

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POST GRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

SECCIÓN: INGENIERÍA

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESIS

EFFECTIVIDAD DEL CURADO INTERNO DEL CONCRETO MEDIANTE LA SATURACIÓN DEL AGREGADO GRUESO EN COMPARACIÓN A OTROS TIPOS DE CURADO

Presentado por:

ING. LUIS MATÍAS TEJADA ARIAS

Asesor

M. en Ing. Héctor Albarino Pérez Loayza

CAJAMARCA, PERÚ

2016

COPYRIGHT © 2016 by
LUIS MATÍAS TEJADA ARIAS
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POST GRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

SECCIÓN: INGENIERÍA

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESIS APROBADA:

EFFECTIVIDAD DEL CURADO INTERNO DEL CONCRETO MEDIANTE LA SATURACIÓN DEL AGREGADO GRUESO EN COMPARACIÓN A OTROS TIPOS DE CURADO

Presentado por:

ING. LUIS MATÍAS TEJADA ARIAS

Comité Científico

M. Ing. Héctor A. Pérez Loayza
Asesor

Dr. Miguel Mosqueira Moreno
Primer Miembro Titular

Dr. Rosa A. LLique Mondragón
Presidente del Comité

Msc. Sergio Huamán Sangay
Segundo Miembro Titular

Cajamarca, Perú

2016

*“La ciencia puede divertirnos
y fascinarnos, pero es la ingeniería
la que cambia al mundo”*

-Warren Buffett -

Dedico este trabajo con mucho agradecimiento y cariño a mis padres Toribio y Felicitas por formarme en valores y alentarme siempre a la superación personal y profesional.

Matías

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca y a sus docentes, de forma especial al Msc. Jaime Amorós Delgado, Director de la Unidad de Postgrado de Ingeniería.

Al M. en Ing. Héctor Pérez Loayza, asesor de esta tesis, quien guío la elaboración de este trabajo.

Al Comité Científico de esta tesis; Dr. Rosa LLique Mondragón, Dr. Miguel Mosqueira Moreno, Msc. Sergio Huamán Sangay y Msc. Marco Silva Silva por las sugerencias y observaciones realizadas.

A mi Padres Toribio Tejada y Felicitas Arias por el apoyo durante mis estudios de Post Grado, de forma especial a mi Padre por la ayuda en la formulación y revisión de esta Tesis.

A mis hermanos Antonio, Luis Antonio (Q.D.D.G) y Cristian por el apoyo que siempre me han brindado, de forma especial a Antonio por ser un guía en mi Carrera Profesional de Ingeniería Civil.

A Ericka Bobadilla por su comprensión y el apoyo con el idioma inglés en este trabajo.

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

Matías

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	vii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS	xvii
RESUMEN	xviii
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1.Contextualización.	1
1.1.2.Descripción del problema.....	4
1.1.3.Formulación del problema.....	5
1.2. Justificación de la investigación	6
1.2.1.Justificación científica.	6
1.2.2.Justificación técnica – práctica.	6
1.2.3.Justificación institucional y personal.....	7
1.3. Delimitación de la investigación	8
1.4. Limitaciones de la investigación	9
1.5. Objetivos	10
1.5.1.Objetivo general.	10
1.5.2.Objetivos específicos.....	10
CAPITULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.1.1 Antecedentes de estudios de la importancia del curado del concreto.....	11
2.1.2 Antecedentes de estudios de la importancia de la hidratación del cemento.	11
2.1.3 Primeros estudios sobre el curado interno del concreto mediante el uso de agregados ligeros.....	12
2.1.4 Estudios de curado interno mediante saturación de agregado ligero, polímeros súper absorbentes, arcillas expandidas en los últimos años.	13
2.2. Marco doctrinal de las teorías particulares en el campo de la ciencia en la que se ubica el objeto de estudio.	15

2.3. Marco conceptual	17
2.3.1.El concreto y sus componentes.	17
2.3.2.Porosidad de la pasta (RIVVA, 2004 págs. 8,9,10).....	18
2.3.3.Funciones del agregado.....	20
2.3.4.Interrelación agregado-concreto	20
2.3.5.La Hidratación del cemento Portland.	21
2.3.6.Velocidad de Secado del Concreto (deseccación del concreto)	24
2.3.7.Resistencia a compresión (Kosmatka, y otros, 2004).....	26
2.3.8.Durabilidad del concreto.....	27
2.3.9.Cambios de volumen en el concreto.	28
2.3.10. Curado del concreto.	37
2.3.11. Curado interno del concreto.....	38
2.3.12. Diferencia del curado interno del concreto mediante la saturación de agregado grueso con otros tipos de curados.	42
2.3.13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.....	47
2.4. Definición de términos básicos	48
CAPÍTULO III	52
PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS	52
3.1. Hipótesis	52
3.1.1 Hipótesis general.....	52
3.1.2 Hipótesis específicas.....	52
3.2. Variables de estudio	53
3.3. Operacionalización y categorización de los componentes de las hipótesis ..54	
3.3.1.Definición conceptual de variables dependientes de estudio.	54
3.3.2.Definición Operacional de variables dependientes de estudio.	55
CAPÍTULO IV	57
MARCO METODOLÓGICO	57
4.1. Ubicación geográfica	57
4.2. Diseño de la investigación	57
4.2.1.Tipo de Investigación	57
4.2.2.Etapas de la investigación	58
4.2.3.Estrategias, actividades y procedimientos para la obtención de datos.	61
4.2.4.Criterios de selección de las unidades de análisis y observación	61
4.3. Población, muestra, tratamientos de estudio, unidad de análisis y unidades de observación	65

4.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de información	66
4.5. Equipos, materiales e insumos	67
4.5.1. Cantera de material para producción de agregado	67
4.5.2. El cemento utilizado.....	67
4.5.3. Agua potable de la Ciudad Universitaria de la UNC.....	68
3.6. Procesos y toma de datos durante la investigación.	68
3.6.1. Obtención de propiedades de agregados para el estudio.	68
3.6.2. Procedimiento de diseño de mezclas.....	71
3.6.3. Diseño de mezclas usando el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados.....	72
3.6.4. Elaboración de mezcla de prueba.....	73
3.6.5. Elaboración de Unidades de estudio	73
3.6.6. Curado de los especímenes cilíndricos de concreto.....	74
3.6.7. El Asentamiento en el concreto en estado no endurecido.	74
3.6.8. El peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto.....	74
3.6.9. La resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto.	74
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de información.	74
3.7.1. Análisis estadístico de los resultados.....	75
3.7.2. Análisis estadístico de varianza y Prueba de Rango Múltiple de Tukey.	75
CAPÍTULO V	79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
5.1. Presentación de y Análisis estadístico de resultados	79
5.1.1. Resultados y análisis estadístico de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días.....	79
5.1.2. Resultados y análisis estadístico de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días.....	83
5.1.3. Resultados y análisis estadístico de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días.....	87
5.1.4. Resultados y análisis estadístico de resistencias a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7 días.	91
5.1.5. Resultados y análisis estadístico de resistencias a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 28 días.	94
5.1.6. Resultados y análisis estadístico de resistencias a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 90 días.	98

5.2. Interpretación y discusión de resultados.	102
5.2.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados de retención de humedad en el concreto según el tipo de tratamiento de curado.....	102
5.2.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto según el tipo de tratamiento de curado.....	105
5.2.3. Análisis, interpretación y discusión de resultados de comparación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de humedad según tratamiento.	110
5.2.6. Análisis, interpretación y discusión de resultados de comparación del desarrollo de la resistencia a la compresión y desecación del concreto según tratamientos de estudio.....	113
5.3. Contratación de hipótesis	115
CAPÍTULO VI	116
6.1. Características de la propuesta.....	116
6.2. Beneficios que aportará la propuesta	117
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS	122
APÉNDICE I: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS	125
I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS	125
II. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO, Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	128
III. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	129
IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DE LOS AGREGADOS	130
V. RESULTADOS DE ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO	131
APÉNDICE II DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS	132
APÉNDICE III CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO	138
APÉNDICE IV: FOTOGRAFÍAS	140
ANEXO I FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EMPLEADO	146
ANEXO II DATOS HISTÓRICOS DEL CLIMA DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AGUSTO WEBERBAUER.	147
ANEXO III CONSTANCIA DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES	150

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1: Tabla de operacionalización y categorización de los componentes de las hipótesis	56
Tabla N°2: Unidades de estudio – Especímenes cilíndricos de concreto para ensayo a resistencia a compresión	66
Tabla N°3: Estándares para control del concreto (ACI 214-77).....	76
Tabla N°4: Matriz de consistencia metodológica.....	77
Tabla N°5: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado por rociado de agua.....	79
Tabla N°6: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana ...	79
Tabla N°7: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado sumergido en agua.....	80
Tabla N°8: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado interno (mediante la saturación del agregado grueso).	80
Tabla N°9: Análisis de la varianza de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días, según los tratamientos.....	80
Tabla N°10: Medias de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días, según los tratamientos	81
Tabla N°11: Agrupación de información de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	81
Tabla N°12: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado por rociado de agua.....	83
Tabla N°13: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana ...	83
Tabla N°14: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado sumergido en agua.....	83
Tabla N°15: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado interno	84
Tabla N°16: Análisis de la varianza de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días, según los tratamientos.....	84

Tabla N°17: Medias de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días, según los tratamientos	85
Tabla N°18: Agrupación de información de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%	85
Tabla N°19: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado por rociado de agua.....	87
Tabla N°20: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana ...	87
Tabla N°21: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado sumergido en agua.....	87
Tabla N°22: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado interno	88
Tabla N°23: Análisis de la varianza de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días, según los tratamientos.....	88
Tabla N°24: Medias de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días, según los tratamientos	89
Tabla N°25: Agrupación de información de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%	89
Tabla N°26: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado por rociado de agua.....	91
Tabla N°27: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana.....	91
Tabla N°28: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado sumergido en agua.....	91
Tabla N°29: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado interno	92
Tabla N°30: Análisis de la varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días, según los tratamientos..	92
Tabla N°31: Medias de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días, según los tratamientos	92
Tabla N°32: Agrupación de información de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	93
Tabla N°33: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado por rociado de agua.	94

Tabla N°34: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana.....	95
Tabla N°35: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado sumergido en agua.....	95
Tabla N°36: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado interno.....	95
Tabla N°37: Análisis de la varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días, según los tratamientos	96
Tabla N°38: Medias de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días, según los tratamientos.....	96
Tabla N°39: Agrupación de información de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	96
Tabla N°40: Resultados de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado por rociado de agua.....	98
Tabla N°41: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana.....	98
Tabla N°42: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado sumergido en agua.....	99
Tabla N°43: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado interno.....	99
Tabla N°44: Análisis de la varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días, según los tratamientos	99
Tabla N°45: Medias de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días, según los tratamientos.....	100
Tabla N°46: Agrupación de información de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	100
Tabla N°47: Diferencia de las medias de humedad de la propuesta de curado interno con los tratamientos de curado estudiados a edades de 7, 28 y 90 días.	104
Tabla N°48: Estimación de resistencia a la compresión a los 360 días según CEB-FIP 1990, en base a la media de resistencia a la compresión a los 90 días.	105
Tabla N°49: Diferencia de las medias del desarrollo de la resistencia a compresión de los tratamientos de curado estudiados referente al f'_c de diseño: 210 kg/cm ²	108
Tabla N°50: Diferencia de las medias de resistencia a compresión de la propuesta de curado interno con los tratamientos de curado estudiados a edades de 7, 28, 90 y 360 días.....	109
Tabla N°51: Tabla de Contrastación de hipótesis del estudio.	115

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1: Despacho nacional de Cemento (ASOCEM, 2015).....	1
Figura N°2: Efecto del tiempo de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del concreto (Gonnerman, y otros, 1982) (Kosmatka, y otros, 2004).....	2
Figura N°3: Efectos de la adición de agregados cerámicos porosos en el desarrollo de la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia (SUZUKI y SEDDIK 2009).....	14
Figura N°4: Resistencia a la compresión para concretos con curado interno en función de su edad (Zhoutovsky, y otros, 2012).....	15
Figura N°5: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema cerrado según Powers y colaboradores.	22
Figura N°6: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema abierto según Powers y colaboradores.....	23
Figura N° 7 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).....	25
Figura N°8: Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concretos, expresado como porcentaje de la resistencia a los 28 días (Lange, 1994).....	26
Figura N°9: 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-materiales 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).....	28
Figura N°10: Cambios de volumen por contracción química y contracción autógena de pasta fresca y endurecida (sin escala) (Kosmatka, y otros, 2004).....	30
Figura N°11: Relación entre contracción autógena y contracción química de la pasta a edades tempranas según Hammer citado por Kosmatka (Kosmatka, y otros, 2004).....	31
Figura N°12: 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).....	31
Figura N°13: Las fisuras por contracción plástica se aparecen con rasgaduras en el concreto fresco (Kosmatka, y otros, 2004).....	33
Figura N°14: 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).....	34

Figura N° 15: Cambio de longitud de especímenes de concreto expuestos a diferentes regímenes de curado (Aitcin 1999).	35
Figura N° 16: 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).	36
Figura N°17: Concepto de curado interno, donde External curing: Curado externo, Internal curing curado interno, external wáter: agua externa, wáter penetration: penetración de agua externa, initial specimen: espécimen en el inicio, after curing, después del curado.- Robert Philleo, 1991. (Aldana, 2014).	39
Figura N°18, Curado externo del concreto visto en sección transversal.	43
Figura N°19, Inicio del curado interno mediante agregado ligero visto en sección transversal.	44
Figura N°20. Curado interno mediante agregado ligero visto en sección transversal.	44
Figura N°21. Inicio de la propuesta de curado interno mediante saturación de agregado grueso visto en sección transversal.	45
Figura N°22. Propuesta de curado interno mediante saturación de agregado grueso visto en sección transversal.	46
Figura N°23: Fotografía Satelital de la cantera Bazán ubicada en el Río Mashcón en el Km 03+000 de la carretera Cajamarca – San Pablo.	67
Figura N°24: Gráficas de intervalos para agrupaciones de % de humedad por tratamiento a los 7 días de edad.	81
Figura N°25: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad por tratamiento a los 7 días de edad.	82
Figura N°26: Gráficas de intervalos para agrupaciones de % de humedad por tratamiento a los 28 días de edad.	85
Figura N°27: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad a los 28 días por tratamiento	86
Figura N°28: Gráficas de intervalos para agrupaciones de % de humedad por tratamiento a los 90 días de edad.	89
Figura N°29: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad a los 28 días por tratamiento	90
Figura N°30: Gráficas de intervalos para agrupaciones de resistencia a la compresión a los 7 días por tratamiento.	93
Figura N°31: Gráficas de valores individuales y cajas de resistencia a la compresión a los 7 días por tratamiento.	93
Figura N°32: Gráficas de intervalos para agrupaciones de resistencia a la compresión a los 28 días por tratamiento	97
Figura N°33: Gráficas de valores individuales y cajas de resistencia a la compresión por tratamiento	97
Figura N°34: Gráficas de intervalos para agrupaciones de resistencia a la compresión a los 28 días por tratamiento	100
Figura N°35: Gráficas de valores individuales y cajas de resistencia a la compresión por tratamiento	101

Figura N°36: Gráfica de retención de humedad a edades (deseccación del concreto) de 7, 28 y 90 días según el tratamiento de estudio.....	102
Figura N°37: Desarrollo de la resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 90 días según el tratamiento de curado de estudio.	106
Figura N°38: Desarrollo de la resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 90 días y Estimación de resistencia a la compresión a los 360 días según CEB-FIP 1990, según el tratamiento de curado de estudio	107
Figura N°39: Relación de resistencia a la compresión y porcentaje de humedad a los 7 días	110
Figura N°40: Relación de resistencia a la compresión y porcentaje de humedad a los 28 días	111
Figura N°41: Relación de resistencia a la compresión y porcentaje de humedad a los 90 días	112
Figura N°42: Relación de resistencia a la compresión y retención de humedad a los 7, 28 y 90 días	113

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

7d: 7 días de edad del concreto.

28d: 28 días de edad del concreto.

90d: 90 días de edad del concreto.

°C: Grados Celsius.

A/C: Relación de cantidad de agua y cantidad de cemento de una mezcla de concreto

ACI: En inglés American Concrete Institute, instituto Americano del Concreto, es una organización de Estados Unidos de América que publica normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto reforzado.

ANOVA: Análisis estadístico de la varianza de un grupo de datos.

ASTM: En inglés American Section of the International Association for Testing Materials o ASTM International es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.

f'c: Resistencia en compresión especificada del concreto, utilizada por el ingeniero calculista e indicado en los planos y especificaciones de obra, se expresa comúnmente en Kg/cm².

f'cr: Resistencia en compresión promedio requerida, utilizada para la selección de las proporciones de los materiales que intervienen en la unidad cubica de concreto, se expresa comúnmente en Kg/cm².

Kg/cm²: Kilogramo por centímetro cuadrado.

Kg/m³: Kilogramo por metro cúbico.

Kg: Kilogramo.

L: Litro.

Mpa: Megapascal

NTP: Norma Técnica Peruana.

UNC: Universidad Nacional de Cajamarca.

α: Grado de hidratación del concreto.

RESUMEN

Este estudio se realizó en Cajamarca, Perú; en donde, en la elaboración de concreto, el curado de éste se realiza de manera superficial, comúnmente por humedecimiento o por rociado de aditivo generador de membrana; pero no, se conoce la efectividad de estos tipos de curados en el desarrollo a la resistencia a compresión. Por lo cual existe una necesidad de saber la influencia de los tipos de curado del concreto más comunes en su desarrollo de la resistencia a compresión y/o buscar nuevos métodos más efectivos de curado. Así, esta tesis tiene como objetivo: Determinar 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.

PALABRAS CLAVE:

Aditivo generador de membrana, curado, curado interno, efectividad, resistencia a compresión y humedad.

ABSTACT

This study was made in Cajamarca, Peru. Where, the elaboration of concrete and its curing is made in a superficial way, commonly by wetting or spraying generator additive membrane, but it is not known the effectivity of these types of curing in the development of compressive strength. Whereby, it exists a necessity of knowing the influence of the types of the most common concrete curing in their development to resistance and compression and also to search new effective curing methods. Therefore, this thesis has as objective: To determine the effectiveness of internal curing through the saturation of the coarse aggregate, referring to the humidity and resistance to the strength in comparison to other three types of curing. For that, it was proposed to take as object of study four types of concrete curing made with crushing river aggregate, for the same blending design of a resistance of $f'c$: 210 Kg/cm² obtaining different treatments of concrete which were: (a) concrete curing water spray (b) with additive Membranil Vista (c) curing submerged in water and compare it with (d) internal curing by saturating coarse aggregate (taking this as a new propose). Of these four treatments of concrete it was studied; the humidity in concrete and compressive strength of cylindrical concrete specimens at the age of 7, 28 and 90 days. These data were collected using qualitative and quantitative methods for then be processed and analyzed using statistical methods, concluding that internal curing through the saturation of coarse aggregate was more effective in the retention of humidity and the increased of compression resistance in contradistinction to other common curing treatments studied.

KEYWORDS:

Additive membrane generator, concrete curing, effectivity, compressive strength, internal curing and humidity.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización.

El concreto es el material de construcción más usado en el mundo por su capacidad de moldearse y poder ser utilizado en formas ilimitadas en la construcción, es básicamente un producto artificial de la mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados que normalmente son arena y grava (roca triturada, o roca natural zarandeada), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. En el Perú, según la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), se despacharon aproximadamente 10.707 millones de toneladas de cemento portland en el año 2015 con los cuales se produjeron aproximadamente 32 millones de metros cúbicos de concreto en todo el país. Como se expone en la figura N° 1, donde se muestra el crecimiento de despacho de cemento nacional (Kosmatka, y otros, 2004)

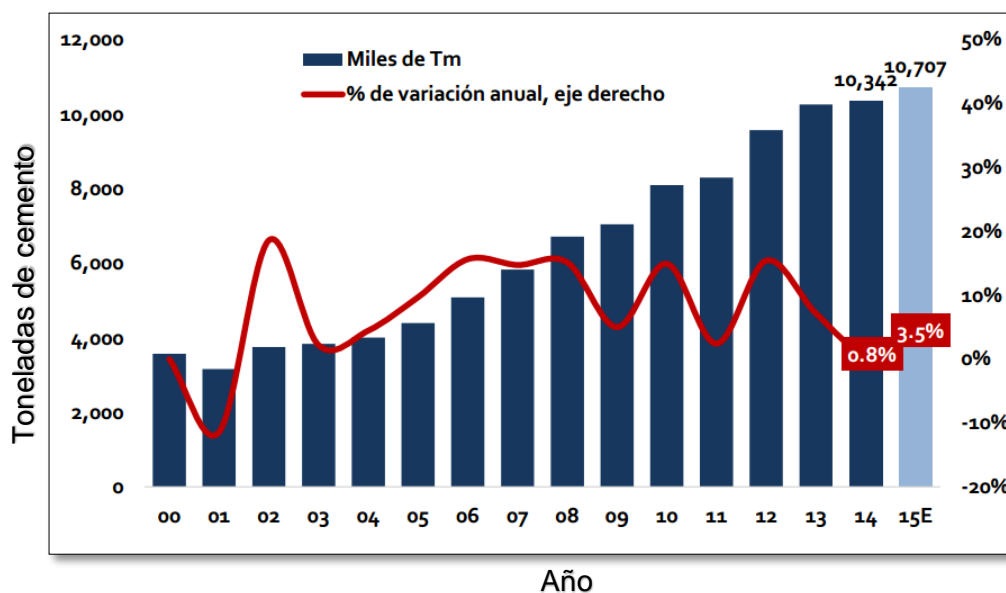


Figura N°1: Despacho nacional de Cemento (ASOCEM, 2015)

Para obtener un concreto que cumpla con las especificaciones para el cual va a ser utilizado, como son la resistencia a la compresión 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.

Según Kosmatka y colaboradores, la hidratación es relativamente rápida en los primeros días después de la colocación del concreto. Por lo tanto, es importante que se retenga agua en el concreto durante este período, o sea, se debe evitar la evaporación o reducirla considerablemente. Con un curado adecuado, el concreto se vuelve más impermeable y más resistente a esfuerzos, a abrasión y a congelación-deshielo. El desarrollo de las propiedades es muy rápido en los primeros días, pero después continúa más lentamente por un periodo de tiempo indefinido. En la figura N°2 se observa el desarrollo de la resistencia a compresión de acuerdo a diferentes tipos de curados utilizados (Kosmatka, y otros, 2004).

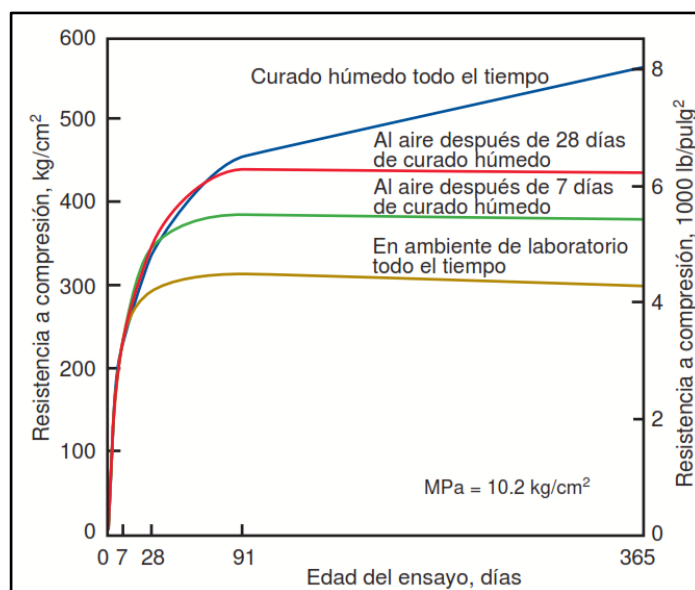


Figura N°2: Efecto del tiempo de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del concreto (Gonnerman, y otros, 1982) (Kosmatka, y otros, 2004).

En la figura N° 2, también, se observa que los concretos con curado húmedo todo el tiempo y expuesto al aire después de 28 días de curado mostraron mayor desarrollo de resistencia a compresión a diferencia de los concretos en ambiente de laboratorio y expuesto al aire después de 7 días de curado, e incluso a un año de edad estos dos últimos alcanzan resistencias aproximadas de solo la mitad del concreto curado todo el tiempo, demostrando la importancia del curado constante del concreto y de estudiar el desarrollo de la resistencia a compresión del concreto a edades mayores de los 28 días. Por lo cual, en la presente investigación se planteó estudiar la resistencia a la compresión hasta los 90 días de edad.

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

Cabe añadir otros problemas posibles de no aplicar un curado adecuado, como es la aparición de fisuras y grietas, tal como lo menciona Kosmatka y colaboradores al sostener que la pérdida de agua también va a causar la contracción (retracción) del concreto, creando esfuerzo de tensión (tracción). Si estas tensiones se desarrollan antes que el concreto haya logrado resistencia suficiente, la superficie va a fisurarse. Se deben proteger, por tanto, contra la evaporación todas las superficies expuestas, incluyéndose bordes y juntas (Kosmatka, y otros, 2004).

En los párrafos anteriores, se expone la importancia de aplicar un curado adecuado al concreto, cuando inmediatamente éste ha fraguado (ha pasado del estado plástico a un estado endurecido). Por lo cual, es necesario aplicar un método o métodos de curado efectivos en obra con el fin de que los concretos presenten resistencias a compresión requeridas, durabilidad y evitar los problemas de contracciones por pérdida de agua.

1.1.2. Descripción del problema.

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. También se presentan ocasionalmente resistencias a compresión de muestras extraídas con diamantina de concreto en obra inferiores a las requeridas según las especificaciones técnicas, también inferiores a la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos del mismo concreto curados sumergidos en agua, lo cual podría demostrar al ser las mismas mezclas de concreto, las resistencias obtenidas del concreto en servicio serían inferiores por falta de un curado óptimo en obra. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033 , 2009)

Así, existe una necesidad de proponer otros tipos de curado que sean más eficientes, o innovar con la combinación de un nuevo tipo de curado con otros ya conocidos que presenten mejoras en la resistencia a compresión y durabilidad del concreto. Y conocer cuan más efectivo es esta nueva propuesta de curado a diferencia de los curados más comúnmente utilizados en nuestro país.

