcentaje de aire atrapado: **2.00%**

IX. Determinación de cantidad de agregado grueso.

Bastara multiplicar el peso seco compactado del agregado grueso por el Volumen del Agregado Grueso.:

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.62 \times 1420 = 880.20 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del agregado grueso} = 880.20 \text{ kg}$$

X. Determinación del Agregado fino.

El volumen absoluto del agregado fino es igual a la unidad menos el volumen absoluto del agua, agregado grueso, cemento, contenido de aire:

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

$$\text{Volumen absoluto de arena} = 1 - 0.646 = 0.354 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco de arena} = 925.89 \text{ kg}$$

XI. Cantidad de materiales para el diseño

Agua =	205.00	Lt/m ³
Cemento =	303.25	Kg/m ³
Piedra =	880.20	Kg/m ³
Arena =	925.89	Kg/m ³

XII. Corrección por Humedad del agregado

A.F. Arena Húmeda =	962.89	Kg.
A.G. Piedra Húmeda =	882.14	Kg.
Agua libre en Arena =	2.58 %	= 23.86
Agua libre en Piedra =	-0.43 %	= 3.83
Contribución Total =	20.03	Lt/m ³

Diseño patrón:

Agua =	184.97	lt.
Cemento =	303.25	Kg.
Piedra =	882.14	Kg.
Arena =	962.90	Kg.

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 10% REEMPLAZO

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua de diseño: 184.21 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 962.93 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 793.92 Kg/m³

Ladrillo triturado: 87.70 Kg/m³

DISEÑO A 20% REEMPLAZO

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua de diseño: 183.98 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 962.93 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 705.71 Kg/m³

Ladrillo triturado: 175.41 Kg/m³

DISEÑO A 30% REEMPLAZO

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua de diseño: 183.59 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 962.93 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 617.50Kg/m³

Ladrillo triturado: 263.11 Kg/m³

APENDICE E



Imagen N° 1: Fotografía de la cantera de agregados



Imagen N° 2: Fotografía de la realización de ensayos para las características de los agregados.



Imagen N° 3: Fotografía de pesaje de agregados para la mezcla.



Imagen N° 4: Fotografía de pesaje de agregados para la mezcla.



Imagen N° 5: Fotografía de la elaboración del concreto.



Imagen N° 6: Fotografía de la prueba de abrams para el concreto fresco.



Imagen N° 7: Fotografía de echado de concreto a las probetas.

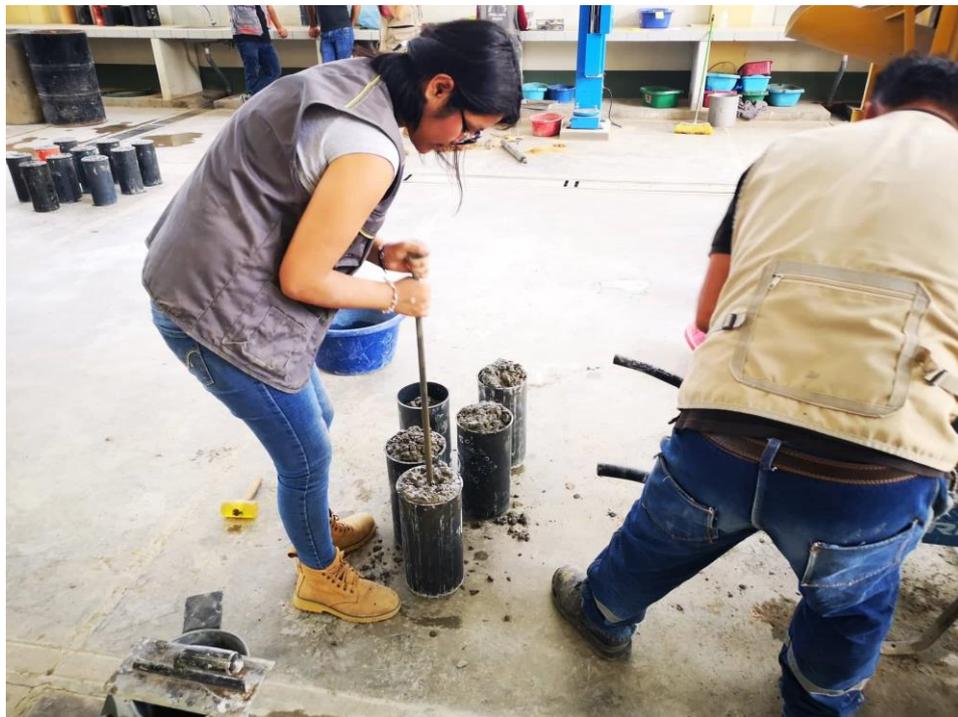


Imagen N° 7: Fotografía del chuseado de las probetas.



Imagen N° 8: Fotografía de la máquina de ensayo de resistencia a compresión.