Por lo cual, la presente investigación se realiza por la necesidad de proponer otros tipos de curado que presenten mejores resultados de resistencia a la compresión y durabilidad en el concreto, con la finalidad de mejorar las características del concreto. Estudiando así un nuevo tipo de curado, llamado curado interno, que 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 la saturación de agregado liviano como método de incorporar agua en el concreto, en todos estos estudios se ha demostrado un alto grado de efectividad en el curado interno usando agregados livianos (López, y otros, 2005).

En este estudio se propuso estudiar una propuesta de curado interno mediante la saturación máxima de agregado grueso común para elaboración de concretos. Ya que

en la biografía estudiada se encuentra el curado interno mediante saturación de material liviano como polímeros súper absorbentes, arcillas expandidas, agregado liviano y madera. Los cuales mejoran el desarrollo de la resistencia a la compresión, durabilidad y evitan problemas de contracción por desecación del concreto, muestran una desventaja: Que limitan la resistencia a compresión última del concreto, por la baja resistencia de estos materiales absorbentes.

Para verificar si esta propuesta de curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso es más efectivo que los curados usualmente utilizados, debemos determinar el efecto que tiene este tipo de curado en la retención de humedad y en la resistencia a la compresión y compararlos con otros curados ya conocidos.

1.1.3. Formulación del problema.

Pregunta general:

¿Qué efectividad¹ tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso, referente a la retención de humedad y aumento de la resistencia a compresión del concreto, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido² en agua?

Preguntas específicas:

- a. ¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a la retención humedad del concreto, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua?

- b. ¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a aumento de la resistencia a la compresión del concreto, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua?

¹ Efectividad: Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera (Diccionario de la Real Academia Española, 2016, La 23.^a edición)

² Sumergido: Que está metido debajo del agua o de otro líquido. (Diccionario de la Real Academia Española, 2016, La 23.^a edición)

1.2. Justificación de la investigación

1.2.1. Justificación científica.

Este estudio se justifica de forma científica por lo siguiente:

- a. Se brinda un aporte teórico importante, recopilando información referente a los métodos de curado del concreto, en especial forma respecto al curado interno del concreto que es un tipo de curado nuevo en la localidad de Cajamarca y el país, no encontrándose antecedentes locales de este tipo de curado. Y tampoco del curado interno mediante la saturación del agregado grueso que se estudia en esta tesis.
- b. Esta tesis obtuvo resultados positivos en la efectividad del curado interno por saturación del agregado grueso. Así, podría ser la base para investigaciones futuras referentes a este tipo de curado interno propuesto, como estudiar su combinación con otros tipos de curados comunes y estudiar la influencia de esta propuesta de curado en otras propiedades del concreto, como en la durabilidad, disminución de aparición de fisuras y control de altas temperaturas del concreto en clima cálido o masivo.

1.2.2. Justificación técnica – práctica.

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

- a. La investigación es original, ya que si bien desde 1991 se estudia el curado interno del concreto, no se encuentran investigaciones referentes a curado interno mediante la saturación del agregado grueso, ni tampoco hay investigaciones sobre el tema en el país.
- b. Se obtuvieron resultados positivos en la efectividad del curado interno por saturación del agregado grueso, lo que permite proponerlo como un nuevo tipo de curado a utilizar a diferencia de otros curados comunes como son el curado mediante rociado con agua, por rociado de líquido formador de membrana y por curado sumergido en agua.

- c. La investigación ha respondido a un problema común y constante al que se enfrentan los involucrados en el área de construcción, siendo común encontrar fisuración o agrietamiento en losas o estructuras expuestas a la intemperie; lo que se debe a la pérdida temprana de agua de mezcla y también resistencias a compresión del concreto menores a las requeridas, todo por falta de un curado óptimo.
- d. Se puede decir que la investigación es trascendente en la sociedad; ya que los resultados obtenidos van dirigidos a la comunidad relacionada con la construcción en el país, como son los ingenieros, maestros de obra, empresas fabricadoras de concreto premezclado, Universidades e instituciones educativas técnicas con carreras afines a la construcción civil, para poder utilizar la información obtenida al aplicarse en los métodos de elaboración de concreto o realizar investigaciones referentes.

1.2.3. Justificación institucional y personal.

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

- a. La Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) a través de su Escuela de Posgrado, está en capacidad de desarrollar investigaciones a través de sus estudiantes a fin de resolver los problemas sociales que se enmarcan en su campo de acción; siendo en este caso el estudio de la propuesta de un curado interno del concreto mediante la saturación de agregado grueso, el cual de aplicarse podría solucionar los problemas comunes por falta de un curado óptimo del concreto.
- b. El tesista se encontraba capacitado, ya que ha realizado un trabajo de investigación previo en la Escuela de Pre grado de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca titulado “Estudio de la influencia del Material Muy Fino en la Resistencia a Compresión del Concreto”, el cual se relaciona con el tema de investigación de esta tesis, siendo el tema de investigación de interés personal y se encuentra motivado para poder cumplir con los objetivos de la presente investigación.

1.3. Delimitación de la investigación

Las delimitaciones de la presente investigación son las siguientes:

- a. En cuanto a factibilidad, se contó con los recursos necesarios para realizar los ensayos propuestos. La elección de los materiales pétreos se realizó tomando en cuenta que deben cumplir con las recomendaciones granulométricas de las normas internacionales y nacionales, por ello, Se tomó muestra de agregados de una cantera de agregado chancado proveniente de río para elaboración de las unidades de estudio; por lo cual, los resultados de la tesis pueden aplicarse a este tipo, pero no es representativo para todos los agregados utilizados en el país, que son provenientes de diferentes canteras, de distintos tipos de rocas y con diferentes métodos de producción de agregados.
- b. En cuanto a confiabilidad, técnica y metodología: los ensayos realizados para desarrollar la presente investigación se realizaron con equipos debidamente calibrados, los cuales cuentan con sus respectivos certificados de calibración. Los ensayos se realizaron siguiendo las normas técnicas NTP³, ASTM⁴ o recomendaciones ACI⁵ respectivas actualizadas al presente año 2015, siendo realizados por técnicos de concreto capacitados y supervisados por el tesista. Por lo tanto, se puede afirmar que hay confiabilidad en los resultados.
- c. En cuanto a la delimitación teórica, se buscó y recopiló las investigaciones nacionales e internacionales por medio de buscadores especializados de investigaciones en idioma español e inglés.
- d. En cuanto a delimitación temporal, la investigación se realizó a inicios del año 2016, por lo que la información obtenida actualizada a esta fecha de las Normas NTP, ASTM o recomendaciones ACI, pueden variar respecto a los próximos años, por estar sujetas a actualizaciones constantes. Así mismo, las características de los agregados utilizados pueden cambiar a través del tiempo.

³ NTP: Normas Técnicas Peruanas

⁴ ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) o ASTM International es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.

⁵ ACI: American Concrete Institute, instituto Americano del Concreto, es una organización de Estados Unidos de América que publica normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto reforzado.

1.4. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la presente investigación son las siguientes:

- a. Por ser una investigación base, Sólo se realizaron los tratamientos de estudio de concreto con un diseño de mezclas de $f'c$: 210 kg/cm² (el cual es el $f'c$ mayormente utilizado en estructuras de concreto) y con una relación agua/cemento según el diseño de mezclas de 0.5, pudiéndose estudiar el curado interno propuesto con diseños de mezclas de $f'c$: 175 kg/cm², $f'c$: 280 kg/cm², $f'c$: 350 kg/cm², o concretos especiales de mayores resistencias con relaciones agua / cemento bajas donde, según los estudios antecedentes los beneficios de este tipo de curado serían más evidentes que los otros curados comunes.
- b. Se estudia solo tres tipos de curados comunes (los cuales se encuentran más comúnmente utilizados en el país), curado mediante rociado con agua, por rociado de líquido formador de membrana, este último con un solo tipo de aditivo curador (MEMBRANIL VISTA⁶ de la empresa Chema), y el curado estándar de especímenes cilíndricos de concreto mediante inmersión en agua la cual se especifica en la norma NTP 339.033, pudiéndose estudiar otros tipos de curados utilizados; así como, otros tipos de aditivos curadores.
- c. Se realizaron estudios de desarrollo de esfuerzo a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edades de 7, 28 y 90 días, ya que, a edades mayores a 90 días el desarrollo de la resistencia a la compresión ya no es significativo, pero, estudiar a una mayor edad como a los 180 o 365 días nos brindaría una resistencia más real a edades más avanzadas del concreto.

⁶ Líquido transparente tipo membrana que satisface las especificaciones ASTM 309 Clase A, que con una sola aplicación producirá una membrana que retendrá el 95% del agua del concreto por 7 días, siendo una alternativa al curado tradicional que se realiza durante 7 días con agua

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general.

Determinar 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: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua

1.5.2. Objetivos específicos.

Los objetivos específicos de la investigación se formulan en los dos enunciados siguientes:

- a. Determinar qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a la humedad del concreto, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua.
- b. Determinar qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes de estudios de la importancia del curado del concreto.

Kosmatka y colaboradores (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 concreto al ambiente pueden retrasar o incluso detener la hidratación. La figura N°2 del CAPITULO I, es presentada como una evidencia del efecto del suministro externo de agua de curado en la resistencia a compresión del concreto (López, y otros, 2005). Con este estudio se tiene evidencia de la importancia del curado apropiado y continuo en los primeros días de edad del concreto para poder obtener concretos sin problemas de inadecuada hidratación del cemento, como son mayor permeabilidad del concreto y cemento no hidratado dentro del concreto que producen bajas resistencias a la compresión y que afectan la durabilidad de éste.

2.1.2 Antecedentes de estudios de la importancia de la hidratación del cemento.

Weber y Reinhardt (1997) 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”* (López, y otros, 2005). En este antecedente, se explica cómo funciona el proceso de hidratación y la relación y eficacia que tendría el curado interno

del concreto, ya que se concluye que al avanzar el proceso de hidratación del cemento, los poros capilares se hacen más pequeños y aumentan su propiedad de absorción, ya que por propiedades físicas del agua, ésta siempre va de los poros grandes a los más pequeños, favoreciendo que el agregado saturado aporte agua de curado a la pasta de cemento.

2.1.3 Primeros estudios sobre el curado interno del concreto mediante el uso de agregados ligeros.

Según Bentz en 2011, citado por Aldana: *“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”* (Aldana, 2014). Se evidencia que este método de curado interno ya ha sido utilizado en otros países demostrando mejores resultados referentes a control de fisuras, desarrollo de resistencia a la compresión y durabilidad.

La primera publicación relacionada con que era probable el curado interno con agregados ligeros fue publicada por Paul Klieger en 1957, quien escribió: *“Los agregados livianos absorben considerable agua durante la mezcla que aparentemente puede transferir a la pasta durante la hidratación (Klieger, 1957)”*. Luego, el reconocido tecnólogo de concretos, Robert Philleo escribió estas palabras proféticas en 1991, *“la naturaleza básica del cemento portland debe ser cambiada para que la auto desecación se reduzca, o una manera hay que encontrar para conseguir agua de curado en el interior de los miembros estructurales de alta resistencia. Este último es posible a través del uso de agregados ligeros saturados”* (Aldana, 2014). En estos antecedentes, se observa el desarrollo de investigaciones referentes al curado interno, donde Paul Klieger en 1957 descubre que se puede brindar agua de curado de forma interna mediante la absorción de los agregados livianos durante la mezcla, y en 1991 Philleo propone el uso de agregados ligeros saturados para realizar un curado interior.

2.1.4 Estudios de curado interno mediante saturación de agregado ligero, polímeros súper absorbentes, arcillas expandidas en los últimos años.

Según Shohei, para que los agregados de peso ligero funcionan con éxito como un depósito de curado interno, los poros que contienen el agua deben ser más grandes que los de la pasta de cemento que los rodea, para que el agua preferentemente pase de los agregados al cemento (Shohei, y otros, 2010). Pero, en la presente investigación se estudió la propuesta de curado interno mediante la saturación de agregado grueso común, el cual aportaría agua de curado interno por estar saturado al máximo, por el principio de desarrollo de poros capilares de menor tamaño y por gravedad favorecerían a que la pasta de cemento absorba más agua que aporta el agregado saturado.

Según Shohei y colaboradores, 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%. En las figuras N°4 y 5 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. Mientras que la mezcla con reemplazo del 40% tiene una resistencia a la compresión mayor sólo a los 90 días (Shohei, y otros, 2010).

En el estudio de Aldana titulado: "Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto" se concluye que: La resistencia a la compresión de los concretos con material cerámico sólo aumenta cuando se tiene la relación a/c baja. En la medida en que aumenta la relación a/c, la resistencia a la compresión disminuye, por lo que pierde efectividad el uso de material cerámico para curado interno de mezclas de concreto. Con la relación a/c más baja se obtuvieron incrementos en la resistencia a la compresión del orden del 24% a los 90 días, con porcentajes de reemplazo del 40% de material cerámico y desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, el curado interno realizado a través del uso de material cerámico resulta útil para mezclas de concreto de alta resistencia, que ayudaría a obtener resistencias superiores a las de un concreto convencional cuando se necesiten

concretos con resistencias del orden de 42 MPa o superiores, estos resultados (para a/c de 0.30) (Aldana, 2014).

Otras investigaciones han mostrado aumentos significativos en la resistencia a la compresión de las mezclas con curado interno, como es el caso de la investigación hecha en la Universidad de Hiroshima realizado por SUZUKI y colaborador, donde se obtuvieron resistencias alrededor de un 20% superiores, comparadas con una muestra patrón como se muestra en la siguiente Figura N°3, donde se puede apreciar el incremento que se obtuvo para la resistencia a la compresión de un concreto de alto rendimiento a 28 días, con una relación a/c de 0.15, comparada con una muestra patrón sin material cerámico. En dicho estudio se hizo reemplazo de material cerámico poroso hasta un porcentaje de 40% (PC40), el cual obtuvo una resistencia un 30% superior a la mezcla patrón (Suzuki, y otros, 2009).

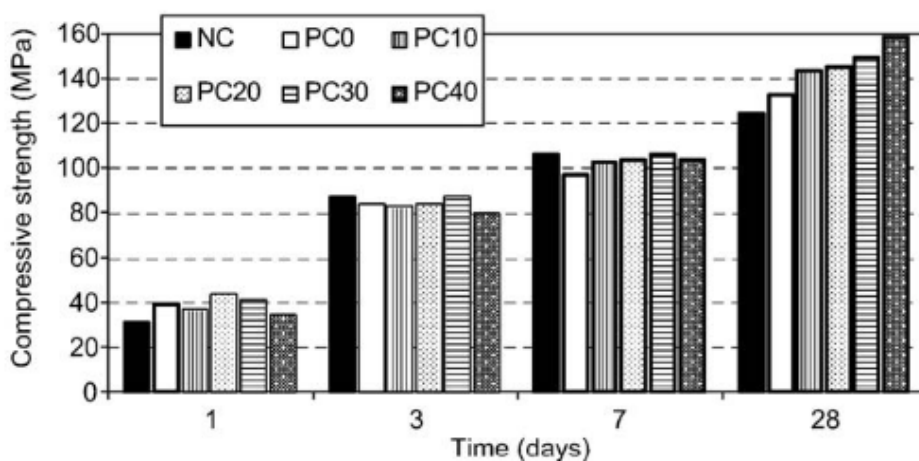


Figura N°3: Efectos de la adición de agregados cerámicos porosos en el desarrollo de la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia (SUZUKI y SEDDIK 2009)

Por lo expuesto, 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.

En la Figura N°4 se presentan las resistencias a la compresión para concretos de alto rendimiento, con valores de relación a/c de 0.21, 0.25 y 0.33 y reemplazando un 30% del agregado grueso por material cerámico poroso. En la gráfica, las muestras 21, 25 y 33 son las muestras patrón, mientras que las muestras 21L, 25L y 33L son las que tienen curado interno a través del material cerámico (Zhoutovsky, y otros, 2012).

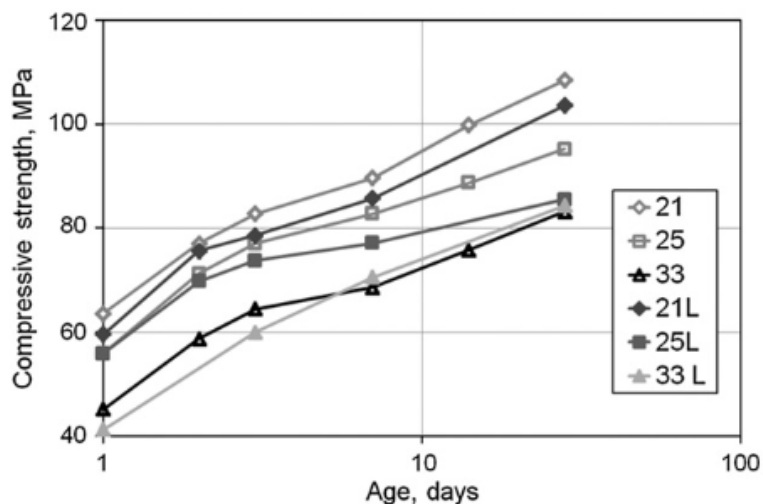


Figura N°4: Resistencia a la compresión para concretos con curado interno en función de su edad (Zhoutovsky, y otros, 2012)

Según Aldana, Los efectos de curado interno en la resistencia a la compresión y tracción dependen de las proporciones específicas de la mezcla, las condiciones de curado y la edad de los ensayos. Mientras que las mezclas con el curado interno podrían aumentar la resistencia debido a un aumento en el grado de hidratación del cemento, al contrario, una disminución se ha podido observar como consecuencia de tener materiales mecánicamente más débiles que el agregado normal que se está reemplazando. En la práctica, tanto aumentos y disminuciones en la resistencia se han observado debido a la inclusión de estos materiales cerámicos (Aldana, 2014).

2.2. Marco doctrinal de las teorías particulares en el campo de la ciencia en la que se ubica el objeto de estudio.

Según el estudio de Aldana titulado: “Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto” concluye que: *“desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, el curado interno realizado a través del uso de material cerámico resulta útil para mezclas de concreto de alta resistencia, que ayudaría a obtener resistencias superiores a las de un concreto convencional cuando se necesiten concretos con resistencias del orden de 42 MPa o superiores, estos resultados (para a/c de 0.30)...”* (Aldana, 2014 pág. 70).

Esteves y colaboradores en su estudio titulado: “Efecto de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de los morteros con partículas superabsorbentes“;

concluyen que: *“Los polímeros súper absorbentes pueden aplicarse de forma eficaz a los hormigones de cemento en condiciones de curado adversas, ya que mantienen las propiedades mecánicas de éstos liberando agua en función de las necesidades. Este resultado debiera alentar más estudios”* (Esteves, y otros, 2009 pág. 72).

Según el estudio de Martínez titulado: *“Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el Sur de la Sabana de Bogotá”* se concluye que: *“Se comprobó que los agregados absorbentes y porosos, producen concretos livianos con moderada capacidad estructural, debido a la baja resistencia propia que estos áridos presentan. Igualmente, se verificó que la resistencia del agregado influye notablemente en la resistencia del concreto resultante y en general en todas las propiedades del concreto”* (Martínez, 2010 pág. 159).

En la investigación de Solís y colaboradores titulada: *“Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c”*; se concluye que: *“La resistencia del concreto depende de la calidad de la pasta de cemento y de las características de los agregados pétreos. La primera es controlada por la relación agua - cemento, mientras que las propiedades de los agregados generalmente no pueden ser manipuladas ya que se suele utilizar aquellos que están disponibles cerca de la construcción. En muchas regiones rocas con propiedades no deseables son utilizadas como agregado. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue responder a la pregunta sobre cuál sería la máxima resistencia de diseño que se podría utilizar para concretos fabricados con un tipo específico de agregados obtenidos a partir de la trituración de roca caliza de alta absorción. Se probaron concretos con seis relaciones agua - cemento y dos tamaños de agregado grueso. Se concluyó que con los agregados estudiados es posible fabricar concretos de hasta 500 Kg/cm².”* También se concluye que: *“A pesar de que este agregado calizo puede ser considerado deficiente por su alta absorción, se ha encontrado que la interacción química de las partículas de roca con la pasta de cemento puede conducir a un incremento en la fuerza de la adherencia entre éstas y los productos hidratados de cemento. A edades tempranas, la hidratación del cemento produce una gran cantidad de poros, lo que provoca una fuerza de adherencia débil; pero a mayor edad se ha observado que estos poros suelen llenarse con productos de hidratación posteriores, incrementándose la fuerza de adherencia”* (Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c, Enero - Abril 2012)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. 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 hidratación⁷ 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

⁷Se define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo.

aquellas condiciones que favorezcan la hidratación tienen importancia en la influencia de la pasta en el concreto. Por lo cual, acá yace la importancia de la retención de agua por el curado. Cabe decir que lo que se busca con la propuesta de curado interno del concreto mediante la saturación de agregado grueso es aumentar de manera uniforme el grado de hidratación del cemento.

2.3.2. Porosidad de la pasta (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.

2.3.3. 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.

2.3.4. Interrelación agregado-concreto

Las propiedades del concreto resultantes 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.

2.3.5. 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 hidrato (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 aquella 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 5 y 6). 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).

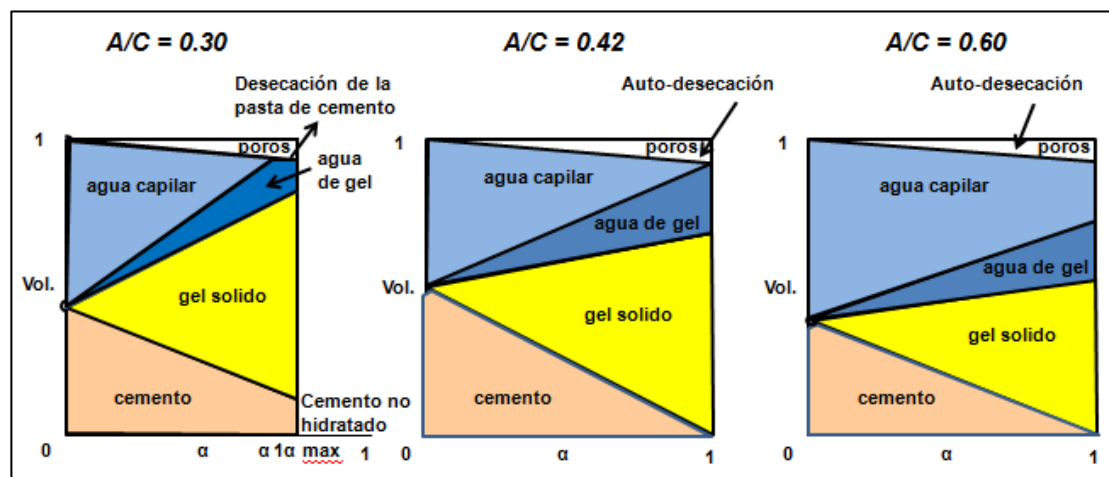


Figura N°5: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema cerrado según Powers y colaboradores.

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).

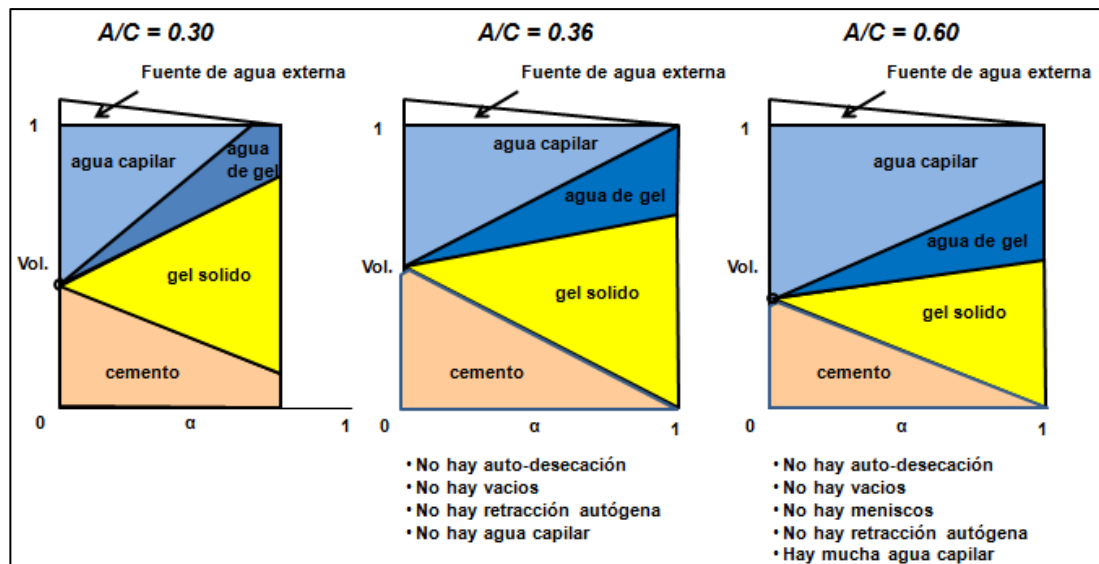


Figura N°6: Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema abierto según Powers y colaboradores

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).

2.3.6. 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° 7, 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.

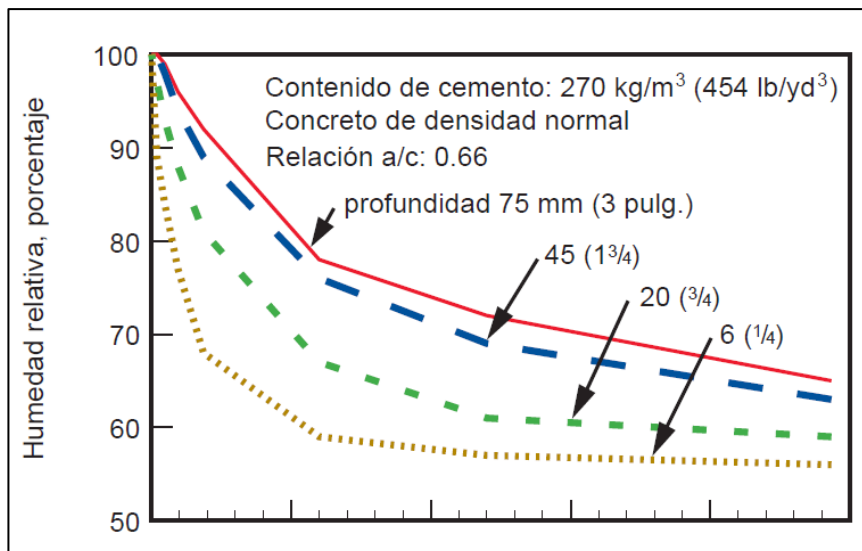


Figura N° 7 Distribución de la humedad relativa, retracción (contracción, encogimiento) por secado (deseccación) y pérdida de masa de cilindros de 150 x 300-mm (6 x 12- pulg.) sometidos a curado húmedo por 7 días y posteriormente al secado al aire del laboratorio a 23°C (73°F). (Hanson, 1968)

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).

2.3.7. 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/cm^2), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2 o psi) a una edad de 28 días. Un mega pascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado (N/mm^2) 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°6. 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).

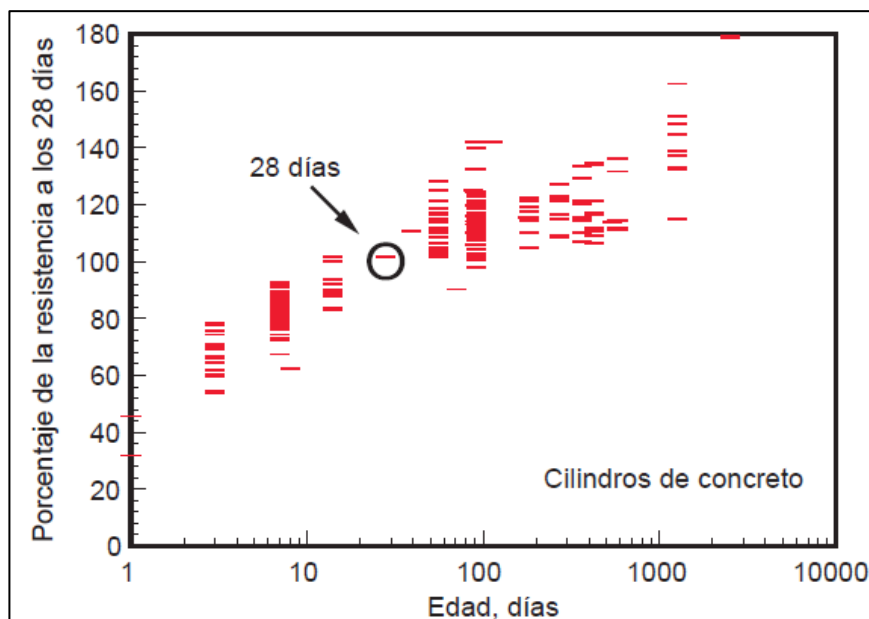


Figura N°8: Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concretos, expresado como porcentaje de la resistencia a los 28 días (Lange, 1994)

2.3.8. 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 N°9: 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-materiales 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)

2.3.9. 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.

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).

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°10. 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).

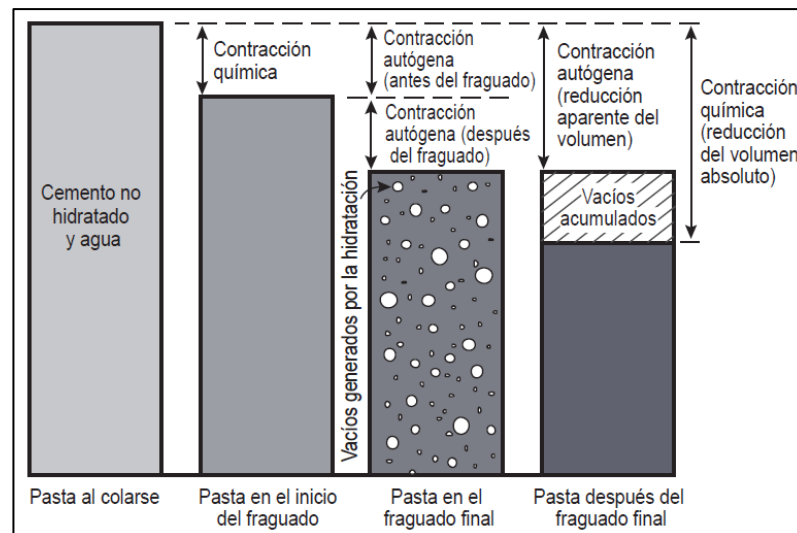


Figura N°10: Cambios de volumen por contracción química y contracción autógena de pasta fresca y endurecida (sin escala) (Kosmatka, y otros, 2004)

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°10 ,11 y 12. 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.

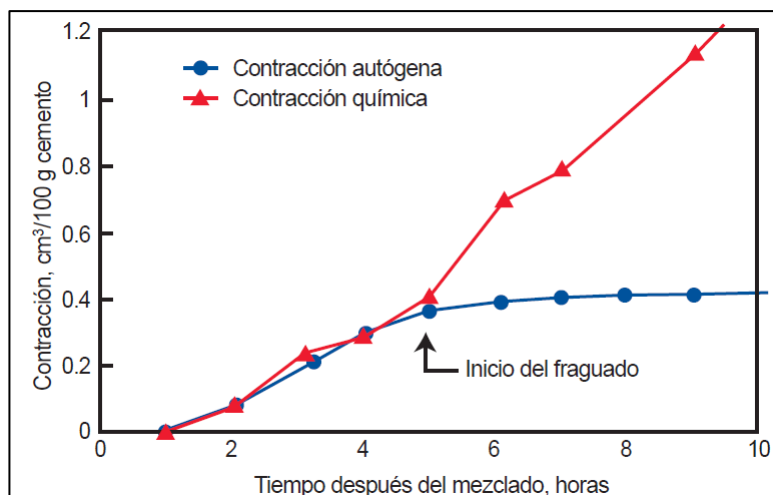


Figura N°11: Relación entre contracción autógena y contracción química de la pasta a edades tempranas según Hammer citado por Kosmatka (Kosmatka, y otros, 2004)

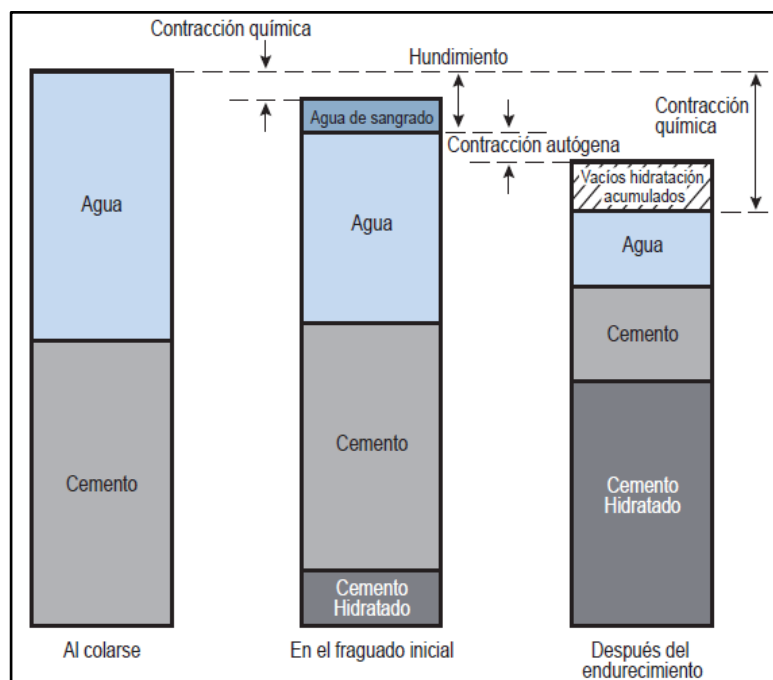


Figura N°12: Relación volumétrica entre hundimiento (asentamiento), agua de sangrado, contracción química y contracción autógena. Sólo se muestra la contracción autógena después del inicio del fraguado. Sin escala (Kosmatka, y otros, 2004)

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° 12 (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 N°13: 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 autógena y de secado (Kosmatka, y otros, 2004).

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°14. 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).

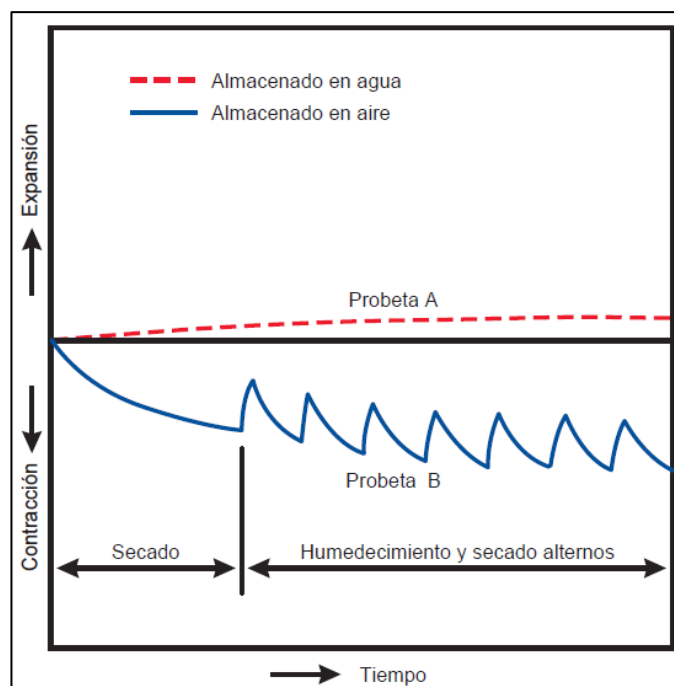


Figura N°14: figura esquemática de los movimientos de la humedad en el concreto. Si se conserva el concreto constantemente húmedo, ocurre una pequeña expansión. Sin embargo, normalmente también ocurre el secado, causando contracción. Humedecimiento y secado adicionales causan ciclos alternados de expansión 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°15 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).

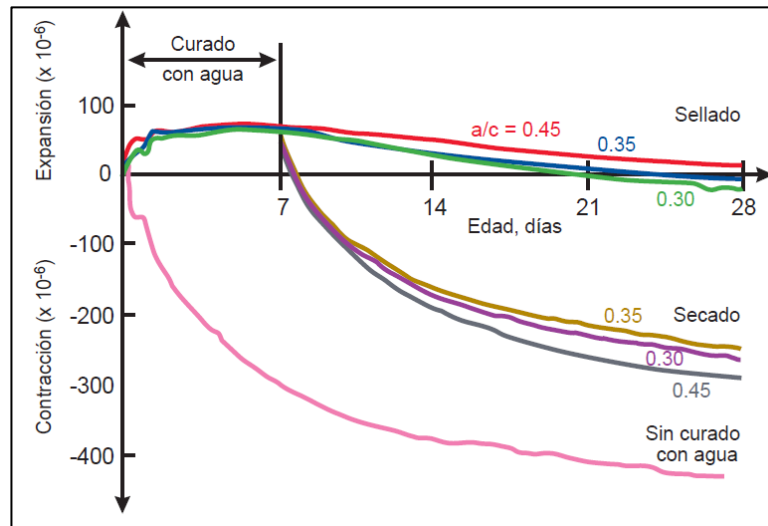


Figura N° 15: Cambio de longitud de especímenes de concreto expuestos a diferentes regímenes de curado (Aitcin 1999).

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° 16). 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).

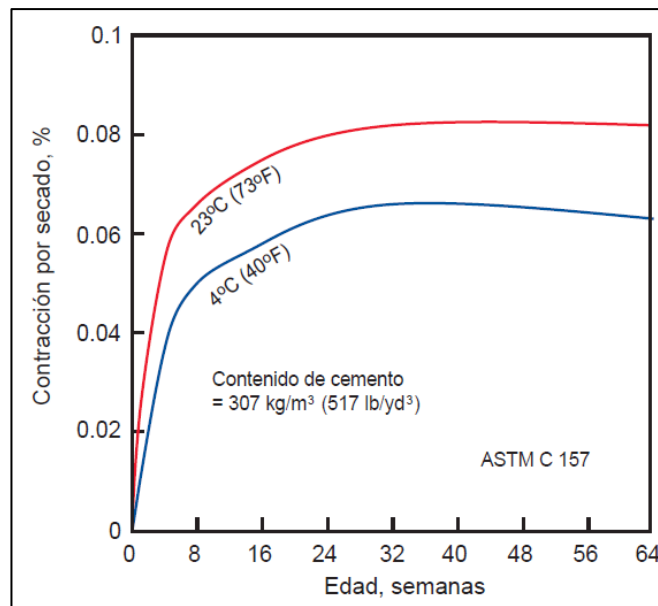


Figura N° 16: Efecto del curado inicial sobre la contracción por secado de prismas de concreto de cemento Portland. El concreto con curado húmedo inicial de siete días a 4°C (40°F) tuvo menos contracción que un concreto con curado húmedo inicial a 23°C (73°F). Se obtuvieron resultados similares en concretos conteniendo 25% de ceniza volante como parte del material cementante (Gebler y Klieger 1986).

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).

2.3.10. Curado del concreto.

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

1. Métodos que mantienen el agua de la mezcla (agua de mezclado) presente durante los períodos iniciales de endurecimiento. Entre éstos se incluyen encharcamiento o inmersión, rociado, aspersión o niebla y coberturas saturadas de agua. Estos métodos permiten un cierto enfriamiento a través de la evaporación, que es benéfico en clima caluroso.

a. Encharcamiento e Inmersión: En superficies planas, tales como pavimentos y losas, se puede curar por encharcamiento. Los diques (bordos) 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.

b. 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

c. 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.

2. Métodos que reducen la pérdida del agua de la mezcla de la superficie del concreto. Esto se puede hacer cubriéndose el concreto con papel impermeable o plástico o a través de la aplicación de compuestos formadores de membrana.

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 (AASHTO M 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.

3. Métodos que aceleran el desarrollo de la resistencia a través del suministro de calor y humedad adicional al concreto. Esto se realiza normalmente con vapor directo, espirales (serpientes) de calentamiento o cimbras (encofrados) o almohadilla calentados eléctricamente.

El método o la combinación de métodos elegido depende de factores como la disponibilidad de los materiales de curado, el tamaño, forma y edad del concreto, las instalaciones de producción (en obra o en central), apariencia estética y economía. Como resultado, el curado normalmente envuelve una serie de procedimientos usados en momentos específicos a medida que el concreto se envejece. Por ejemplo, aspersión de niebla o yute húmeda cubierta con plástico pueden preceder la aplicación del compuesto de curado. El momento de cada procedimiento depende del grado necesario de endurecimiento para que el procedimiento no dañe la superficie del concreto (Spanish Edition ACI 318S-08, 2008).

2.3.11. 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, tal como se explica en el ítem 2.2.9 de durabilidad del concreto. Según Aldana: El concepto de Philleo de durado interno del concreto (1991) se ilustra esquemáticamente en la siguiente (Figura N° 17), 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. A mediados de la década de 1990, una gran variedad de grupos de investigación en Alemania, los Países Bajos, e Israel se habían dedicado a investigar el curado interno mediante el uso de agregados ligeros prehumedecidos. Unos años después de eso, se investigaron otros materiales que podrían funcionar como reservorios de agua internos, tales como polímeros súper absorbentes (Jensen, y otros, 2002).

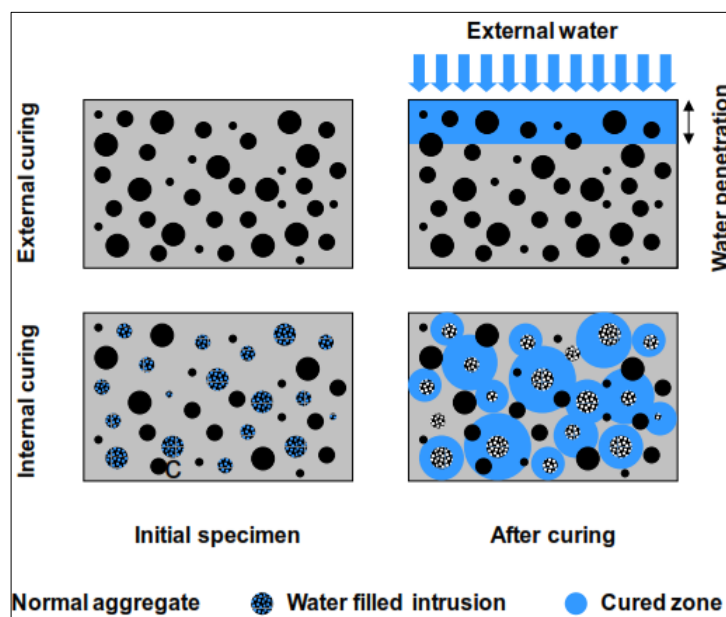


Figura N°17: Concepto de curado interno, donde External curing: Curado externo, Internal curing curado interno, external wáter: agua externa, wáter penetration: penetración de agua externa, initial specimen: espécimen en el inicio, after curing, después del curado.- Robert Philleo, 1991. (Aldana, 2014)

Efecto de curado interno en el concreto.

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

Las mezclas con relación agua/cemento bajas experimentan auto desecación, especialmente en condiciones selladas de curado. La auto desecación ocurre como resultado de la retracción química. Durante la hidratación del cemento, los productos de hidratación ocupan un volumen que es aproximadamente 10% más pequeño que

los reactivos. Esto resulta en la creación de vacíos llenos de vapor dentro del concreto. Estos vacíos llenados de vapor crecen con el incremento de la hidratación y penetran poco a poco en los poros. Los agregados ligeros pueden utilizarse como reserva de agua para remplazar la demanda de agua producto de la hidratación de la pasta del cemento, de tal modo que reduce los vacíos llenos de vapor y, por lo tanto, mitiga los efectos de la auto desecación en mezclas de concreto con relaciones agua/cemento bajas. La razón es que cuando el agua deja el agregado ligero 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 agregado de peso normal por agregado ligero saturado, como ha sido demostrado por varios autores (Durán Herrera, y otros, 2007).

La eficiencia de un sistema de curado interno está fuertemente relacionada con el contenido y los parámetros del agregado ligero saturado utilizado como lo es: absorción, estructura de poro, tamaño de distribución de grano, relación de porosidad abierta a cerrada, así como las propiedades mecánicas. La proximidad entre la pasta y el agregado es un factor determinante para que el agua de curado interno pueda penetrar fácilmente en la pasta. Algunos autores han reportado el hallazgo de que el agregado ligero fino es más afectivo para distribuir la humedad disponible por curado interno que el agregado ligero grueso (Bentz, y otros, 1999) Mientras otros autores han estimado que el tamaño de poro juega un papel más significativo en el proceso de curado interno que el tamaño de la partícula. La dosificación de agregado ligero saturado depende principalmente de la cantidad de agua de curado interno introducida dentro de la matriz cementante. Se ha considerado que un bajo contenido de agregado ligero saturado (6% del peso del cemento) puede totalmente eliminar la retracción autógena de los concreto de relación agua/cemento bajas se ha estimado que un 25% en volumen de agregado ligero saturado fino, como remplazo de agregado de peso normal puede ser efectivo eliminando toda la retracción autógena en los concreto de relación agua/cemento bajas.

El inconveniente de utilizar agregado ligero saturado como agente de curado interno es la disminución en la resistencia a la compresión y la rigidez del concreto. Además, utilizar agregado ligero saturado para reducir la retracción autógena **puede llevar a un efecto negativo en la humedad absorbida dentro del**

agregado, si ésta no está completamente saturada antes de introducirla a la mezcla (Durán Herrera, y otros, 2007).

Polímeros súper absorbentes como agentes de curado interno en el concreto.

Un polímero súper absorbente, es un material polimérico que es capaz de absorber una importante cantidad de líquido y retenerlo dentro de su estructura. Existen diferentes tipos de polímeros, de los cuales algunos llegan a retener hasta 5,000 veces su propio peso; sin embargo, los polímeros súper absorbentes que comercialmente están disponibles en el mercado retienen alrededor de 50g/g en disoluciones como la orina, y en las altas soluciones como en la pasta de cemento pueden llegar a absorber alrededor de 20g/g (Buchholz, y otros, 1989).

O.M. Jensen y P.F. Hansen fueron los primeros en publicar el uso de inclusiones de agua como aditivo para la prevención de la auto desecación, Ellos concluyeron que las inclusiones de polímeros súper absorbentes fueron capaces de mitigar la deformación autógena y mantener una humedad relativa alta dentro de la pasta de cemento. Una característica de estos materiales es su capacidad para utilizarse en las mezclas de concreto en estado seco, ya que toman agua de la mezcla fácilmente durante la etapa de mezclado. (Jensen, y otros, 2002) Esta tesis no se estudió este tipo de curado con polímeros súper absorbentes.

Agregados Ligeros como agentes de curado interno en el concreto.

Por la capacidad de absorber agua y retenerla en su interior durante el mezclado, por décadas, se ha hecho uso de los agregados ligeros para absorber humedad y para producir concretos que fueran menos sensibles a curados de campo deficientes. Para evitar la auto desecación, este concepto pudo ser retomado a principios de la década de 1990, con el uso de agregados ligeros previamente saturados, como agentes de curado interno en concretos de baja relación agua/cemento. Fue entonces cuando este procedimiento surgió como un nuevo y original concepto en curado interno, para mitigar la retracción autógena. El procedimiento consiste en incorporar pequeñas reservas de agua mediante el uso de agregado ligero saturado dentro del concreto (JENSEN, y otros, 2002) los cuales sirven como reservas de agua para contrarrestar la auto desecación producida por la reacción química durante la hidratación del cemento antes del fraguado, esta agua se mantiene dentro de las partículas

principalmente por el equilibrio de fuerzas capilares en la solución de poro, cuando este equilibrio se rompe por el surgimiento de auto-desección, entonces las reservas de agua se liberan para mitigar la auto-desección y la consecuente retracción autógena.

Solamente poros mayores que 100 nm se utilizan para almacenar agua de curado interno. En poros más pequeños el agua no puede ser liberada para participar en el proceso. El espaciamiento entre las partículas debe ser convenientemente pequeño, de modo que el agua no tenga que recorrer una gran distancia para contrarrestar la auto-desección. Esta estrategia ha demostrado ser eficaz en reducir la retracción autógena y el agrietamiento (Henkensiefken, y otros, 2009).

Recientemente se ha demostrado que es eficiente sustituir agregado ligero saturado por arena de peso normal, para mitigar la retracción autógena. Estas fuentes dispersantes de agua saturada en la red de poros, creada por la retracción química que se desarrolla durante la hidratación del cemento, disminuye el desarrollo de la auto-desección y consecuentemente la retracción autógena (Durán Herrera, y otros, 2007).

2.3.12. Diferencia del curado interno del concreto mediante la saturación de agregado grueso con otros tipos de curados.

La propuesta de curado interno del concreto mediante la saturación de agregado grueso se originó, al estudiar los antecedentes de esta investigación referentes a curado interno mediante la utilización de agregados livianos, arcillas expandidas, polímeros súper absorbentes y se encontró que al utilizar el curado interno con estos materiales se obtienen mejores desarrollos de resistencia a la compresión, mejor durabilidad y menor aparición de fisuras por cambios volumétricos por contracción. Por lo cual, la idea de utilizar el agregado grueso saturado al máximo, (debería estar sumergido en agua por un mínimo de 3 días) también podría funcionar como un tipo de curado interno, pues, el agua almacenada en el agregado también podría soltarse y curar internamente luego que ha fraguado el concreto, por medio del desarrollo de la capacidad física del agua de pasar de poros grandes a más pequeños de la pasta de cemento y por gravedad, brindando un curado interno para el concreto.

Es necesario describir las diferencias del curado interno del concreto mediante la saturación de agregado grueso con otros tipos de curados. Como se exponen en las Figuras N° 18, 19, 20, 21 y 22.

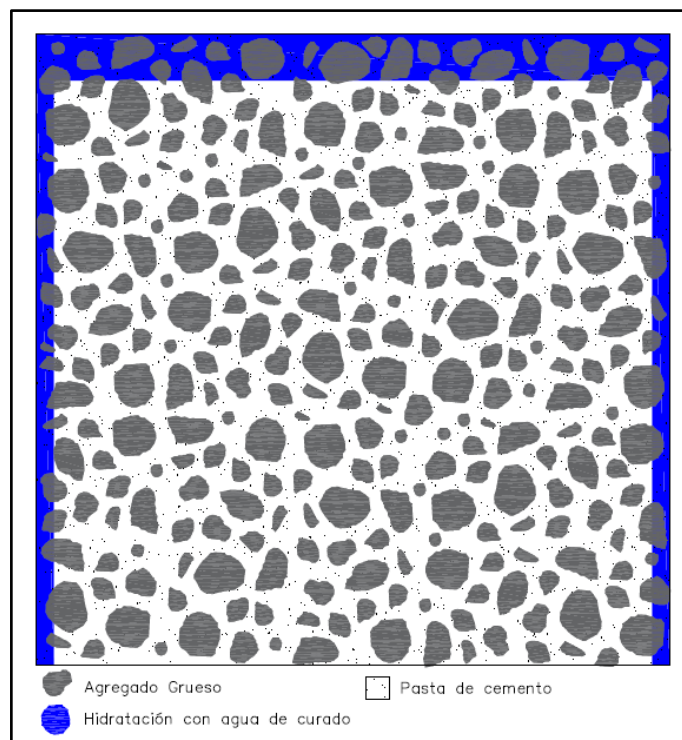


Figura N°18, Curado externo del concreto visto en sección transversal.

En la figura N° 18 se representa el curado superficial del concreto mediante la adición de agua, ya sea por rociado, encharcamiento, materiales humidificantes, e incluso inmersión en agua, solo permiten hidratar las superficies del concreto expuestas, sin permitir el curado de las superficies inferiores y la parte interna de las estructuras del concreto, además tal como se expone en el concepto de Robert Philleo (Aldana, 2014), el curado superficial solo permite la hidratación de unos milímetros del concreto, produciendo una barrera impermeable, ya que al hidratar esta área de concreto, los poros de la pasta de cemento se hacen más pequeños y haciendo más difícil el intercambio de humedad entre el concreto y el ambiente, en concretos con relación agua/cemento bajos, producirían desecación interna del concreto; de igual forma sucede con los concretos curados con aditivos formadores de membrana, que no permiten el intercambio de humedad del concreto al ambiente.