Imagen N° 09: Fotografía de la distribución del ladrillo en la probeta ensayada



Imagen N° 10: Fotografía de las probetas ya realizadas, con adición de ladrillo.

ANEXO A

FICHA TÉCNICA DEL LADRILLO PIRAMIDE



FICHA TÉCNICA

Actualizado el 01 de Marzo 2017

DEFINICIÓN DEL PRODUCTO					
	<h2 style="margin: 0;">KING KONG 30% DE VACÍOS INFES</h2>				
USO:	<i>Ladrillo para muros portantes de alta resistencia</i>				
MATERIAS PRIMAS:	Mezcla de arcillas.	Unidad	Especificación Interna	Requisitos Normados: NTP. 399.613 NTP. 331.017 RNE. 070	
PROPIEDADES FÍSICAS:					
PESO: Mínimo - Máximo		Kg	3.850 - 4.000	-	
DIMENSIONES:	Largo	cm	24.0	1%	23.8 Min. 24.2 Máx.
	Ancho	cm	13.0	2%	12.7 Min. 13.3 Máx.
	Alto	cm	9.0	3%	8.7 Min. 9.3 Máx.
ABSORCIÓN DE AGUA		%	< 22.0	Máx. 22.0	
ÁREA DE VACÍOS		%	≤ 30.0	≤ 30.0	
ALABEO		mm	< 2.0	Máx. 2.0	
DENSIDAD		g/cm ³	1.90 - 2.00	-	
EFLORESCENCIA		-	No presenta	No presenta	
CLASE		-	Tipo V	Tipo V	
RENDIMIENTO	Mortero 1.0 cm	Und/m ²	Soga / Cabeza	40	71
	Mortero 1.5 cm	Und/m ²	Soga / Cabeza	37	66
PROPIEDADES MECÁNICAS:					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		Kg/cm ²	> 180	Min. 180	

Nota:

Ladrillo fabricado para ser usado en muros portantes de alta resistencia a la compresión, con recubrimiento (tarnjeo) tanto en interiores como en exteriores de la edificación



Oficina: República de Panamá 3563 5to. Piso - of. 501, Telf: (0511) 422-2468 / Fax: (0511) 440-2675

Planta: Panamericana Norte, Altura Km. 30.5 - Casabaylo, Telf: (0511) 660-2808 / (0511) 660-2805 Fax: (0511) 660-2805 anexo 22

www.ladrillopiramide.com



Ficha Técnica

CEMENTO
ANDINO PREMIUM



Descripción:

- Es un Cemento Portland Tipo I, obtenido de la molienda Clinker Tipo I y yeso.

Beneficios:

- Alta resistencia a mediano y largo plazo, alta durabilidad.
- Excelente trabajabilidad y acabado.
- Bajo contenido de álcalis. Buena resistencia a los agregados álcali reactivos.
- Moderada resistencia al salitre.

Usos:

- Estructuras sólidas de acabados perfectos.
- Construcciones en general de gran envergadura como, puentes, estructuras industriales y conjuntos habitacionales.

Características Técnicas:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

Formato de Distribución:

- Bolsas de 42.5 Kg: 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.

Recomendaciones

Dosificación:

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

Manipulación:

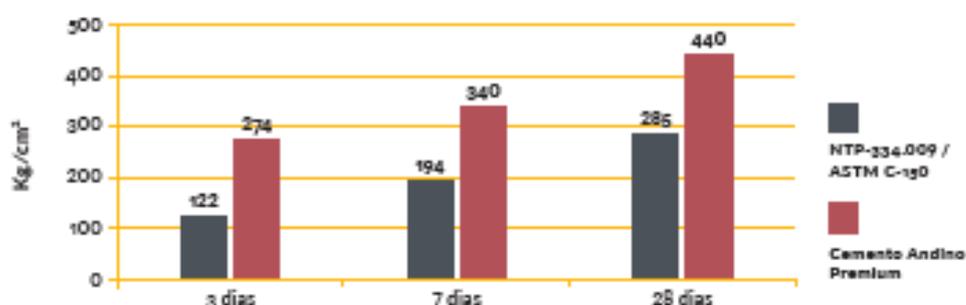
- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

Almacenamiento:

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno y en dos pallet de altura.

Requisitos mecánicos

Comparación resistencias NTP-334.009 / ASTM C-150 vs. Cemento Andino Premium



Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad	Cemento Andino Premium	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	3.08	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.01	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	361	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.15	No específica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	274	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	340	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	440	Mínimo 285*
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	116	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	285	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	1.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.68	Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.49	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.69	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	13.33	No específica
C ₃ S	%	57.35	No específica
C ₃ A	%	7.50	No específica
C ₄ AF	%	10.61	No específica
Alcalis Equivalentes			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.47	Requisito opcional, máximo 0.60
Resistencia a los Sulfatos			
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.083	0.10 % máx. a 180 días

*Requisito opcional