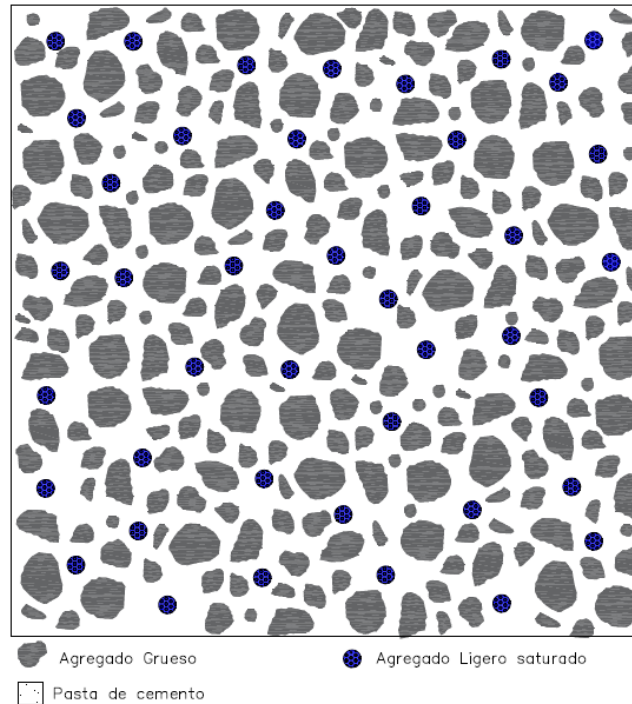


Figura N°19, Inicio del curado interno mediante agregado ligero visto en sección transversal.

En la figura N°19 se representa el inicio del curado interno con agregado ligero, al realizar la mezcla de concreto con agregado ligero (el cual aproximadamente reemplaza el 20% del agregado grueso) el agregado ligero absorbe agua de mezcla sobrante, o también puede saturarse previo a la mezcla.

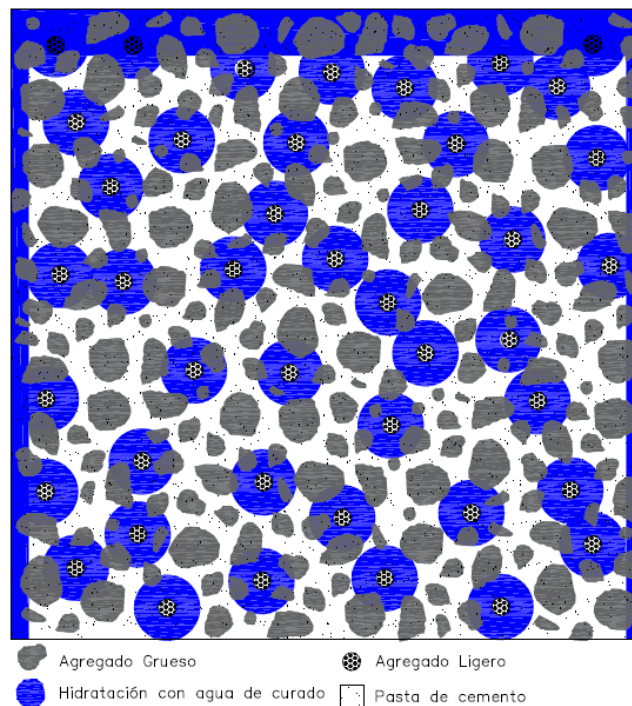


Figura N°20. Curado interno mediante agregado ligero visto en sección transversal.

En la figura N°20 se observa que, luego que el concreto ha fraguado, el agregado liviano saturado brinda agua para la hidratación de la pasta, más uniformemente que el curado superficial permitiendo que se produzca un curado del concreto de manera interna, por la propiedad del agua de pasar de poros de mayor a menor tamaño y por gravedad favoreciendo al desarrollo de la resistencia a la compresión y a la durabilidad, pero el inconveniente de utilizar estos materiales ligeros es la limitación de alcanzar resistencias máximas del concreto, ya que estos materiales livianos o absorbentes tienen bajas resistencias a la compresión.

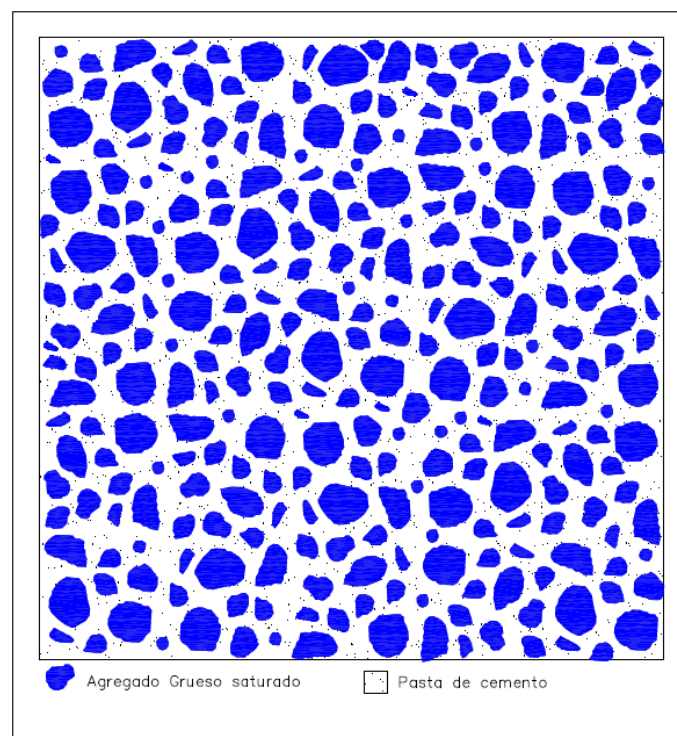


Figura N°21. Inicio de la propuesta de curado interno mediante saturación de agregado grueso visto en sección transversal.

En la figura N° 21 se representa el inicio del curado interno mediante saturación de agregado grueso común, el cual consta en saturar al máximo el agregado grueso común, lo cual según esta tesis fue de un mínimo de 3 días, obteniendo un porcentaje de humedad máximo de 2.4%, para luego realizar las mezclas de concreto de este tratamiento propuesto, donde el agregado grueso no quitaría agua de mezcla al concreto por estar completamente saturado.

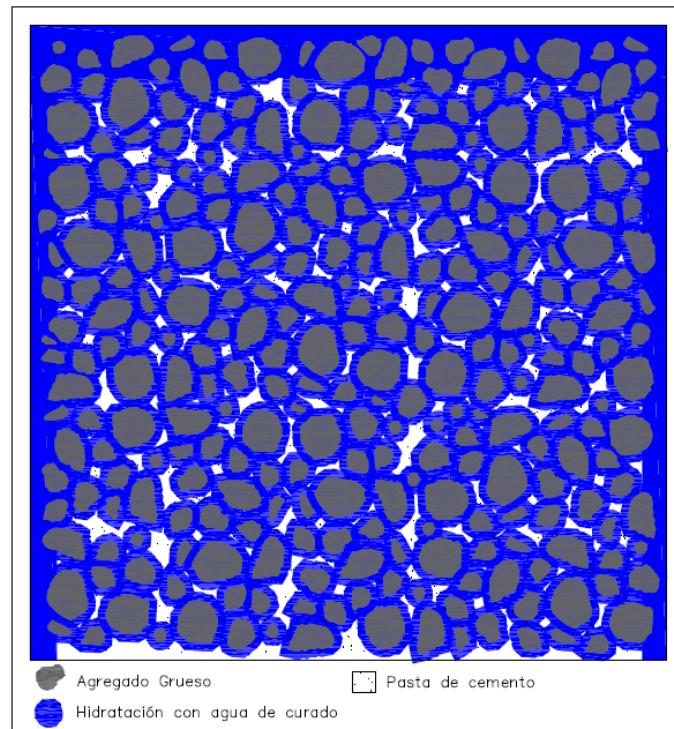


Figura N°22. Propuesta de curado interno mediante saturación de agregado grueso visto en sección transversal.

Como se observa en la figura N°22, cuando la mezcla de concreto ha fraguado, el agregado grueso comenzará a aportar agua de curado internamente (por la propiedad del agua de viajar entre los poros y por gravedad), similar al curado interno mediante agregados ligeros y polímeros súper absorbentes, pero nuestra propuesta tiene todo el agregado grueso saturado, lo que significaría un aporte más uniforme de agua de curado interno, por lo cual consideramos que este curado interno propuesto podría ser tan efectivo como el curado interno convencional conocido, e incluso, no presentando restricciones de alcanzar máximas resistencias a compresión como es el caso de curado interno con agregado ligero.

2.3.13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

En esta investigación, se utilizó este método para corregir el agua de dosificación para la tanda de muestra de concreto. El concreto con curado interno mediante la saturación de agregado grueso tiene mayor cantidad de agua que el concreto de los otros tratamientos lo que se tiene que corregir en el diseño. Según Rivva, las cantidades de agregado que deben ser pesadas para preparar el concreto deberán considerar la humedad del agregado (Rivva, 2010 pp. 82,83). El agua de mezclado incorporada a la mezcla deberá ser reducida en un volumen igual a la humedad superficial o humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal al contenido de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

El agregado, desde el punto de vista de la humedad puede presentarse en cuatro condiciones: (a) seco, (b) semisecho, (c) saturado superficialmente seco, (d) húmedo o mojado.

La humedad superficial está dada por la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción. Puede ser positiva en cuyo caso el agregado aporta agua a la mezcla y dicha cantidad debe ser disminuida del agua de diseño para determinar el agua efectiva; o puede ser negativa, en cuyo caso el agregado tomará agua de la mezcla para llevar al estado de saturado superficialmente seco, debiendo adicionarse dicha cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

En la corrección de las proporciones de la mezcla por condición de humedad del agregado pueden presentarse tres casos: (a) que ambos agregados aporten agua a la mezcla; (b) que uno de los agregados aporte agua y el otro quite agua a la mezcla; y (c) que ambos agregados disminuyan el agua de la mezcla.

2.4. Definición de términos básicos

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 (Rivva, 2004 pág. 17).

Agregado Seco: Se tiene este agregado cuando, tanto su superficie como sus poros internos están totalmente libres de agua. Esta es una condición teórica para la cual se calcula los contenidos de agregado fino y grueso antes de corregir la mezcla por humedad del agregado.

Agregado Semiseco: cuando la superficie del agregado está seca pero sus poros internos están parcialmente llenos de agua. Esta condición es también conocida como secado al aire. Ella siempre es menor que la absorción del agregado.

Agregado superficialmente seco: cuando la superficie del agregado está húmeda, pero la totalidad de sus poros internos están llenos de agua. Se considera la condición ideal del agregado, porque en ella ni aporta, ni toma agua de la mezcla.

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

Cemento Portland: Es un conglomerante hidráulico, obtenido por la pulverización del clinker⁸, 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

⁸Es un producto artificial obtenido por calcinación a elevada temperatura, de una mezcla de materias primas naturales calizas y arcillosas, debidamente dosificadas y molidas hasta alcanzar un grado de finura adecuado.

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).

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

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

Curado con Membranil Vista de Chema : Membranil Vista es Curador transparente tipo membrana, producto adecuado a las especificaciones ASTM 309 Clase A, que con una sola aplicación producirá una membrana, que retendrá el 95% del agua del concreto por 7 días siendo una alternativa al curado tradicional que se realiza durante 7 días con agua. Es un líquido transparente y fluido pero con la densidad suficiente para adherirse a elementos de concreto caravista horizontales, verticales e inclinados. Es una formulación especial para hacer resaltar las características del concreto expuesto o caravista sin ocasionar manchas ni decoloración (Chema, 2016).

Curado con rociado de agua: Es un tipo de curado adicionante de agua de manera superficial, el cual consiste en rociar o cubrir con agua el concreto. El agua de rociado debe cumplir con las condiciones de agua de curado o de mezcla como se describió en el ítem 2.2.6, en los primeros días después de elaborado el concreto. En la ciudad de Cajamarca usualmente solo se cura por rociado de agua los 7 primeros días después de elaborar el concreto.

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).

El Agua de mezcla, cumple una doble función en el concreto, por un lado participa en la reacción de hidratación del cemento, y por otro confiere al concreto el grado de trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario para conferirle a la pasta la trabajabilidad requerida, según las condiciones en obra, ya que el agua en exceso se evapora y crea una red de poros capilares que disminuyen su resistencia (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).

Los agregados para el concreto: Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto. Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto (Rivva, 2004 pág. 16).

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

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 efectiva 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).

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general.

El curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en retención de humedad del concreto que los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana; al mostrar valores mayores en 1 y 3%; pero será menos efectivo que el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón, al mostrar valores menores entre 1 y 3%. De otro lado, será más efectivo en resistencia a la compresión del concreto en comparación a los otros tipos de curado; al mostrar valores mayores entre 10 y 20% respecto a los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana, y, entre 5 y 10% respecto al curado sumergido en agua, o tratamiento patrón.

3.1.2 Hipótesis específicas.

- a. A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en retención de humedad del concreto, que los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana, al mostrar valores superiores que éstos en 1 y 3%; pero, a su vez, será menos efectivo que el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón, al mostrar valores menores que éste entre 1 y 3%.
- b. A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en resistencia a la compresión del concreto en comparación a los otros tres tipos de curado; al mostrar valores mayores entre 10 y 20% respecto

a los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana; y, entre 5 y 10% respecto al curado sumergido en agua, o tratamiento patrón.

3.2. Variables de estudio

Las variables dependientes e independientes consideradas en el estudio, y que se evaluaron a partir de los ensayos en especímenes cilíndricos de concreto a edades de 7, 28 y 90 días, fueron las siguientes:

a. Variables dependientes

- Efectividad del curado del concreto: es la variable dependiente principal de este estudio, la cual se determina estudiando las dos siguientes variables⁹:
 - Humedad del concreto.
 - Resistencia a compresión del concreto.

b. Variable independiente:

- Tipo de curado del concreto.

c. Variables no experimentales o indeterminadas.

c.1. Condiciones climáticas: Los especímenes cilíndricos fueron expuestos a intemperie, tal como lo recomienda la norma NTP 339.033, que indica que para comparación con los resultados de especímenes curados según método estándar o con resultados de otros métodos aplicados en el lugar, por lo cual los cambios de temperatura del clima, vientos influenciarían en el desarrollo de la resistencia de los especímenes cilíndricos, pero todos los tratamientos de estudios fueron elaborados en la misma fecha y afectados por el mismo clima. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033 , 2009)

⁹ Al definirse la efectividad como: “La capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera (Diccionario de la Real Academia Española, 2016, La 23.ª edición)”, es factible, para este caso medirla en forma indirecta.

c.2. Temperatura del concreto: Según la NTP 339.033 al elaborar los especímenes cilíndricos de concreto, la temperatura a la que se encuentren expuestos los especímenes influenciaría en el desarrollo de su resistencia a la compresión, ya que los especímenes cilíndricos con una resistencia especificada menor a 40MPa, deberían tener una temperatura de curado entre 16°C y 27°C, ya que los n un mayor especímenes cilíndricos con mayos temperaturas tendrían un mayor desarrollo de su resistencia a la compresión en sus primeros días de edad, siendo así posible que el curado interno tenga un menor desarrollo a la resistencia a la compresión, ya que el agua interna de los agregados saturados podrían brindar menores temperaturas de curado por la propiedad natural del agua de enfriar materiales. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033 , 2009)

3.3. Operacionalización y categorización de los componentes de las hipótesis

3.3.1. Definición conceptual de variables dependientes de estudio.

1. Efectividad del curado del concreto: La efectividad es la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera, en el caso del curado del concreto el efecto que se quiere lograr es: (a) retener la mayor cantidad de agua dentro del concreto, para mejorar la hidratación del cemento, disminuir la presencia de cemento no hidratado y la contracción autógena por desecación y (b) aumentar la resistencia a la compresión del concreto al favorecer la hidratación del cemento. Ambos aspectos con la finalidad de obtener información sobre el performance del concreto (resistir esfuerzos de servicio, disminución de fisuras y durabilidad)
2. Contenido de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto a edades de 7, 28 y 90 días: esta variable es la relación de la cantidad de agua en peso dentro de muestras de concreto de especímenes cilíndricos sobre el peso de esta muestra de concreto.
3. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto ensayados a las edades de 7, 28 y 90 días: esta variable es definida como el máximo esfuerzo a compresión que puede ser soportado por dicho material sin romperse.

3.3.2. Definición Operacional de variables dependientes de estudio.

1. Efectividad del curado del concreto: esta variable se midió según (a) el contenido de humedad de los especímenes cilíndricos que indicaría que al contener más porcentaje de humedad en el concreto el tratamiento de curado sería más efectivo reteniendo agua y (b) la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos, que indicaría que al tener una mayor resistencia el tratamiento de curado sería también más efectivo hidratando el cemento del concreto.
2. Contenido de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto a edades de 7, 28 y 90 días: esta variable se midió en porcentaje y se considera que los especímenes cilíndricos de concreto de los tratamientos que presenten mayor cantidad de humedad indicaría que mantienen el agua que favorecería a la hidratación del cemento, mejorando su resistencia a la compresión y durabilidad.
3. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto ensayados a las edades de 7, 28 y 90 días: esta variable se midió en unidades de presión (Kg/cm²) y se considera que Los especímenes cilíndricos de concreto que presenten más aumento de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos ensayados indicarían que el concreto resistiría más esfuerzos de compresión en su tiempo de servicio. Asimismo, la medida de su resistencia a dichos esfuerzos se utiliza como índice de su calidad.

Tabla N°1: Tabla de operacionalización y categorización de los componentes de las hipótesis

Hipótesis específicas	Variables	Definición conceptual de las variables	Definición operacional de las variables	
			Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos
a. A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en retención de humedad del concreto, que los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana, al mostrar valores superiores que éstos en 1 y 3%; pero, a su vez, será menos efectivo que el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón, al mostrar valores menores que éste entre 1 y 3%.	Contenido de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto a edades de 7, 28 y 90 días.	Relación de la cantidad de agua en peso dentro de muestras de concreto de especímenes cilíndricos sobre el peso de esta muestra de concreto, La mayor cantidad de humedad indicaría que mantienen el agua que favorecería a la hidratación del cemento mejorando su resistencia a la compresión y durabilidad.	% de Humedad	- Ensayo de humedad de especímenes cilíndricos de concreto (o muestras), tomando datos a edades de 7, 28 y 90 días. -Toma y registro de datos. -Cálculos.
b. A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en resistencia a la compresión del concreto en comparación a los otros tres tipos de curado; al mostrar valores mayores entre 10 y 20% respecto a los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana; y, entre 5 y 10% respecto al curado sumergido en agua, o tratamiento patrón.	Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto ensayados a las edades de 7, 28 y 90 días:	La resistencia a compresión del concreto es definida como el máximo esfuerzo a compresión que puede ser soportado por dicho material sin romperse, Una mayor resistencia a la compresión indicaría que el curado ha favorecido a una mejor hidratación del cemento haciendo más consistente este material resistiendo más esfuerzos de compresión en su tiempo de servicio y haciéndolo más duradero.	Kg/cm ² :	- Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (o muestras), tomando datos a edades de 7, 28 y 90 días. -Toma y registro de datos. -Cálculos.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

Es estudio se realizó en la ciudad de Cajamarca, capital de la provincia y del departamento de Cajamarca, se encuentra ubicada en la parte superior Oeste de la cuenca del río Cajamarca, margen izquierda del río Mashcón. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 7°09'12" de latitud sur y 78°30'57" de longitud Oeste, a una altitud de 2,750 m.s.n.m. La característica resaltante de la zona para este estudio es el clima, por su influencia en el curado de los especímenes cilíndricos de concreto. Se obtuvo los datos históricos de temperaturas máximas y mínimas de los 3 meses que se elaboraron y se mantuvieron a la intemperie los especímenes cilíndricos de concreto, obteniéndose temperaturas máximas de 26.2°C en el día y temperaturas mínimas de 6°C en la noche, estos datos fueron obtenidos de la estación meteorológica AUGUSTO WEBERBAUER ubicada en la Ciudad Universitaria de la UNC, donde se realizaron los especímenes de concreto y la aplicación de los curados de los tratamientos (SENAMHI - SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU , 2016).

4.2. Diseño de la investigación

4.2.1. Tipo de Investigación

Este estudio es una investigación experimental, ya que, se estudia un nuevo curado interno mediante la saturación de agregado grueso que fue comparado con otros tres tipos de curados ya conocidos, tomando como tratamiento patrón al curado sumergido en agua. Así, el "tipo de curado" fue tomado como la variable independiente que produjo cambios en las variables dependientes que fueron "la

humedad y resistencia a compresión del concreto”; las que se evaluaron cuantitativamente

4.2.2. Etapas de la investigación

a. Elección de los materiales para elaboración del estudio.

Se eligió la cantera “Bazán”, ubicada en el río Mashcón en el Km 03+000 de la carretera Cajamarca – San Pablo, obteniendo agregado que cumpla con los requerimientos de las normas nacionales referentes a elaboración de concreto, se Asimismo, utilizó cemento de tipo I, que según sus especificaciones se utiliza para elaboración de concreto comunes.

b. Estudio de las propiedades de los agregados

Se realizó el estudio de las propiedades físicas de los agregados, donde la propiedad más importante del agregado para este estudio fue la absorción máxima del agregado grueso, determinando que la saturación máxima del agregado grueso se obtiene sumergiéndolo en agua por un tiempo de 72 horas; y así quedaría apto para utilizarse para el tratamiento de curado interno, que fue la propuesta del estudio. También se estudió las propiedades del agregado fino y grueso para poder realizar el diseño de mezclas y el ajuste de mezclas por contenido de humedad.

c. Diseño de mezclas de concreto de los tratamientos.

Se realizó el diseño de mezclas utilizando el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados, y luego se realizó el ajuste de mezclas por contenido de humedad, que fue necesario para tener un mismo diseño de mezclas para los otros tres tratamientos: concreto con curado con rociado de agua, con membranal vista y sumergido en agua (que tienen la misma cantidad de humedad en el agregado grueso) con el tratamiento de curado interno.

d. Elaboración de las unidades de estudio (especímenes cilíndricos de concreto)

Con cada uno de los cuatro tratamientos de estudio se elaboraron 15 especímenes cilíndricos de concreto (unidades de estudio), de los cuales cada 05 especímenes fueron ensayados a resistencia a compresión a la edad de 14, 28 y 90 días; por lo cual se tubo 05 repeticiones para cada caso. Se consideró esta cantidad de repeticiones ya que *la Norma ACI 318* establece que para una muestra de concreto se debe producir al menos 5 ensayos de resistencia. (Spanish Edition ACI 318S-08, 2008)

e. Aplicación del tratamiento de curado a los especímenes de estudio.

e.1. Tratamiento de especímenes cilíndricos de concreto 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.

e.2. Tratamiento de especímenes cilíndricos de concreto curados con rociado de líquido formador de membrana, usando Membranil Vista de Chema.

Este curado consistió en que después de haber desmoldado los especímenes de concreto, rociar una sola aplicación de Membranil Vista de Chema tal como se recomienda en la ficha técnica del producto (Chema, 2016)

e.3. 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)

e.4. 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.

f. Obtención de datos de resistencia a la compresión de las unidades de estudio.

Los datos de la resistencia a compresión de los 60 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)

g. 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.

h. 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).

4.2.3. Estrategias, actividades y procedimientos para la obtención de datos.

En cuanto a las actividades y procedimientos que se realizaron para la obtención de datos fueron que los ensayos realizados para desarrollar la presente investigación se realizaron con equipos y materiales debidamente calibrados, los cuales cuentan con sus respectivos certificados de calibración y estos ensayos se realizaron siguiendo las normas técnicas NTP, ASTM o recomendaciones ACI respectivas actualizadas al presente año 2015. Tal es así que los ensayos fueron realizados por técnicos de concreto capacitados y supervisados por el tesista. Lo cual permitió obtener datos confiables del estudio.

4.2.4. Criterios de selección de las unidades de análisis y observación

a. Criterios de selección de los tratamientos de estudio.

Se eligieron 4 tratamientos. Tres, que son comunes, de los cuales 1 de ellos se ha tomado como patrón; y 1 cuarto que es la nueva alternativa o propuesta de curado de concreto; tal como se indica a continuación:

- a.1. Curado de concreto con rociado con agua: se eligió por ser el método más utilizado en el país, especialmente en construcciones comunes de viviendas, donde el proceso es realizado por ser económico y el más conocido.
- a.2. Curado de concreto con aditivo formador de membrana (utilizando el producto membranil vista de Chema): se eligió por ser también uno de los más utilizados en el país, principalmente es utilizado en concretos expuestos a intemperie, afectados por rayos solares y vientos, especialmente en losas de concreto.
- a.3. Curado de concreto mediante sumersión en agua, que constituye el tratamiento patrón; siendo elegido se eligió por ser el tipo de curado estándar que es utilizado para el propósito de aceptación de una resistencia especificada y verificación de las proporciones de la mezcla y control de calidad, pero no para evaluar la suficiencia del curado y protección del concreto en la estructura, tal como se especifica en la NTP 339.033-2009.

Por lo cual se puede probar que estos resultados de las pruebas realizadas a estos especímenes difieren de las características reales del concreto puesto en obra, por ser un curado diferente al aplicado al real en obra. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033 , 2009). La NTP menciona que se pueden emplear varios procedimientos que sean capaces de mantener, durante el período de curado inicial, las condiciones de humedad y temperatura especificadas. Se debe usar un procedimiento o combinación de procedimientos adecuados donde se cree un ambiente con humedad satisfactoria puede ser creado durante el curado inicial de los especímenes, por uno o más de los siguientes procedimientos entre los cuales está el más utilizado que consiste sumergir inmediatamente los especímenes moldeados con sus tapas de plástico en agua saturada con hidróxido de calcio, ya que es el método más fácil para mantener la temperatura requerida de almacenamiento. Por lo cual, elegimos este método como tratamiento de estudio patrón. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033 , 2009).

- a.4. Curado interno del concreto mediante saturación del agregado grueso: Se eligió como una alternativa de curado, porque se ha demostrado los concretos elaborados con agregados ligeros saturados, han presentado un mayor desarrollo de resistencia a compresión luego de los 28 días de edad a diferencia de patrones de concreto sin este tipo de curado. Así, se consideró tomar agregado grueso común pétreo de río utilizado en la localidad para saturarlo al máximo para elaborar concreto y proponerlo como un nuevo tipo de curado, ya que a diferencia de los otros curados internos, no implicaría mayor costo que el proceso de saturación del agregado grueso (a diferencia del costo de los curados internos mediante la adición de partículas plásticas súper absorbentes, arcillas expandidas y cerámicos y no presentaría problemas de restricción de resistencias máximas del concreto.

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

Se eligió como unidades de estudio los especímenes cilíndricos de concreto para ensayos de aceptación para la resistencia especificada a la compresión de medidas de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura. (Según recomendaciones de la NTP 339.033-2009)

Se utilizó estos especímenes para estudiar la relación del tipo de curado empleado con la resistencia a compresión, ya que según la NTP 339.033-2009, si los especímenes son elaborados y curados en campo, como se indica en la presente NTP, la información de los resultados de resistencia, cuando los especímenes son ensayados, puede ser utilizada para los siguientes propósitos:

1. Para decidir sobre el momento en que la estructura puede ser puesta en servicio.
2. Para comparación con los resultados de especímenes curados según método estándar o con resultados de otros métodos aplicados en el lugar.
3. **Para evaluar la suficiencia del curado** y la protección del concreto en la estructura, o Para determinar el tiempo requerido para remover los encofrados o puntales.

Por lo cual se utilizó estos especímenes para poder aplicar los tratamientos de curado de estudio y luego relacionar esto con su resistencia a la compresión, Así mismo, la NTP 339.033-2009 menciona que para poder utilizar el curado en campo debemos tomar las siguientes consideraciones:

“... Almacenar los especímenes dentro, o sobre la estructura, lo más cerca posible al punto del concreto que representa. Proteger la superficie de los cilindros, en lo posible de la misma forma como el elemento de concreto formado y trabajado. Proporcionar al cilindro la misma temperatura y humedad ambiental que tiene la estructura trabajada. Ensayar el espécimen en las condiciones de humedad resultantes del tratamiento de curado especificado...” (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033 , 2009)

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

Se eligió poder realizar ensayos de humedad en los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a las edades de 7,28 y 90 días para estudiar la retención de humedad en cada tratamiento, ya que, se tomó como referencia el estudio de Hanson, 1968 citado por Kosmatka y colaboradores, donde realiza un

estudio de la humedad relativa del concreto en especímenes cilíndricos, tomando en cuenta la profundidad de la muestra en los especímenes, tal como se muestra en la figura N° 7 del capítulo anterior, por lo cual también se consideró en este estudio que las muestras de los especímenes cilíndricos para humedad sean a la misma profundidad de 2 a 3 pulgadas (Kosmatka, y otros, 2004).

d. Criterios de selección del requisitos de diseño de mezclas

Para el diseño de mezclas y ajuste de proporciones de los especímenes cilíndricos de concreto, se consideró un $f'c$ de 210 Kg/cm², ya que este $f'c$ es más comúnmente utilizado en especificaciones de obra para elementos estructurales, así como también para losas de pavimentos. Se tomó una consistencia plástica para el diseño, ya que es la consistencia utilizada en la colocación de concretos en estructuras armadas.

e. Criterios de selección de los materiales de estudio

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

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

4.3. Población, muestra, tratamientos de estudio, unidad de análisis y unidades de observación

a. Población:

La presente investigación al ser un estudio experimental, carece de población respecto al tratamiento hecho como propuesta (curado mediante la saturación del agregado grueso); más bien, si habrían poblaciones respecto a los otros tres tratamientos, ya que se refieren a curados que son comúnmente utilizados.

b. Muestra:

En este estudio, al ser de tipo experimental, a partir de la muestra se hace una inferencia hacia la población. Por lo tanto, las muestras vienen a ser las unidades experimentales o especímenes de concreto correspondientes a cada tratamiento; teniendo por lo tanto cuatro tipos de muestras, una para cada uno de los curados en estudio.

c. Tratamientos de estudio.

Se tuvieron cuatro tratamientos de estudio, los que se indican a continuación:

- Tratamiento 1: **Curado con rociado de agua**. Consistió en el curado de concreto $f'c=210$ kg/cm² mediante rociado de agua.
- Tratamiento 2: **Curado con Membranil Vista**. Consistió en el curado de concreto $f'c=210$ kg/cm² mediante rociado con Membranil Vista Chema.
- Tratamiento 3: **Curado interno**. Consistió en el curado de concreto $f'c=210$ kg/cm², mediante la saturación del agregado grueso (alternativa propuesta), y
- Tratamiento 4: **Curado sumergido**. Consistió en el curado de concreto $f'c=210$ kg/cm² mediante la sumersión en agua.

Como se ha indicado, dentro de estos tratamientos se tuvo 1 tratamiento patrón que fue el “Curado del concreto mediante la sumersión en agua”; por ser el curado superficial considerado como óptimo para el concreto, y comúnmente utilizado en laboratorio. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033, 2009).

d. Unidades de análisis y unidades de observación:

Con cada uno de los tratamientos se elaboraron 15 especímenes cilíndricos de concreto (unidades de estudio) de concreto, los cuales 5 especímenes fueron ensayados a resistencia a compresión (primera unidad de observación) la edad de 7 días, otros 5 a la edad de 28 días y los últimos 5 a la edad de 90 días, de los cuales también se determinó su contenido de humedad (segunda unidad de observación) tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla N°2: Unidades de estudio – Especímenes cilíndricos de concreto para ensayo a resistencia a compresión

Tratamiento	Especímenes a ser ensayados a los 7 días	Especímenes a ser ensayados a los 28 días	Especímenes a ser ensayados a los 90 días	Total:
Curado con rociado de agua	05	05	05	15
Curado con membranal vista	05	05	05	15
Curado interno	05	05	05	15
Curado sumergido	05	05	05	15
Total:	20	20	20	60

4.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para recopilar la información se utilizaron el método cuantitativo.

El método cuantitativo se utilizó para medir las variables cuantitativas de estudio de los tratamientos de concreto elaborados; como son la humedad y la resistencia a la compresión; para lo cual se emplearan equipos e instrumentos del laboratorio, tales como: máquina de ensayo a compresión, balanzas, calibradores, tamices ASTM.

Asimismo las técnicas se realizaron a través de la aplicación de tablas, proporciones y procedimientos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas, Normas Técnicas del ACI, Normas ASTM y Reglamento Nacional de Edificaciones de acuerdo a cada caso como: ensayos granulométricos, de humedad, consistencia, resistencia.

4.5. Equipos, materiales e insumos

4.5.1. Cantera de material para producción de agregado

Se tomó la Cantera Bazán, ubicada en el río Mashcón en el Km 03+000 de la carretera Cajamarca – San Pablo, de donde provino el material para producción de agregados mediante chancado, Dicha cantera, es de un Depósito Cuaternario Fluvial, cuyo depósitos son formados por el acarreamiento del río y son depositados en las riberas de los ríos, formando terrazas fluviales. El material extraído es grava bien gradada con arena, gris húmedo, homogéneo, baja plasticidad, cantos redondeados a sub angulosos.



Figura N°23: Fotografía Satelital de la cantera Bazán ubicada en el Río Mashcón en el Km 03+000 de la carretera Cajamarca – San Pablo.

4.5.2. El cemento utilizado.

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

Sus aplicaciones son de uso tradicional en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales de ningún tipo: Obras de concreto y de concreto armado en general, para estructuras que requieren rápido desencofrado, concreto en clima frío, prefabricados, pavimentos y cimentaciones. En el *Anexo I* se presenta la ficha técnica del Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A.

4.5.3. Agua potable de la Ciudad Universitaria de la UNC

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

3.6. Procesos y toma de datos durante la investigación.

3.6.1. Obtención de propiedades de agregados para el estudio.

A continuación se describen las técnicas utilizadas para la obtención de los datos de las propiedades de los agregados. El estudio de las características físicas fue indispensable para poder realizar el diseño de mezclas del concreto. Así mismo, para verificar si cumplen con los límites permisibles fijados en las normas ASTM o NTP, referentes a la clasificación de agregados para el concreto.

a. Obtención por muestreo y transporte al laboratorio de los agregados de estudio de la cantera

Se realizaron los procedimientos de muestreo descritos en la Norma ASTM D75 – “Muestreo de agregados”, donde describe los pasos para la obtención de agregados almacenados en pilas. Así los agregados obtenidos fueron colocados en

sacos de plástico en buenas condiciones para evitar que se pierdan los materiales finos, luego fueron transportados al laboratorio.

b. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo

Las muestras de los agregados tuvieron un tamaño apropiado para emplear las técnicas de ensayos, así mismo estas muestras deben ser lo más representativas posibles, por lo que, se utilizó el método del cuarteo, descrito en la norma ASTM C 702 o NTP 400.043, con el cual se obtuvo los tamaños de muestra para cada ensayo y se minimizó las variaciones de las características entre las muestras. Se tomó las masas tomando en cuenta el tipo y la cantidad de ensayos a realizarse, así mismo se previno la contaminación y pérdidas de las muestras. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.043, 2006).

c. Granulometría del agregado fino

Se verificó que el agregado fino tenga una granulometría según el huso granulométrico indicado en las Normas *ASTM C33* o *NTP 400.037*. La granulometría seleccionada fue preferentemente uniforme y continua, con valores retenidos en las mallas N°4 a N°100 de la Serie Tyler¹⁰. Así mismo, 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 2.79. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037, 2002).

d. Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso estuvo graduado dentro del huso granulométrico especificado en las Normas *NTP 400.037* o *ASTM C 33*. La granulometría seleccionada fue continua. Se optó por tomar el huso *N° 56 de la A.S.T.M.* El tamaño máximo del agregado grueso fue de 1" igual que el tamaño nominal, se obtuvo un módulo de finura de 7.21. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037, 2002)

¹⁰ La serie Tyler es una de las serie de tamices normalizada más usada en la determinación del tamaño de partículas. Para realizar el análisis por tamizado, los tamices se colocan apilados uno sobre otro, con el tamiz con abertura mayor arriba y progresivamente disminuyendo su tamaño, hasta llegar al tamiz inferior de menor abertura y bajo el cual se coloca un tamiz recipiente llamado colector.

e. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

Se utilizó la norma *NTP 400.022* para 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 que también establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua). Se obtuvo una absorción de 1.25% (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.022, 2002).

f. Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

Se utilizó la norma *NTP 400.021* para 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; También para el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua). Se obtuvo una absorción de 1.2% a las 24 horas (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021, 2002).

g. Contenido de humedad de agregados para tratamientos de curado de concreto mediante rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua

Se utilizó la norma *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 4.00 % y de agregado grueso de 0.25% para las mezclas de concreto de los tratamientos concreto con curado mediante rociado con agua, por rociado de líquido formador de membrana y por curado sumergido en agua (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.185, 2002).

h. Contenido de humedad de agregado grueso para tratamiento de concreto con curado interno e curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso

Se utilizó la norma *NTP 400.010* para determinar el % de humedad del agregado grueso sumergido en agua a las 24 horas, 48 horas y 72 horas, donde se obtuvo un

máximo porcentaje de humedad de 2.34 % a las 72 horas, este dato se utilizó para el ajuste de mezclas por humedad para el diseño de mezclas del tratamiento de concreto con curado interno. El porcentaje de humedad del agregado fino para este tratamiento fue el mismo que para los otros tratamientos por no variar el agregado (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.185, 2002).

i. Ensayo para determinar la cantidad de material que pasa la malla N° 200

Se realizó el ensayo de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 para los agregados, ya que de presentar cantidades mayores a las recomendadas por las normas internacionales y nacionales se podrían presentar variaciones en los resultados de resistencia a la compresión, lo cual serían variables extrañas, se tomó la norma *NTP 400.018* o *ASTM C117*, donde se establecen los procedimientos para determinar por vía húmeda el contenido de material que pasa el tamiz N°200 en el agregado (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.018, 2002).

3.6.2. Procedimiento de diseño de mezclas

a. Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas

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 materiales que se consideró para el diseño de mezclas

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

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

- Peso específico SSS: 2.61 gr/cm^3
- Humedad natural: 4.00 %
- Absorción AF : 1.25%
- Módulo de fineza: 2.79

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

- TMN del agregado grueso: 1"
- Peso específico SSS: 2.62 gr/cm^3
- Peso unitario compactado: 1.77 gr/cm^3
- Humedad natural para de agregado para tratamientos de concreto con curado mediante rociado con agua, por rociado de líquido formador de membrana y por curado sumergido en agua: 0.25%
- Humedad natural para de agregado saturado a 72 horas para tratamiento de concreto con curado interno: 2.34 %
- Absorción: 1.2%

3.6.3. Diseño de mezclas usando el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados

Las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto, se determinaron por el Método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados. Los cálculos y resultados del diseño de mezclas se presentan en el APÉNDICE II.

a. Dosificación en peso por metro cúbico para elaboración de concreto para tratamiento con los 03 tipos de curado comunes:

Cemento: 351.93 Kg/m^3
Agua efectiva: 184 Lts/m^3
Agregado Fino Húmedo: 742 Kg/m^3
Agregado Grueso Húmedo: 1067 Kg/m^3

- b. Dosificación en peso por metro cúbico para elaboración de concreto para tratamiento con curado interno, con ajuste de mezclas por humedad del agregado grueso saturado a las 72 horas :

Cemento: 351.93 Kg/m³
Agua efectiva: 160 Lts/m³
Agregado Fino Húmedo: 742 Kg/m³
Agregado Grueso Húmedo: 1089 Kg/m³

3.6.4. Elaboración de mezcla de prueba

Como se presenta en el APÉNDICE II, se calculó para elaborar el concreto para los tratamientos, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado; presentando en estos 2 diseños de mezclas solo una variación en la cantidad de agua efectiva y cantidad de Agregado grueso húmedo.

1. Volumen a fabricar en laboratorio para 05 especímenes cilíndricos y una prueba de consistencia con cono de Abrams. (0.037 m³) para elaboración de concreto para tratamiento con los 03 tipos de curado comunes:

Cemento: 12.94 Kg/ tanda
Agua efectiva: 6.77 Lts/ tanda
Agregado Fino Húmedo: 27.28 Kg/ tanda
Agregado Grueso Húmedo: 39.23 Kg/ tanda

1. Volumen a fabricar en laboratorio para 05 especímenes cilíndricos y una prueba de consistencia con cono de Abrams. (0.037 m³) para elaboración de concreto para tratamiento con los curado interno mediante saturación de :

Cemento: 12.94 Kg/ tanda
Agua efectiva: 5.88 Lts/ tanda
Agregado Fino Húmedo: 27.28 Kg/ tanda
Agregado Grueso Húmedo: 40.04 Kg/ tanda

3.6.5. Elaboración de Unidades de estudio

Con cada uno de los tres tratamientos vistos en los tres ítems anteriores, se elaboraron 15 especímenes cilíndricos de concreto (unidades de estudio), de los cuales cada 7 especímenes fueron ensayados a resistencia a compresión a la edad de

14, 28 y 90 días; por lo cual se tendrían 5 repeticiones para cada caso. Se consideró esta cantidad de repeticiones ya que *la Norma ACI 318* establece que para una muestra de concreto se debe producir al menos 5 ensayos de resistencia. (Spanish Edition ACI 318S-08, 2008)

3.6.6. Curado de los especímenes cilíndricos de concreto.

Se realizaron los curados del concreto según los tratamientos de estudio como se describe en el punto 5 del Ítem 4.2.2 del Capítulo IV.

3.6.7. El Asentamiento en el concreto en estado no endurecido.

Se realizó este ensayo para verificar que todas las tandas realizadas de los tratamientos de concretos tengan similares consistencias, lo cual se verificó que las tandas de concreto tengan la misma relación agua / cemento, asimismo, con la tanda del tratamiento de concreto con curado interno el cual fue corregido por mayor humedad del agregado grueso.

3.6.8. El peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto.

Asimismo, se tomó el peso unitario de los especímenes cilíndricos para verificar que este sea similar entre ellos.

3.6.9. La resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto.

La determinación de la resistencia a compresión de los 60 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*.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de información.

La información cuantitativa que se obtuvo de las variables de estudio de los tratamientos de concreto fue procesada mediante métodos estadísticos como la determinación de promedios, el análisis de varianza y agrupación de los tratamientos usando la prueba de rango múltiple de Tukey. Para lo cual se emplearon programas

computarizados como el Minitab 17, con los que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficas representativas.

3.7.1. Análisis estadístico de los resultados.

Los resultados de los ensayos realizados están sujetos a variaciones, que pueden dar idea de la uniformidad de estos resultados y el cuidado en la realización de los ensayos. Asimismo, en base a estas variaciones se puede diferenciar el comportamiento de los tratamientos de estudio mediante el análisis estadístico. Por ello se realizaron los análisis estadísticos de los datos obtenidos de las siguientes variables de evaluación: (a) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 28 y 90 días y (b) Porcentaje de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 28 y 90 días.

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

Se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA) ya que es uno de los métodos estadísticos más utilizados y más elaborados en la investigación moderna. Se usa para la prueba de hipótesis para dos o más medias poblacionales; de tal manera que en esta investigación permite probar si dos o más medias muestrales pertenecen o no a la misma población. Si las medias muestrales tienen diferencia estadística entonces significa que pertenecen a diferentes poblaciones.

Esta prueba se basa en la descomposición de la variación total existente de cada variable cuantitativa en sus componentes llamados fuentes de variabilidad. Para nuestro caso estas fuentes de variabilidad serán: tratamiento y error correspondiendo a un diseño experimental llamado "Diseño completamente al azar", diseño estadístico recomendado para trabajos de laboratorio, como en la presente tesis.

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

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

Estándares de control de concreto en resistencia a compresión.

El comité ACI 214 propone la tabla 3.10.2.1 tomada del *reporte del ACI 214 -77*, donde se dan los estándares del control del concreto mediante los resultados de desviación estándar¹¹, considerando si las operaciones fueron realizadas en construcciones en general o ensayos de laboratorio. Se realizó el análisis estándares de control del concreto para los resultados de resistencia a compresión a la edad de 28 días. (ACI 214R-02, 2002)

Tabla N°3: Estándares para control del concreto (ACI 214-77)

Clase de operación	Desviación estándar para los diferentes estándares de control. (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
Construcción en general	Menos de 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	Más de 49.2

¹¹ La desviación estándar es una medida de la dispersión o variabilidad de los datos respecto al promedio.

Tabla N°4: Matriz de consistencia metodológica

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables, Definición conceptual	Definición operacional de las variables		Metodología	Población y muestra
				Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos		
¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a la retención de humedad del concreto, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua?	Determinar la efectividad del curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a la humedad del concreto, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua.	A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en retención de humedad del concreto, que los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana, al mostrar valores superiores que éstos en 1 y 3%; pero, a su vez, será menos efectivo que el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón, al mostrar valores menores que éste entre 1 y 3%.	Relación entre la cantidad de agua en peso que existe dentro de una muestra de concreto (especímenes cilíndricos) entre el peso de total de la muestra. Una mayor cantidad de humedad indicaría que mantienen el agua que favorecería la hidratación del cemento, mejorando su resistencia a la compresión y durabilidad.	% de Humedad	- Ensayo de humedad de especímenes cilíndricos de concreto (o muestras), tomando datos a edades de 7, 28 y 90 días. - Toma y registro de datos. - Cálculos.	Técnicas de medición para variables cuantitativas (Técnicas establecidas)	Por ser trabajo experimental, en la investigación se ha identificado muestras estadísticas, más no poblaciones. Las muestras fueron cada uno de los tratamientos en estudio, o sea los cuatro tipos de curado de concreto: mediante rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana, sumergido en agua, y por saturación del agregado grueso.

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables, Definición conceptual	Definición operacional de las variables		Metodología	Población y muestra
				Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos		
¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua?	Determinar la efectividad del curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión, a edades de 7, 28 y 90 días, en comparación a otros tres tipos de curado: rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana y sumergido en agua.	A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en resistencia a la compresión del concreto en comparación a los otros tres tipos de curado; al mostrar valores mayores entre 10 y 20% respecto a los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana; y, entre 5 y 10% respecto al curado sumergido en agua, o tratamiento patrón.	La resistencia a compresión del concreto es definida como el máximo esfuerzo a compresión que puede ser soportado por dicho material sin romperse, Una mayor resistencia a la compresión indicaría que el curado ha favorecido a una mejor hidratación del cemento haciendo más consistente este material, resistiendo más esfuerzos de compresión en su tiempo de servicio y haciéndolo más duradero.	Kg/cm ² .	<ul style="list-style-type: none"> - Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (o muestras), tomando datos a edades de 7, 28 y 90 días. - Toma y registro de datos. - Cálculos. 	Técnicas de medición para variables cuantitativas (Técnicas establecidas)	Por ser trabajo experimental, en la investigación se ha identificado muestras estadísticas, más no poblaciones. Las muestras fueron cada uno de los tratamientos en estudio, o sea los cuatro tipos de curado de concreto: mediante rociado con agua, rociado de líquido formador de membrana, sumergido en agua, y por saturación del agregado grueso.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de y Análisis estadístico de resultados

5.1.1. Resultados y análisis estadístico de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días.

a. Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días:

Tabla N°5: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado por rociado de agua.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	23/01/16	W-CR-7D-01	9.48 %
02	23/01/16	W-CR-7D-02	9.51 %
03*	23/01/16	W-CR-7D-03	9.40 %

() Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto (que fueron significativas estadísticamente), pero se realizó 05 y 04 ensayos de humedad para edades de 28 y 90 días.*

Tabla N°6: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	22/01/16	W-CC-7D-01	9.99 %
02	22/01/16	W-CC-7D-02	9.89 %
03*	22/01/16	W-CC-7D-03	9.71 %

() Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto (que fueron significativas estadísticamente), pero se realizó 05 y 04 ensayos de humedad para edades de 28 y 90 días.*

Tabla N°7: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado sumergido en agua

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	22/01/16	W-CS-7D-01	12.12 %
02	22/01/16	W-CS-7D-02	12.20 %
03*	22/01/16	W-CS-7D-03	12.17 %

(*) Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto (que fueron significativas estadísticamente), pero se realizó 05 y 04 ensayos de humedad para edades de 28 y 90 días.

Tabla N°8: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 7 días del tratamiento de curado interno (mediante la saturación del agregado grueso).

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	22/01/16	W-CI-7D-01	10.58 %
02	22/01/16	W-CI-7D-02	10.73 %
03*	22/01/16	W-CI-7D-03	10.59 %

(*) Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto (que fueron significativas estadísticamente), pero se realizó 05 y 04 ensayos de humedad para edades de 28 y 90 días.

b. Análisis estadístico de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad de los Tablas N° 5, 6, 7 y 8 Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y Figuras:

Tabla N°9: Análisis de la varianza de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días, según los tratamientos

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	12.8712	4.29040	552.69	0.000**
Error	8	0.0621	0.00776		
Total	11	12.9333			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Tabla N°10: Medias de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días, según los tratamientos

TRATAMIENTO	N° de Repeticiones	Media (%)	Desv.Est. (%)	IC de 95%
1. C. ROCIADO AGUA	3	9.4649	0.0580	(9.3476, 9.5822)
2. C. MEMBRANIL	3	9.8421	0.1389	(9.7248, 9.9594)
3. C. SUMERGIDO	3	12.1645	0.0378	(12.0472, 12.2818)
4. C. INTERNO	3	10.6351	0.0834	(10.5178, 10.7524)
Desv.Est. agrupada = 0.0881063				
<i>IC (Índices de confianza)</i>				

Tabla N°11: Agrupación de información de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 7 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento (orden de mérito)	Número de Repeticiones	Media (%)	Agrupación(*)
3. C. SUMERGIDO	3	12.1645	A
4. C. INTERNO	3	10.6351	B
2. C. MEMBRANIL	3	9.8421	C
1. C. ROCIADO AGUA	3	9.4649	D

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

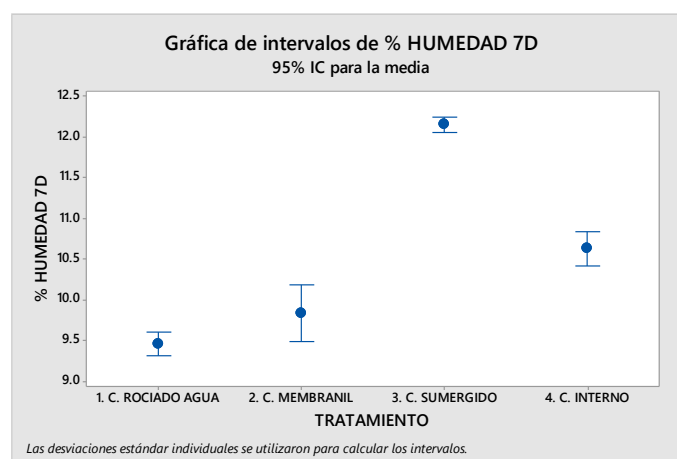


Figura N°24: Gráficas de intervalos para agrupaciones de % de humedad por tratamiento a los 7 días de edad.

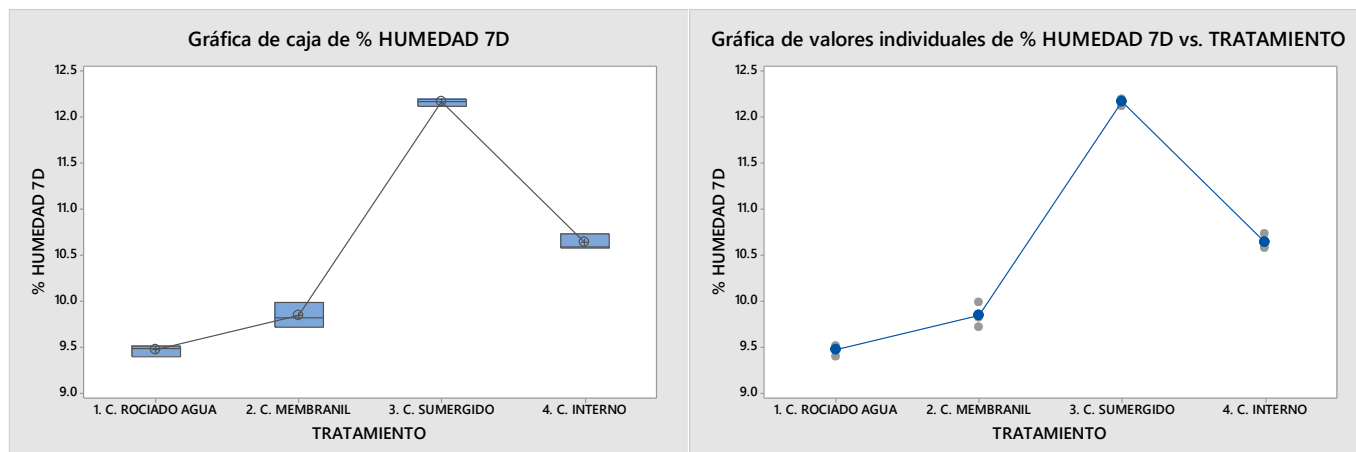


Figura N°25: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad por tratamiento a los 7 días de edad.

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 4 tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 11, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua con 12.16%; le sigue el Curado interno mediante la saturación del agregado grueso (que es la propuesta), con 10.63%; luego le sigue el curado de rociado con Membranil con 9,84% y finalmente con menor retención de humedad está el curado mediante rociado con agua con 9.46%.

5.1.2. Resultados y análisis estadístico de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días.

a. Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días:

Tabla N°12: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado por rociado de agua.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	13/02/16	W-CR-28D-01	5.58 %
02	13/02/16	W-CR-28D-02	5.64 %
03	13/02/16	W-CR-28D-03	5.78 %
04	13/02/16	W-CR-28D-04	5.79 %
05	13/02/16	W-CR-28D-05	5.47 %

Tabla N°13: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	12/02/16	W-CC-28D-01	4.53 %
02	12/02/16	W-CC-28D-02	4.37 %
03	12/02/16	W-CC-28D-03	4.36 %
04	12/02/16	W-CC-28D-04	4.50 %
05	12/02/16	W-CC-28D-05	4.64 %

Tabla N°14: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado sumergido en agua

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	12/02/16	W-CS-28D-01	9.30 %
02	12/02/16	W-CS-28D-02	9.25 %
03	12/02/16	W-CS-28D-03	9.22 %
04	12/02/16	W-CS-28D-04	9.15 %
05	12/02/16	W-CS-28D-05	9.32 %

Tabla N°15: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 28 días del tratamiento de curado interno

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	12/02/16	W-CI-28D-01	6.80 %
02	12/02/16	W-CI-28D-02	6.58 %
03	12/02/16	W-CI-28D-03	6.75 %
04	12/02/16	W-CI-28D-04	6.63 %
05	12/02/16	W-CI-28D-05	6.86 %

b. Análisis estadístico de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad de los Tablas N° 12, 13, 14 y 15 Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y Figuras:

Tabla N°16: Análisis de la varianza de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días, según los tratamientos

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	62.0060	20.6687	1626.25	0.000**
Error	16	0.2034	0.0127		
Total	19	62.2093			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); **ns**: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Tabla N°17: Medias de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días, según los tratamientos

TRATAMIENTO	N° de Repeticiones	Media (%)	Desv.Est. (%)	IC de 95%
1. C. ROCIADO AGUA	5	5.6525	0.1391	(5.5457, 5.7594)
2. C. MEMBRANIL	5	4.4797	0.1167	(4.3728, 4.5866)
3. C. SUMERGIDO	5	9.2484	0.0667	(9.1415, 9.3552)
4. C. INTERNO	5	6.7252	0.1158	(6.6183, 6.8320)

Desv.Est. agrupada = 0.112736

IC (Índices de confianza)

Tabla N°18: Agrupación de información de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 28 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento (orden de mérito)	Número de Repeticiones	Media (%)	Agrupación(*)
3. C. SUMERGIDO	5	9.2484	A
4. C. INTERNO	5	6.7252	B
1. C. ROCIADO AGUA	5	5.6525	C
2. C. MEMBRANIL	5	4.4797	D

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

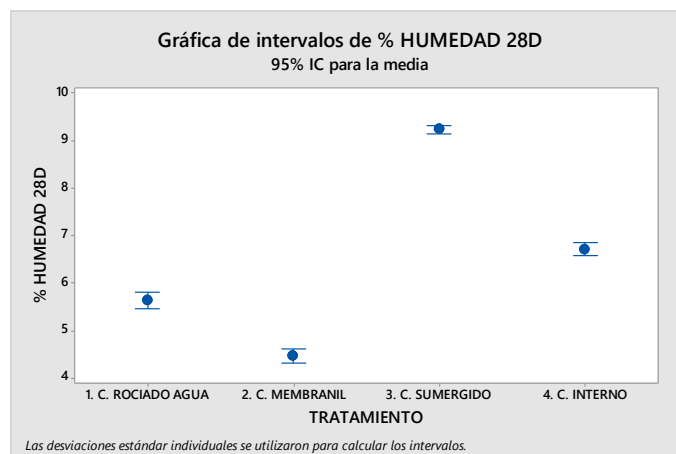


Figura N°26: Gráficas de intervalos para agrupaciones de % de humedad por tratamiento a los 28 días de edad.

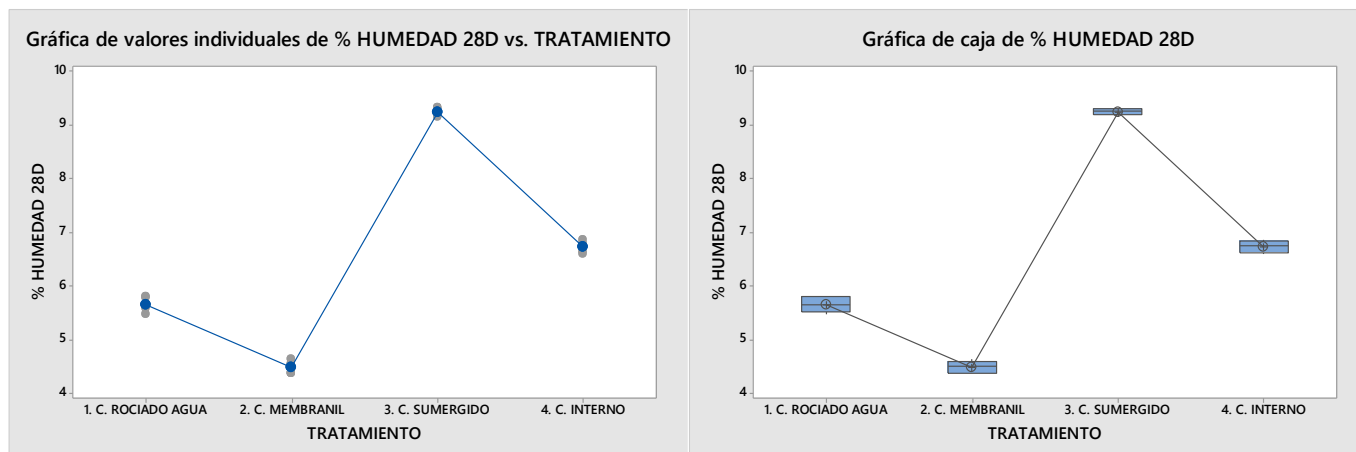


Figura N°27: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad a los 28 días por tratamiento

En el Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los tratamientos a edades de 28 días. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 4 tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 18, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua con 9.24%; le sigue el Curado interno mediante la saturación del agregado grueso (que es la propuesta), con 6.72%; luego le sigue el curado de rociado con Membranil con 5.65% y finalmente con menor retención de humedad está el curado mediante rociado con agua con 4.47%.

5.1.3. Resultados y análisis estadístico de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días.

a. Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días:

Tabla N°19: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado por rociado de agua.

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	15/04/16	W-CR-90D-01	2.98 %
02	15/04/16	W-CR-90D-02	3.36 %
03	15/04/16	W-CR-90D-03	3.03 %
04*	15/04/16	W-CR-90D-04	3.64 %

(*) Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto, pero se realizó 04 ensayos de humedad para edades de 90 días.

Tabla N°20: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	15/04/16	W-CC-90D-01	4.35 %
02	15/04/16	W-CC-90D-02	3.90 %
03	15/04/16	W-CC-90D-03	4.07 %
04*	15/04/16	W-CC-90D-04	3.78 %

(*) Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto, pero se realizó 04 ensayos de humedad para edades de 90 días.

Tabla N°21: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado sumergido en agua

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	17/04/16	W-CS-90D-01	6.50 %
02	17/04/16	W-CS-90D-02	7.14 %
03	17/04/16	W-CS-90D-03	6.35 %
04*	17/04/16	W-CS-90D-04	7.10 %

(*) Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto, pero se realizó 04 ensayos de humedad para edades de 90 días.

Tabla N°22: Porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edades de 90 días del tratamiento de curado interno

ENSAYO N°	FECHA DE ENSAYO	IDENT.	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	17/04/16	W-CI-90D-01	6.28 %
02	17/04/16	W-CI-90D-02	6.18 %
03	17/04/16	W-CI-90D-03	6.16 %
04*	17/04/16	W-CI-90D-04	6.02 %

(*) Se planteó realizar solo 03 ensayos de humedad en el concreto, pero se realizó 04 ensayos de humedad para edades de 90 días.

b. Análisis estadístico de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad de los Tablas N° 19, 20, 21 y 22 Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y Figuras:

Tabla N°23: Análisis de la varianza de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días, según los tratamientos

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	33.946	11.3153	135.47	0.000**
Error	12	1.002	0.0835		
Total	15	34.948			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Tabla N°24: Medias de los porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días, según los tratamientos

TRATAMIENTO	N° de Repeticiones	Media (%)	Desv.Est. (%)	IC de 95%
1. C. ROCIADO AGUA	4	3.253	0.311	(2.938, 3.567)
2. C. MEMBRANIL	4	4.023	0.247	(3.708, 4.337)
3. C. SUMERGIDO	4	6.772	0.407	(6.457, 7.087)
4. C. INTERNO	4	6.1609	0.1057	(5.8461, 6.4758)

Desv.Est. agrupada = 0.289008

IC (Indices de confianza)

Tabla N°25: Agrupación de información de porcentajes de humedad de los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a resistencia a la compresión a edad de 90 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento (orden mérito)	Número de Repeticiones	Media (%)	Agrupación(*)
3. C. SUMERGIDO	4	6.772	A
4. C. INTERNO	4	6.161	B
2. C. MEMBRANIL	4	4.023	C
1. C. ROCIADO AGUA	4	3.253	D

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

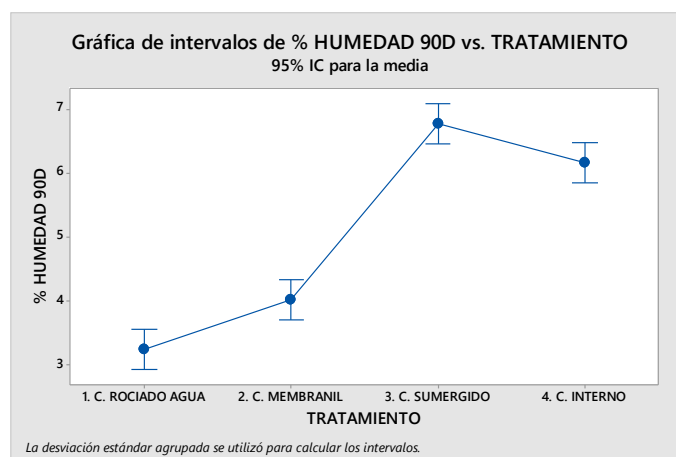


Figura N°28: Gráficas de intervalos para agrupaciones de % de humedad por tratamiento a los 90 días de edad.

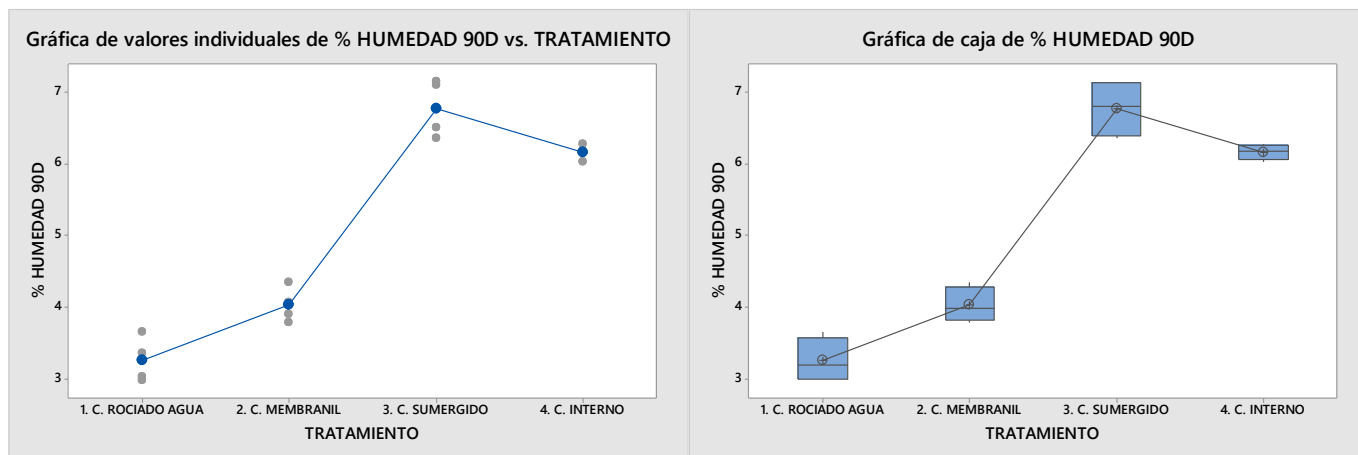


Figura N°29: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad a los 28 días por tratamiento

En el Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los tratamientos a edades de 90 días. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 4 tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 25, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua con 6.77%; le sigue el Curado interno mediante la saturación del agregado grueso (que es la propuesta), con 6.16%; luego le sigue el curado de rociado con Membranil con 4.02% y finalmente con menor retención de humedad está el curado mediante rociado con agua con 3.25%.

5.1.4. Resultados y análisis estadístico de resistencias a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7 días.

a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días.

Tabla N°26: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado por rociado de agua.

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	16/01/16	23/01/16	CR- 01-7D	28500	15.15	158.10	75
2	16/01/16	23/01/16	CR- 02-7D	28000	15.20	154.30	73
3	16/01/16	23/01/16	CR- 03-7D	29000	15.10	161.94	77
4	16/01/16	23/01/16	CR- 04-7D	30000	15.20	165.33	79
5	16/01/16	23/01/16	CR- 05-7D	29500	15.15	163.65	78

Tabla N°27: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	15/01/16	22/01/16	CC- 01-7D	28500	15.20	157.06	75
2	15/01/16	22/01/16	CC- 02-7D	28800	15.20	158.71	76
3	15/01/16	22/01/16	CC- 03-7D	29000	15.15	160.87	77
4	15/01/16	22/01/16	CC- 04-7D	28000	15.20	154.30	73
5	15/01/16	22/01/16	CC- 05-7D	28000	15.10	156.36	74

Tabla N°28: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado sumergido en agua

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	15/01/16	22/01/16	CS- 01-7D	35000	15.10	195.44	93
2	15/01/16	22/01/16	CS- 02-7D	35500	15.20	195.64	93
3	15/01/16	22/01/16	CS- 03-7D	34000	15.15	188.61	90
4	15/01/16	22/01/16	CS- 04-7D	35800	15.15	198.59	95
5	15/01/16	22/01/16	CS- 05-7D	33000	15.10	184.28	88

Tabla N°29: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días del tratamiento de curado interno

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f _c
1	15/01/16	22/01/16	CI- 01-7D	32000	15.10	178.69	85
2	15/01/16	22/01/16	CI- 02-7D	32000	15.20	176.35	84
3	15/01/16	22/01/16	CI- 03-7D	32800	15.10	183.16	87
4	15/01/16	22/01/16	CI- 04-7D	32500	15.15	180.29	86
5	15/01/16	22/01/16	CI- 05-7D	33000	15.10	184.28	88

b. Análisis estadístico de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de resistencia a compresión de los Tablas N° 26, 27, 28 y 29. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y Figuras:

Tabla N°30: Análisis de la varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días, según los tratamientos

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	4156.4	1385.48	78.02	0.000**
Error	16	284.1	17.76		
Total	19	4440.5			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Tabla N°31: Medias de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días, según los tratamientos

TRATAMIENTO	N° de Repeticiones	Media (kg/cm ²)	Desv.Est. (kg/cm ²)	IC de 95%
1. C. ROCIADO AGUA	5	160.66	4.46	(156.67, 164.66)
2. C. MEMBRANIL	5	157.46	2.48	(153.46, 161.46)
3. C. SUMERGIDO	5	192.51	5.88	(188.52, 196.51)
4. C. INTERNO	5	180.55	3.24	(176.56, 184.55)

Desv.Est. agrupada = 4.21396

IC (Índices de confianza)

Tabla N°32: Agrupación de información de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento (orden mérito)	Número de Repeticiones	Media (kg/cm ²)	Agrupación(*)
3. C. SUMERGIDO	5	192.51	A
4. C. INTERNO	5	180.55	B
1. C. ROCIADO AGUA	5	160.66	C
2. C. MEMBRANIL	5	157.46	C

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

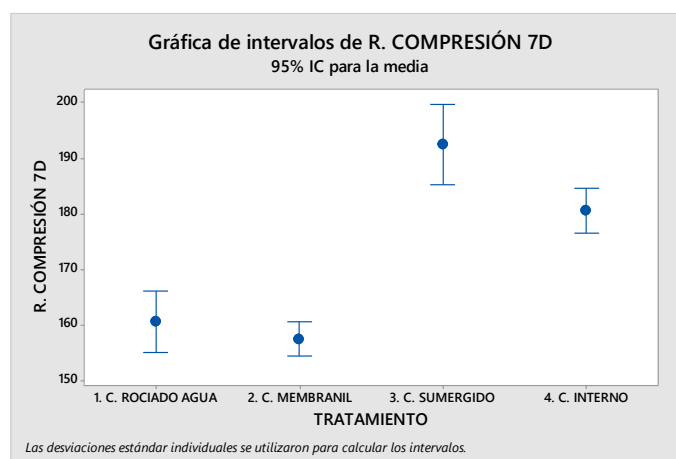


Figura N°30: Gráficas de intervalos para agrupaciones de resistencia a la compresión a los 7 días por tratamiento

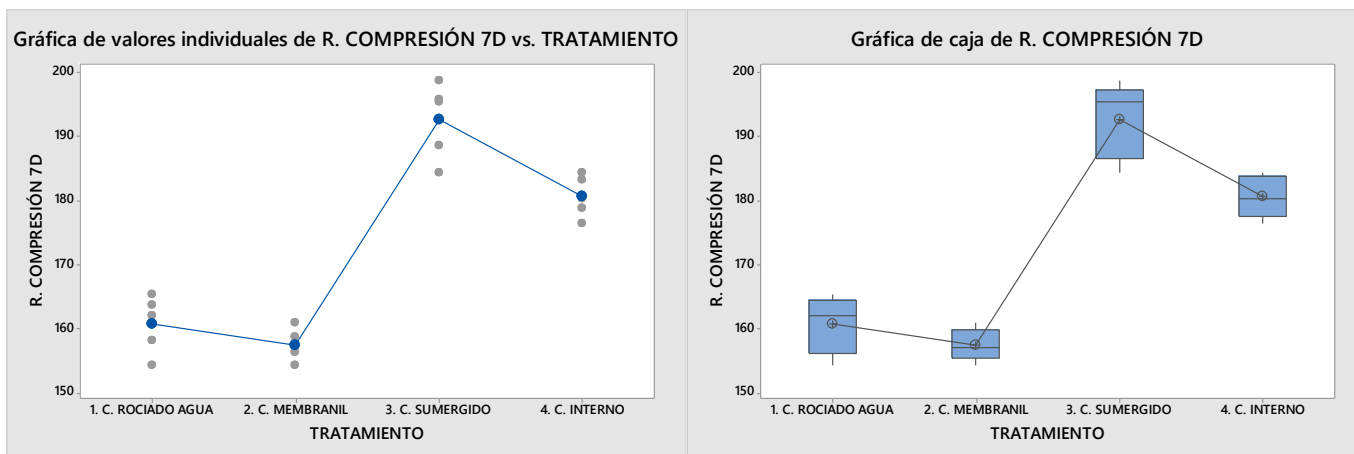


Figura N°31: Gráficas de valores individuales y cajas de resistencia a la compresión a los 7 días por tratamiento

En el Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo importante diferencia estadística entre las medias y la resistencia a compresión de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de

resistencia a la compresión a la edad de 7 días de los tratamientos de concreto con curado con membrasil y con rociado con agua son estadísticamente iguales, pero, estos tratamientos son estadísticamente diferentes a los resultados de resistencia a la compresión de los concretos con curado sumergido y curado interno, que también son diferentes estadísticamente entre sí.

Según la Tabla N° 32, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la resistencia a la compresión fue el Curado sumergido en agua con 192.51 kg/cm²; le sigue el Curado interno mediante la saturación del agregado grueso (que es la propuesta), con 180.55 kg/cm². De otro lado, se observa que el Curado interno superó estadísticamente a los curados mediante rociado con agua y rociado Membranil que fueron estadísticamente similares teniendo valores de 160.65 y 157.46 kg/cm, respectivamente.

5.1.5. Resultados y análisis estadístico de resistencias a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 28 días.

a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días.

Tabla N°33: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado por rociado de agua.

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	16/01/16	13/02/16	CR- 06-28D	38765	15.10	216.47	103
2	16/01/16	13/02/16	CR- 07-28D	37970	15.17	210.08	100
3	16/01/16	13/02/16	CR- 08-28D	38643	15.15	214.37	102
4	16/01/16	13/02/16	CR- 09-28D	39814	15.15	220.86	105
5	16/01/16	13/02/16	CR- 10-28D	39644	15.18	219.05	104

Tabla N°34: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	15/01/16	12/02/16	CC- 06-28D	34834	15.10	194.52	93
2	15/01/16	12/02/16	CC- 07-28D	33737	15.15	187.15	89
3	15/01/16	12/02/16	CC- 08-28D	34354	15.10	191.84	91
4	15/01/16	12/02/16	CC- 09-28D	33870	15.15	187.89	89
5	15/01/16	12/02/16	CC- 10-28D	33755	15.20	186.02	89

Tabla N°35: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado sumergido en agua

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	15/01/16	12/02/16	CS- 06-28D	44089	15.10	246.20	117
2	15/01/16	12/02/16	CS- 07-28D	44531	15.20	245.41	117
3	15/01/16	12/02/16	CS- 08-28D	45129	15.15	250.34	119
4	15/01/16	12/02/16	CS- 09-28D	46460	15.15	257.73	123
5	15/01/16	12/02/16	CS- 10-28D	42035	15.10	234.73	112

Tabla N°36: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días del tratamiento de curado interno

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	15/01/16	12/02/16	CI- 05-28D	47259	15.10	263.90	126
2	15/01/16	12/02/16	CI- 06-28D	47697	15.20	262.86	125
3	15/01/16	12/02/16	CI-08-28D	44670	15.10	249.44	119
4	15/01/16	12/02/16	CI-09-28D	44094	15.15	244.60	116
5	15/01/16	12/02/16	CI-10-28D	43715	15.10	244.11	116

b. Análisis estadístico de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de resistencia a compresión de los Tablas N° 33, 34, 35 y 36 Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y Figuras:

Tabla N°37: Análisis de la varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días, según los tratamientos

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	12968.8	4322.92	88.70	0.000**
Error	16	779.7	48.73		
Total	19	13748.5			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Tabla N°38: Medias de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días, según los tratamientos

TRATAMIENTO	N° de Repeticiones	Media (kg/cm ²)	Desv.Est. (kg/cm ²)	IC de 95%
1. C. ROCIADO AGUA	5	216.16	4.21	(209.55, 222.78)
2. C. MEMBRANIL	5	189.48	3.57	(182.86, 196.10)
3. C. SUMERGIDO	5	246.88	8.37	(240.26, 253.50)
4. C. INTERNO	5	252.98	9.72	(246.36, 259.60)
Desv.Est. agrupada = 6.98097				
IC (Índices de confianza)				

Tabla N°39: Agrupación de información de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 28 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento (orden de mérito)	Número de Repeticiones	Media (kg/cm ²)	Agrupación(*)
4. C. INTERNO	5	252.98	A
3. C. SUMERGIDO	5	246.88	A
1. C. ROCIADO AGUA	5	216.16	B
2. C. MEMBRANIL	5	189.48	C

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

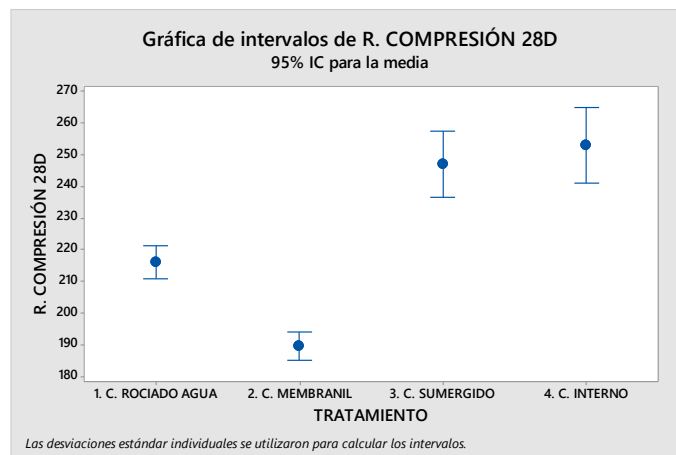


Figura N°32: Gráficas de intervalos para agrupaciones de resistencia a la compresión a los 28 días por tratamiento

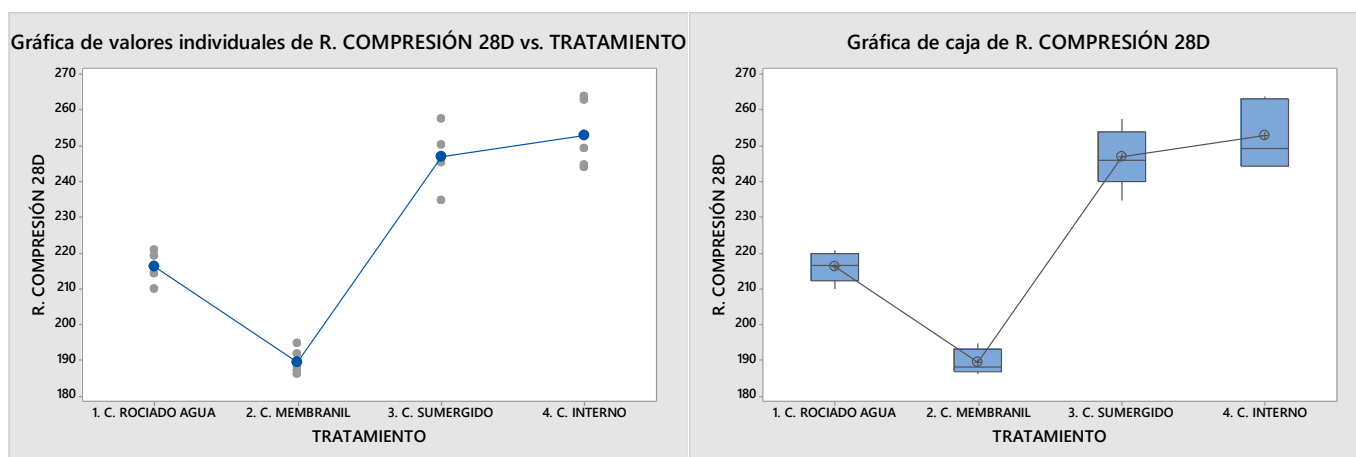


Figura N°33: Gráficas de valores individuales y cajas de resistencia a la compresión por tratamiento

En el Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos 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 la compresión a la edad de 28 días de los tratamientos de concreto con curado estándar sumergido en agua y con el curado interno propuesto son estadísticamente iguales, pero, estos tratamientos son estadísticamente diferentes a los resultados de resistencia a la compresión de los concretos con rociado con agua y con rociado de aditivo membranil, que también son diferentes estadísticamente entre sí.

Según la Tabla N° 39, se observa que los tratamientos de Curado interno (que es la propuesta) y el curado sumergido en agua fueron estadísticamente similares,

mostrando valores de 252.98 y 246.88 kg/cm², respectivamente; pero a la vez fueron superiores que los otros dos tratamientos; dentro de los cuales, el curado por rociado con agua con un valor de 216.16 kg/cm² superó al curado por rociado con membranal que tuvo un valor de 189.48 kg/cm².

5.1.6. Resultados y análisis estadístico de resistencias a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a edad de 90 días.

a. Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días.

Tabla N°40: Resultados de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado por rociado de agua.

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	16/01/16	15/04/16	CR-11-90D	52150	15.22	286.64	136
2	16/01/16	15/04/16	CR-12-90D	49750	15.25	272.37	130
3	16/01/16	15/04/16	CR-13-90D	53680	15.29	292.35	139
4	16/01/16	15/04/16	CR-14-90D	52690	15.25	288.47	137
5	16/01/16	15/04/16	CR-15-90D	49790	15.22	273.67	130

Tabla N°41: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado con rociado de líquido formador de membrana

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	16/01/16	15/04/16	CC-11-90D	52300	15.21	287.84	137
2	16/01/16	15/04/16	CC-12-90D	52400	15.18	289.53	138
3	16/01/16	15/04/16	CC-13-90D	49900	15.12	277.91	132
4	16/01/16	15/04/16	CC-14-90D	52800	15.11	294.45	140
5	16/01/16	15/04/16	CC-15-90D	49800	15.20	274.44	131

Tabla N°42: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado sumergido en agua

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	18/01/16	17/04/16	CS-11-90D	54907	15.20	302.59	144
2	18/01/16	17/04/16	CS-12-90D	54716	15.20	301.53	144
3	18/01/16	17/04/16	CS-13-90D	54874	15.21	302.01	144
4	18/01/16	17/04/16	CS-14-90D	54811	15.25	300.08	143
5	18/01/16	17/04/16	CS-15-90D	51964	15.30	282.64*	135

(*) No se considera para el análisis estadístico ya que el tipo de rotura presentada fue en los bordes del espécimen de concreto.

Tabla N°43: Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días del tratamiento de curado interno

Ensayo N°	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Ident.	Carga de Rotura (Kg)	Diámetro (cm)	Resistencia máx. (kg/cm ²)	% obtenido de f'c
1	18/01/16	17/04/16	CI-01-90D	58297	15.20	321.27	153
2	18/01/16	17/04/16	CI-02-90D	60491	15.20	333.36	159
3	18/01/16	17/04/16	CI-03-90D	54071	15.20	297.98 *	142
4	18/01/16	17/04/16	CI-04-90D	59156	15.20	326	155
5	18/01/16	17/04/16	CI-05-90D	58779	15.20	323.92	154

(*) No se considera para el análisis estadístico ya que el tipo de rotura presentada fue en los bordes del espécimen de concreto.

b. Análisis estadístico de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de resistencia a compresión de los Tablas N° 40, 41, 42 y 43 Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y Figuras:

Tabla N°44: Análisis de la varianza de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días, según los tratamientos

Fuente de variabilidad	GL	SC Ajust.	CM Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	5241.1	1747.02	35.24	0.000**
Error	14	694.0	49.57		
Total	17	5935.0			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Tabla N°45: Medias de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días, según los tratamientos

TRATAMIENTO	N° de Repeticiones	Media (kg/cm ²)	Desv.Est. (kg/cm ²)	IC de 95%
1. C. ROCIADO AGUA	5	282.70	9.09	(275.95, 289.45)
2. C. MEMBRANIL	5	284.83	8.36	(278.08, 291.59)
3. C. SUMERGIDO	4	301.552	1.073	(294.002, 309.103)
4. C. INTERNO	4	326.14	5.19	(318.59, 333.69)
Desv.Est. agrupada = 7.04054 IC (Indices de confianza)				

Tabla N°46: Agrupación de información de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 90 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento (orden mérito)	Número de Repeticiones	Media (kg/cm ²)	Agrupación(*)
4. C. INTERNO	4	326.14	A
3. C. SUMERGIDO	4	301.552	B
2. C. MEMBRANIL	5	284.83	C
1. C. ROCIADO AGUA	5	282.70	C

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

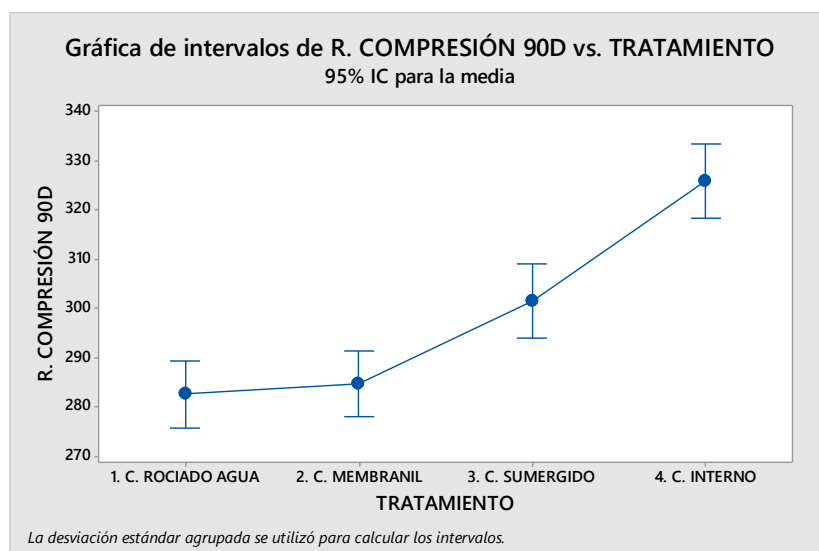


Figura N°34: Gráficas de intervalos para agrupaciones de resistencia a la compresión a los 28 días por tratamiento

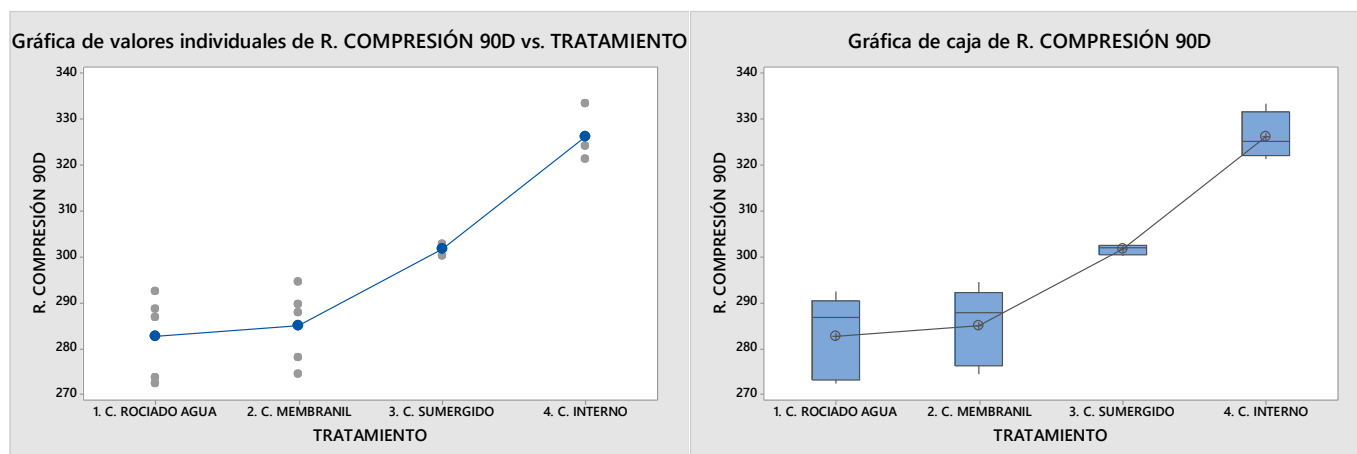


Figura N°35: Gráficas de valores individuales y cajas de resistencia a la compresión por tratamiento

En el Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos 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 las medias de los datos de resistencia a la compresión a la edad de 90 días de los tratamientos de concreto con curado con rociado con agua y con formador de membrana son estadísticamente iguales, pero, estos tratamientos son estadísticamente diferentes a los resultados de resistencia a la compresión de los concretos con curado estándar sumergido en agua y con el curado interno propuesto, que también son diferentes estadísticamente entre sí.

Según la Tabla N° 46, se observa que el tratamiento Curado interno mediante la saturación del agregado grueso (que es la propuesta) con valor de 326.14 kg/cm², fue estadísticamente superior a los otros tres tratamientos. Luego, le sigue el Curado sumergido en agua con 301.55 kg/cm² que fue estadísticamente superior a los otros dos curados, tanto al curado de rociado con agua que tuvo 284.83 kg/cm² y al rociado con membranil con 282.70 kg/cm².

De acuerdo a estos datos, se puede decir que el Curado interno que es la propuesta alcanzó una resistencia a la compresión mayor en un 8.15% respecto al curado sumergido en agua; en un 14.50% respecto al curado de rociado con membranil y en un 15.36% respecto al curado con rociado con agua.

5.2. Interpretación y discusión de resultados.

5.2.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados de retención de humedad en el concreto según el tipo de tratamiento de curado.

De los datos obtenidos de las medias estadísticas de humedad retenida en el concreto a edades de 7, 28 y 90 días, se realizó la gráfica que se muestra en la Figura 36, con el fin de analizar la diferencia de retención de humedad en el concreto de nuestro curado propuesto con los otros curados de estudio; sobre todo al compararlo con el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón.

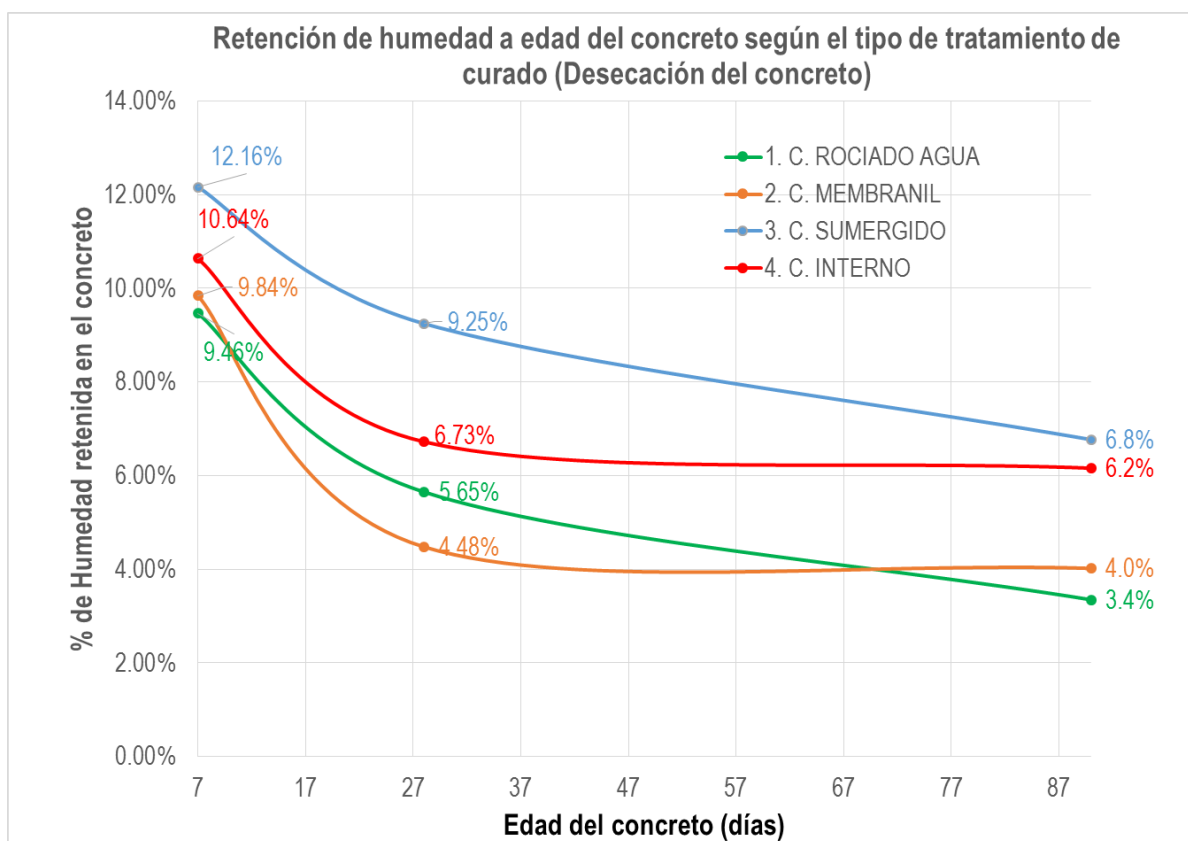


Figura N°36: Gráfica de retención de humedad a edades (desecación del concreto) de 7, 28 y 90 días según el tratamiento de estudio

En la figura N°36 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 12.16%, manteniéndose como el tratamiento con más porcentaje de

humedad retenida en el concreto a la edad de 28 y 90 días, pero a los 90 días tuvo un porcentaje de humedad de 6.8% y el curado interno propuesto presentó una humedad de 6.2%.

En el siguiente tabla se analiza la diferencia de nuestra propuesta de curado interno con los otros curados estudiados referentes a la pérdida de humedad interna de los tratamientos (desección del concreto) en los especímenes cilíndricos de concreto ensayados a compresión a edades de 7, 28 y 90 días.

Tabla N°47: Diferencia de las medias de humedad de la propuesta de curado interno con los tratamientos de curado estudiados a edades de 7, 28 y 90 días.

TRATAMIENTO	Resultados a los 7 días			Resultados a los 28 días				Resultados a los 90 días			
	Media de humedad a 7 días (%)	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 7 días	Diferencia con curado interno a 7 días	Media de humedad a 28 días (%)	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 28 días	Diferencia con curado interno a 28 días	Pérdida de humedad entre los 7 y 28 días	Media de humedad a 90 días (%)	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 90 días	Diferencia con curado interno a 90 días	Pérdida de humedad entre los 28 y 90 días
1. C. ROCIADO AGUA	9.46%	D	-1.17%	5.65%	C	-1.07%	-3.81%	3.35%	D	-2.81%	-2.30%
2. C. MEMBRANIL	9.84%	C	-0.79%	4.48%	D	-2.25%	-5.36%	4.02%	C	-2.14%	-0.46%
3. C. SUMERGIDO (Tratamiento patrón)	12.16%	A	1.53%	9.25%	A	2.52%	-2.92%	6.77%	A	0.61%	-2.48%
4. C. INTERNO	10.64%	B	0.00%	6.73%	B	0.00%	-3.91%	6.16%	B	0.00%	-0.57%

El tratamiento de curado interno retuvo una humedad interna de 10.64% a los 7 días, 6.73% a los 28 días y 6.16% a los 90 días, teniendo una retención de humedad cercana al tratamiento con curado sumergido, demostrando ser más eficiente en la retención de agua interna que los tratamientos de curado con rociado con agua y membranil; los cuales tuvieron una humedad final a los 90 días de 3.35% y 4.02%.

5.2.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto según el tipo de tratamiento de curado.

Estimación de resistencia a la compresión a la edad de 360 días:

Dada la gran cantidad de factores que intervienen en el proceso de desarrollo de la resistencia del concreto, es difícil predecir la resistencia a una edad a partir de resistencias más tempranas, o viceversa, por lo cual tomamos según el Código Modelo CEB-FIP 1990 (COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON, 1993), la siguiente expresión para determinar la resistencia del concreto a edad de 360 días en base a la resistencia a 90 días: $f_c(j) = \beta_{cc}(j)f_{c,28}$, donde $\beta_{cc}(j)$ es un coeficiente de

valor: $\beta_{cc}(j) = e^{\left[s\left(1-\sqrt{\frac{28}{j}}\right)\right]}$ siendo: $f_c(j)$: resistencia a compresión a la edad j, $f_{c,28}$: resistencia a compresión a la edad de 28 días, s: coeficiente que depende del tipo de cemento y que adopta los valores: 0,20 para cementos de endurecimiento rápido y de alta resistencia, 0,25 para cementos de endurecimiento normal o rápido, 0,38 para cementos de endurecimiento lento.

Reemplazando se tiene, que según la resistencia de a los 28 días de edad, tenemos para edades de 360 días un s: 1.13315 con el cual se estimó la resistencia del concreto con los tratamientos de curado a los 360 días.

Tabla N°48: Estimación de resistencia a la compresión a los 360 días según CEB-FIP 1990, en base a la media de resistencia a la compresión a los 90 días.

TRATAMIENTO	Media de resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm ²)	Media de resistencia a la compresión a los 90 días (Kg/cm ²)	Estimación de resistencia a la compresión a los 360 días según CEB-FIP 1990 (Kg/cm ²)
1. C. ROCIADO AGUA	216.16	282.7	320.34
2. C. MEMBRANIL	189.48	284.83	322.75
3. C. SUMERGIDO	246.88	301.552	341.7
4. C. INTERNO	252.98	326.14	369.57

De los datos obtenidos de las medias estadísticas de resistencia a la compresión máxima a edades de 7, 28 y 90 días y las estimaciones a edades 360 días, se realizó la siguiente grafica de desarrollo de la resistencia a la compresión, para analizar la diferencia de desarrollo de resistencia del curado propuesto con los otros curados de estudio:

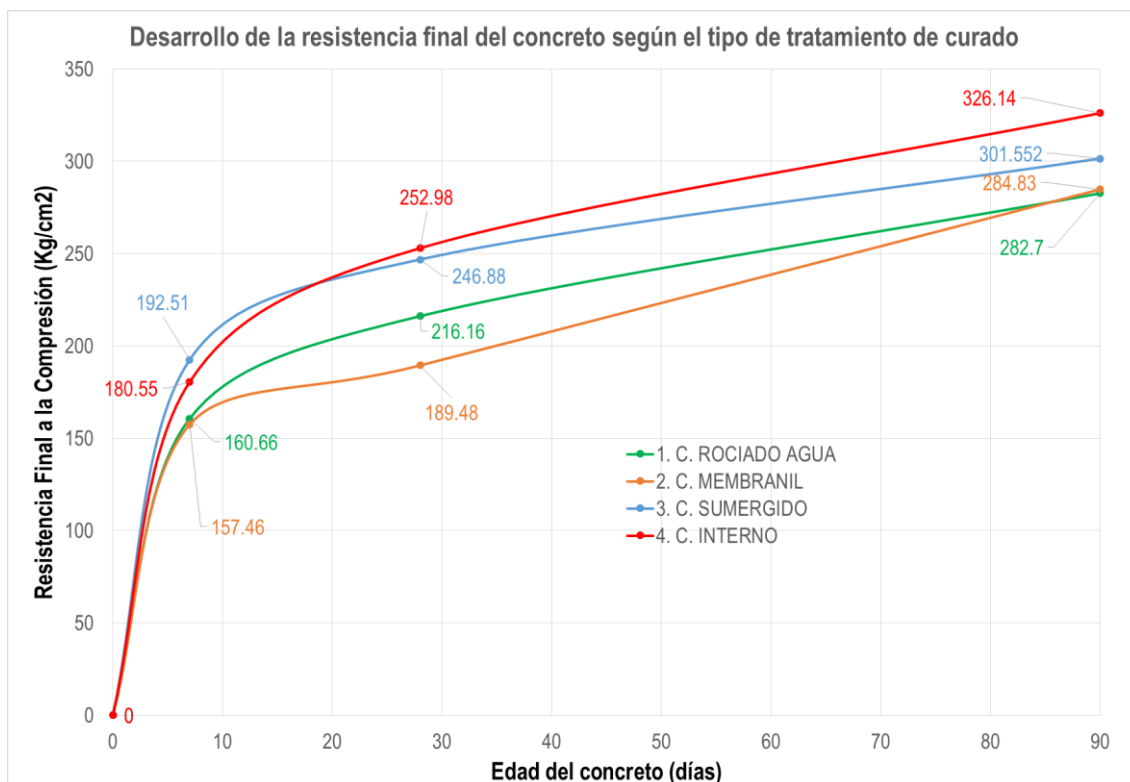


Figura N°37: Desarrollo de la resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 90 días según el tratamiento de curado de estudio.

Como se observa en la figura N°37 el curado interno obtuvo una menor resistencia a la compresión que el curado sumergido en agua a los 7 días, luego a los 28 días superó a este tratamiento pero siendo sus medias estadísticamente iguales, pero a los 90 días se tiene las medias de resistencia a la compresión diferentes estadísticamente siendo superior nuestra propuesta de curado interno en 8.15% que el curado sumergido en agua y mayor en 15.35% que el tratamiento con curado con rociado con agua y en 14.5% que el curado con membrasil.

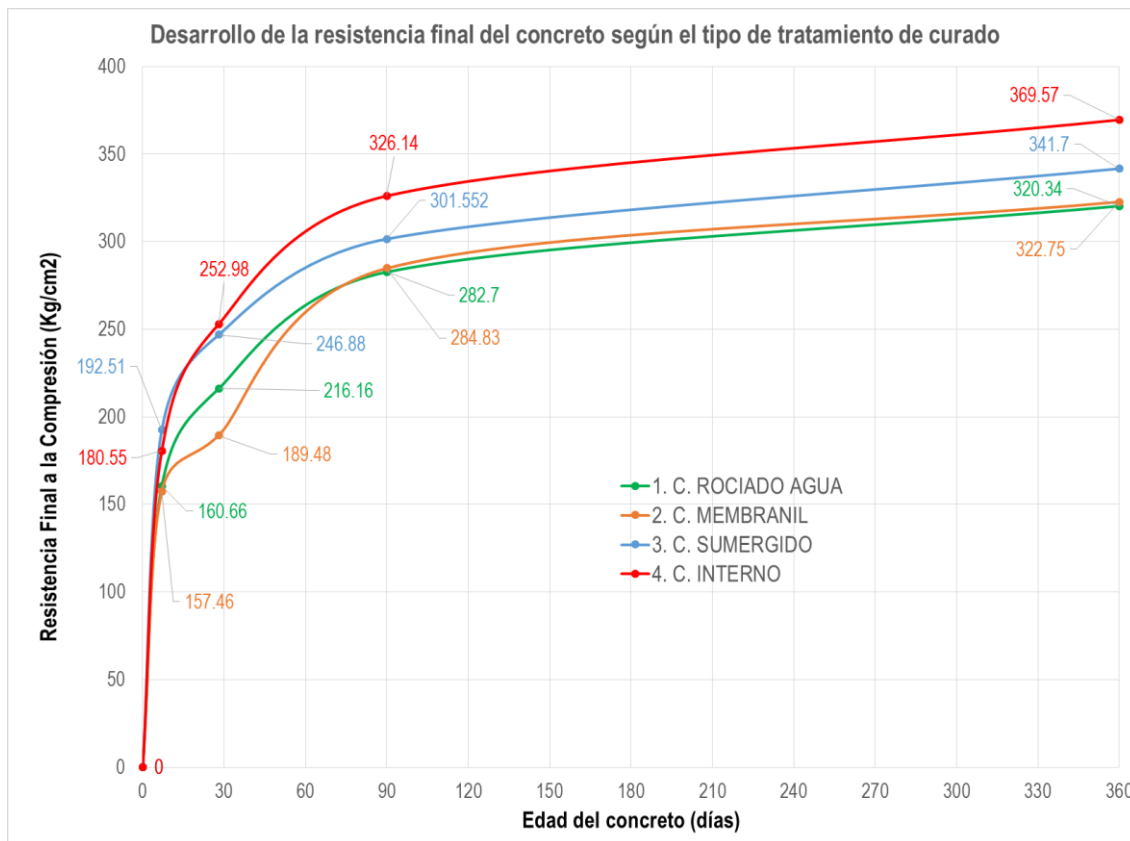


Figura N°38: Desarrollo de la resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 90 días y Estimación de resistencia a la compresión a los 360 días según CEB-FIP 1990, según el tratamiento de curado de estudio

En la figura N° 38 donde se observa el desarrollo de la resistencia a la compresión hasta la Estimación de resistencia a los 360 días según CEB-FIP 1990, donde al año se puede tener una diferencia de hasta 49.23 Kg/cm² entre la propuesta de curado interno y los curados convencionales de rociado con agua y membranil que sus medias son estadísticamente iguales. Con lo cual vemos la diferencia de utilizar éstos distintos tipos de curados en el concreto y su influencia en la resistencia a la compresión final.

En el siguiente tabla se analiza la diferencia de nuestra propuesta de curado interno con los otros curados estudiados referentes al desarrollo de la resistencia a la compresión

Tabla N°49: Diferencia de las medias del desarrollo de la resistencia a compresión de los tratamientos de curado estudiados referente al f'c de diseño: 210 kg/cm²

TRATAMIENTO	Resultados a los 7 días			Resultados a los 28 días			Resultados a los 90 días			Estimación a los 360 días		
	Media de resistencia a la compresión a los 7 días (Kg/cm ²)	Diferencia con f'c de diseño: 210 kg/cm ²	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 7 días	Media de resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm ²)	Diferencia con f'c de diseño: 210 kg/cm ²	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 28 días	Media de resistencia a la compresión a los 90 días (Kg/cm ²)	Diferencia con f'c de diseño: 210 kg/cm ²	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 90 días	Estimación de resistencia a la compresión a los 360 días según CEB-FIP 1990 (Kg/cm ²)	Diferencia con f'c de diseño: 210 kg/cm ²	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 360 días
1. C. ROCIADO AGUA	160.66*	76.50%	C	216.16	102.93%	B	282.7**	134.62%	C	320.34*	152.54%	C
2. C. MEMBRANIL	157.46*	74.98%	C	189.48	90.23%	C	284.83**	135.63%	C	322.75*	153.69%	C
3. C. SUMERGIDO (Tratamiento patrón)	192.51	91.67%	A	246.88**	117.56%	A	301.552	143.60%	B	341.7	162.71%	B
4. C. INTERNO	180.55	85.98%	B	252.98**	120.47%	A	326.14	155.30%	A	369.57	175.99%	A

(*) Medias de resistencia a la compresión a los 7 días iguales estadísticamente según prueba de rango múltiple de Tukey.

(**) Medias de resistencia a la compresión a los 28 días iguales estadísticamente según prueba de rango múltiple de Tukey.

(***) Medias de resistencia a la compresión a los 90 días iguales estadísticamente según prueba de rango múltiple de Tukey.

Tabla N°50: Diferencia de las medias de resistencia a compresión de la propuesta de curado interno con los tratamientos de curado estudiados a edades de 7, 28, 90 y 360 días.

TRATAMIENTO	Resultados a los 7 días			Resultados a los 28 días			Resultados a los 90 días			Estimación a los 360 días		
	Media de resistencia a la compresión a los 7 días (Kg/cm ²)	Diferencia con tratamiento de propuesta de curado interno a los 7 días	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 7 días	Media de resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm ²)	Diferencia con tratamiento de propuesta de curado interno a los 28 días	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 28 días	Media de resistencia a la compresión a los 90 días (Kg/cm ²)	Diferencia con tratamiento de propuesta de curado interno a los 90 días	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 90 días	Estimación de resistencia a la compresión a los 360 días según CEB-FIP 1990 (Kg/cm ²)	Diferencia con tratamiento de propuesta de curado interno a los 360 días	Agrupación por Tukey con CI de 95% a los 360 días
1. C. ROCIADO AGUA	160.66*	112.38% (+12.38%) (+19.89 Kg/cm ²)	C	216.16	117.03% (+17.03%) (+36.82 Kg/cm ²)	B	282.7***	115.37% (+15.37%) (+43.44 Kg/cm ²)	C	320.34*	115.37% (+15.37%) (+49.23 Kg/cm ²)	C
2. C. MEMBRANIL	157.46*	114.66% (+14.66%) (+23.09 Kg/cm ²)	C	189.48	133.51% (+33.51%) (+63.5 Kg/cm ²)	C	284.83***	114.5% (+14.5%) (+41.31 Kg/cm ²)	C	322.75*	114.5% (+14.5%) (+46.82 Kg/cm ²)	C
3. C. SUMERGIDO (Tratamiento patrón)	192.51	93.79% (-6.21%) (-11.96 Kg/cm ²)	A	246.88**	102.47% (+2.47%) (+6.1 Kg/cm ²)	A	301.552	108.15% (+8.15%) (+24.59 Kg/cm ²)	B	341.7	108.15% (+8.15%) (+27.87 Kg/cm ²)	B
4. C. INTERNO	180.55	100.00%	B	252.98**	100%	A	326.14	100%	A	369.57	100%	A

(*) Medias de resistencia a la compresión a los 7 días iguales estadísticamente según prueba de rango múltiple de Tukey.

(**) Medias de resistencia a la compresión a los 28 días iguales estadísticamente según prueba de rango múltiple de Tukey.

(***) Medias de resistencia a la compresión a los 90 días iguales estadísticamente según prueba de rango múltiple de Tukey.

5.2.3. Análisis, interpretación y discusión de resultados de comparación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de humedad según tratamiento.

Se realizó la siguiente grafica para poder ver la relación entre las medias estadísticas de resistencia a la compresión máxima y el contenido de humedad a la edad de 7 días de los tratamientos de estudio

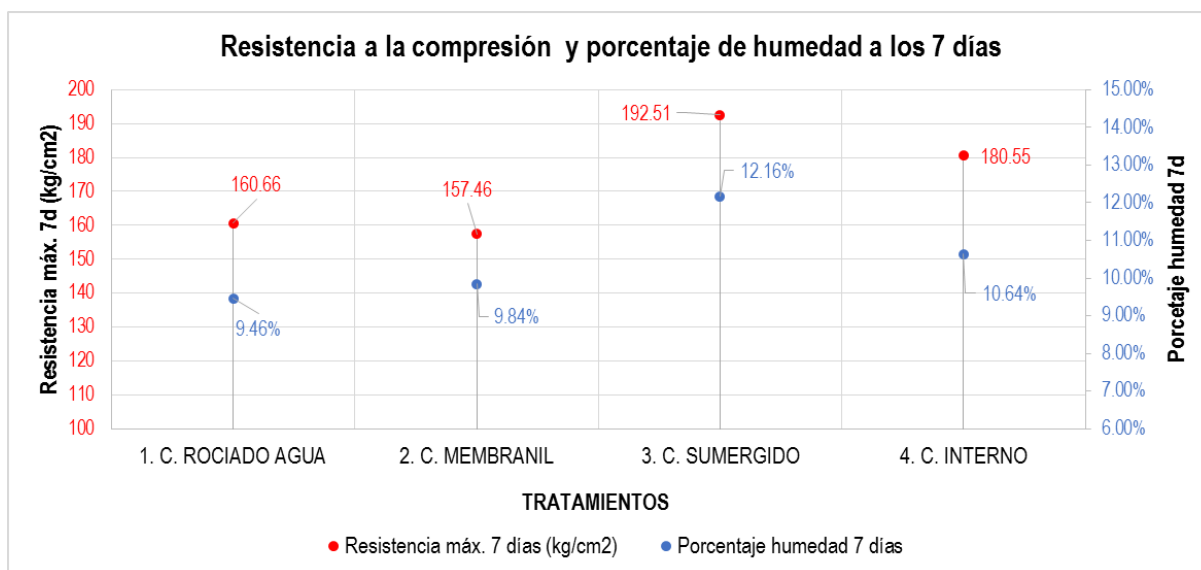


Figura N°39: Relación de resistencia a la compresión y porcentaje de humedad a los 7 días

En la figura N° 39 se observa que a los 7 días existe una relación de la cantidad de porcentaje de humedad con la resistencia a compresión, siendo los tratamientos con más porcentaje retenido de agua, los que tuvieron mayor resistencia a la compresión a la edad de 7 días. Así, que los tratamientos que tuvieron una mayor resistencia a la compresión fueron los concretos con curado sumergido en agua con una media estadística de 192.51 Kg/cm² y el tratamiento de curado interno con una media estadística de 180.55 Kg/cm², con porcentajes de humedad de 12.16% y 10.64% respectivamente.

Los tratamientos de curado con rociado y rociado de aditivo membranil tuvieron menores resistencia a la compresión, teniendo medias de resistencia a la compresión iguales estadísticamente de 160.66 Kg/cm² y 157.46 Kg/cm² respectivamente con 9.46% y 9.84% de humedad.

Se realizó la siguiente grafica para poder ver la relación entre el contenido de humedad de los especímenes con su resistencia a la compresión final a edad de 28 días de los tratamientos de estudio:

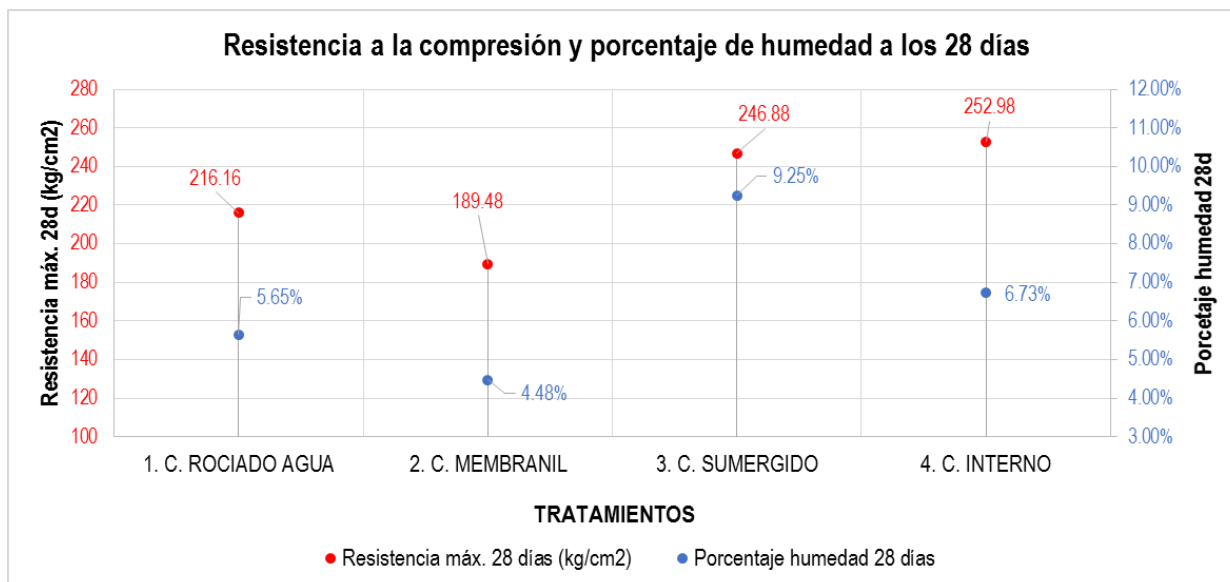


Figura N°40: Relación de resistencia a la compresión y porcentaje de humedad a los 28 días

En la figura N° 40 se observa que a los 28 días también existe una relación de la cantidad de porcentaje de humedad con la resistencia a compresión, siendo los tratamientos que mantuvieron más porcentaje retenido de agua, los tratamientos que tuvieron mayor resistencia a la compresión a la edad de 28 días. Así, los tratamiento de los especímenes cilíndricos de concreto curado sumergido en agua con una media estadística de 246.88 Kg/cm² con porcentajes de humedad de 9.25%, pero el tratamiento de curado interno con una media estadística de 252.98 Kg/cm² presentó una humedad interna de solo 6.73% lo cual confirma que el curado interno funciona diferente a los curados superficiales.

Los tratamientos de curados con rociado y rociado de aditivo membranil tuvieron menores resistencia a la compresión, teniendo medias de resistencia a la compresión iguales estadísticamente de 189.48 Kg/cm² y 216.16 Kg/cm² respectivamente, con 5.65% y 4.48% de humedad.

Se realizó la siguiente grafica para poder ver la relación entre el contenido de humedad de los especímenes con su resistencia a la compresión final a la edad de 90 días de los tratamientos de estudio:

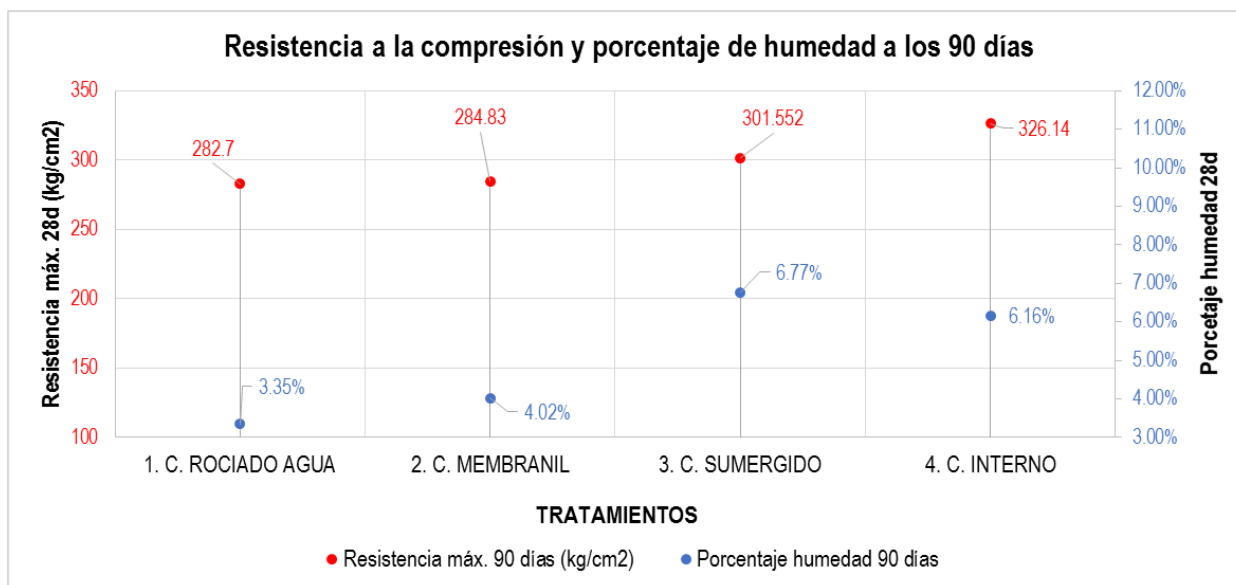


Figura N°41: Relación de resistencia a la compresión y porcentaje de humedad a los 90 días.

En la figura N° 41 se observa que a los 90 días también existe una relación de la cantidad de porcentaje de humedad con la resistencia a compresión, siendo los tratamientos que mantuvieron más porcentaje retenido de agua, los tratamientos que tuvieron mayor resistencia a la compresión a la edad de 90 días. Así, los tratamientos de concreto curado sumergido en agua con una media estadística de 341.7 Kg/cm² con porcentaje de humedad de 6.77%, y el tratamiento de curado interno con una media estadística superior de 369.57 Kg/cm² presentó una humedad interna de 6.16 %.

Los tratamientos de curados con rociado de agua y rociado de aditivo membranal tuvieron menores resistencia a la compresión, teniendo medias de resistencia a la compresión iguales estadísticamente de 282.7 Kg/cm² y 284.83 Kg/cm² respectivamente con 4.02% y 3.35% de humedad.

5.2.6. Análisis, interpretación y discusión de resultados de comparación del desarrollo de la resistencia a la compresión y desecación del concreto según tratamientos de estudio.

Se elaboró la figura N°42 con los resultados de los tratamientos estudiados de resistencia a compresión a edades de 7, 28 y 90 días y humedad interna de los especímenes de concreto a 7, 28 y 90 días, donde se observa la relación de la retención de humedad (al ser nuestra variable independiente el tipo de curado del concreto) con la resistencia a la compresión en los tratamientos estudiados.

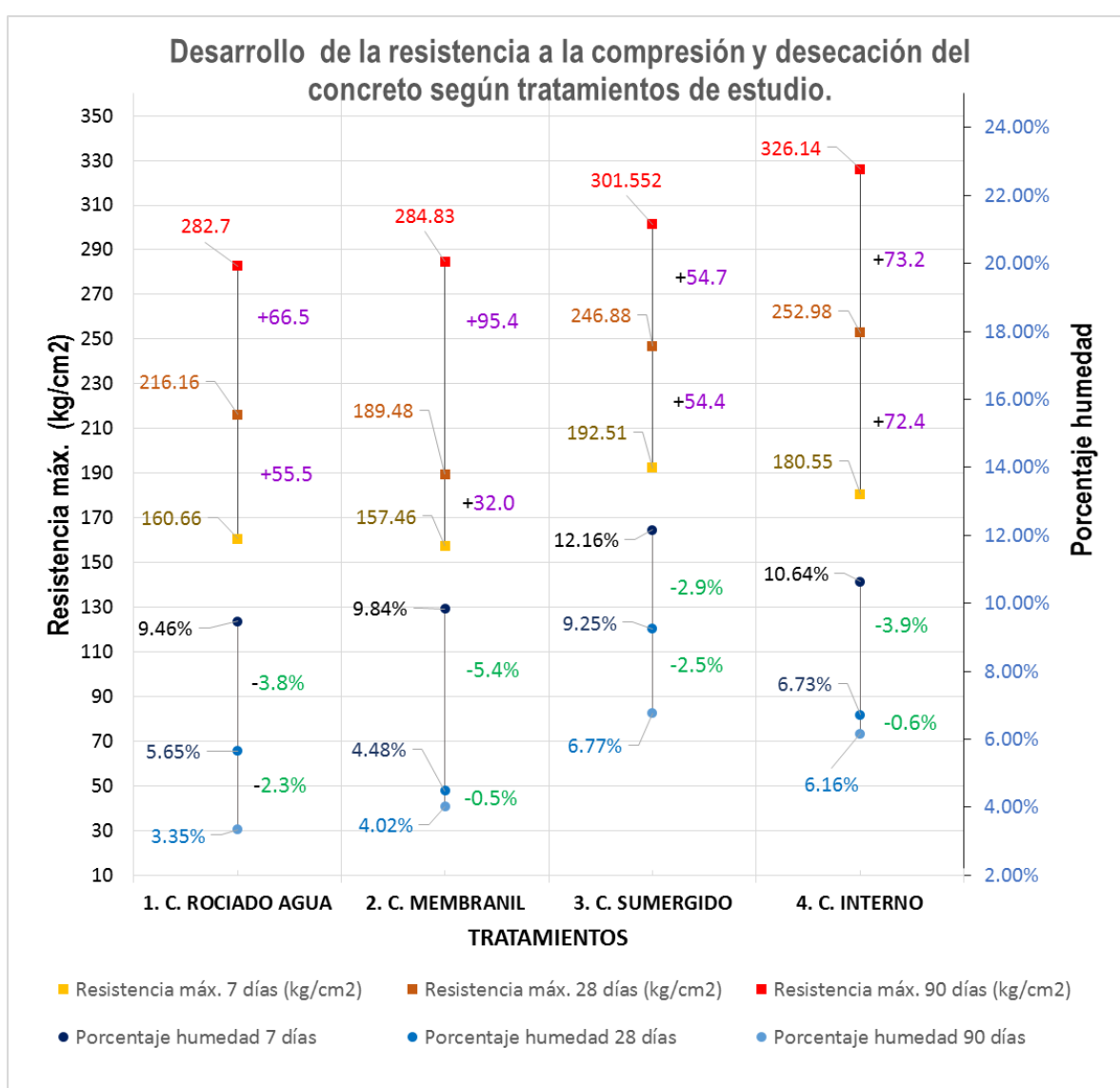


Figura N°42: Relación de resistencia a la compresión y retención de humedad a los 7, 28 y 90 días

Hubo una relación entre la humedad retenida en el concreto con la resistencia final a los 90 días, los concretos con los tratamientos de curado mediante rociado con agua y membrasil que obtuvieron una humedad de 3.35% y 4.02% a los 90 días, obtuvieron las medias de resistencia a la compresión también más bajas y similares estadísticamente de 282.7 kg/cm² y 284.83 kg/cm².

Así también, la pérdida de humedad del concreto estuvo relacionado con el aumento de la resistencia a la compresión, el tratamiento de curado con membrasil que tuvo una pérdida de agua alta de -5.4% entre los 7 y 28 días (en comparación a los otros tratamientos) tuvo un desarrollo de resistencia a la compresión bajo (en comparación a los otros tratamientos) de 32 kg/cm² y luego este mismo tratamiento entre los 28 y 90 días presentó una pérdida de humedad baja de -0.5% y presento un aumento de la resistencia alto de 95 kg/cm² lo cual comprueba la relación de la desecación del concreto con el aumento de la resistencia a la compresión.

El tratamiento con la propuesta de curado interno mediante saturación de agregado grueso tuvo una pérdida de agua de -3.9% entre los 7 y 28 días tuvo un desarrollo de resistencia a la compresión alto de 72.4 kg/cm² y luego este mismo tratamiento entre los 28 y 90 días presentó una pérdida de humedad baja de -0.6% y un aumento de la resistencia alto de 73.2 kg/cm² lo cual demuestra que el desarrollo de la resistencia a compresión en este curado interno propuesto es constantemente alta a pesar del porcentaje de humedad que pierde es normal, a diferencia de los otros tratamientos estudiados.

5.3. Contratación de hipótesis

Tabla N°51: Tabla de Contratación de hipótesis del estudio.

Hipótesis específicas	Resultados	Conclusión
<p>a. A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en retención de humedad del concreto, que los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana, al mostrar valores superiores que éstos en 1 y 3%; pero, a su vez, será menos efectivo que el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón, al mostrar valores menores que éste entre 1 y 3%.</p>	<p>El concreto con el curado interno propuesto presentó 1.17% más de humedad que el curado con rociado con agua a los 7 días, 1.07% más a los 28 días y 2.81% más a los 90 días.</p>	<p>La hipótesis es verdadera</p>
	<p>El concreto con el curado interno propuesto presentó 0.79% más de humedad que el curado por rociado de líquido formador de membrana a los 7 días, 2.25% más a los 28 días y 2.14% más a los 90 días.</p>	
	<p>El concreto con el curado interno propuesto presentó 1.53% menos de humedad que el curado sumergido en agua (tratamiento patrón) a los 7 días, 2.52% menos a los 28 días y 0.61% menos a los 90 días.</p>	
<p>b. A los 7, 28 y 90 días, el curado interno mediante saturación del agregado grueso será más efectivo en resistencia a la compresión del concreto en comparación a los otros tres tipos de curado; al mostrar valores mayores entre 10 y 20% respecto a los curados mediante rociado con agua y rociado de líquido formador de membrana; y, entre 5 y 10% respecto al curado sumergido en agua, o tratamiento patrón.</p>	<p>El concreto con el curado interno propuesto fue 12.38% superior en resistencia a la compresión que el concreto con curado con rociado con agua a los 7 días, 17.03 % superior a los 28 días y 15.37% superior a los 90 días.</p>	<p>La hipótesis es verdadera</p>
	<p>El concreto con el curado interno propuesto fue 14.66% superior en resistencia a la compresión que el concreto con curado con rociado de líquido formador de membrana los 7 días, 33.51% superior a los 28 días y 14.5% superior a los 90 días</p>	
	<p>El concreto con el curado interno propuesto fue 6.21% inferior en resistencia a la compresión que concreto con el curado sumergido en agua (tratamiento patrón) a los 7 días, pero 2.47% superior a los 28 días y 8.15% superior a los 90 días</p>	

CAPÍTULO VI

PROPUESTA: “CURADO INTERNO DEL CONCRETO MEDIANTE SATURACIÓN DEL AGREGADO GRUESO”

6.1. Características de la propuesta.

Eficacia.

Como se ha demostrado en el análisis de resultados, el tratamiento de curado interno mediante saturación de agregado grueso, sería más efectivo para la retención de agua de curado y en el desarrollo a la resistencia a compresión a diferencia de los curados de rociado con agua y rociado de aditivo formador de membrana, por lo cual se podría aplicar en el campo de la construcción en la elaboración de concretos. Pues se ha observado su mejor retención interna de agua de curado por lo cual favorecería a que los concretos presenten resistencias a compresión requeridas, durabilidad y evitar los problemas de contracciones por autodesecación del concreto.

Efecto transformador.

Al compartir este conocimiento acerca de las propiedades de esta nueva propuesta de curado interno mediante la saturación de agregado grueso con los profesionales, técnicos, maestros de obra y personas relacionadas con la industria de la construcción, se podría empezar a utilizar esta propuesta de curado por su facilidad de aplicación y sus aportaciones a la performance del concreto, obteniendo estructuras de concreto o con componentes de concreto con un mejor servicio en capacidad portante y durabilidad.

Sostenibilidad.

Esta propuesta de curado tiene sostenibilidad ya que su aplicación no conlleva a la utilización de productos químicos como aditivos curadores que podrían afectar al medio ambiente, y cabe añadir que si bien se utiliza agua para la saturación del agregado grueso, gran parte de esta agua se disminuiría en la elaboración de las mezclas de concreto por la corrección por humedad del agregado.

Legitimidad.

No se encuentran investigaciones referentes al curado interno mediante la saturación máxima del agregado grueso común, por lo cual se considera esta propuesta de curado interno innovadora y original.

Replicabilidad.

Este estudio podría dar pase al desarrollo de otras investigaciones referentes como puede ser la efectividad de la propuesta del curado interno mediante saturación del agregado grueso referente a la aparición de fisuras de contracción, su influencia por el tamaño máximo de agregado grueso, en concretos de diferente resistencia a la compresión y diferentes relaciones agua/cemento, y en combinación con otros tipos de curados superficiales.

6.2. Beneficios que aportará la propuesta

La aplicación de esta propuesta favorecerá a que los concretos presenten mejor resistencia a compresión requerida, durabilidad y evitar los problemas de contracciones por pérdida de agua a diferencia de los curados de rociado con agua y rociado de aditivo formador de membrana, obteniendo estructuras de concreto o con componentes de concreto con un mejor servicio en capacidad portante y durabilidad

CONCLUSIONES

1. El curado interno mediante saturación del agregado grueso fue más efectivo en retención de humedad del concreto que los curados mediante rociado con agua (al mostrar valores mayores en 0.17; 1.07 y 2.81% a los 7, 28 y 90 días, respectivamente) y rociado de líquido formador de membrana (al mostrar valores mayores en 0.79; 2.25 y 2.14% a los 7, 28 y 90 días, respectivamente); pero, fue menos efectivo en la misma variable que el curado patrón de sumersión en agua (al mostrar valores menores en 1.53; 2.52 y 0.61% a los 7, 28 y 90 días, respectivamente).
2. El curado interno mediante saturación del agregado grueso fue más efectivo en aumento de resistencia a compresión del concreto que los otros tres tipos de curado. Respecto al curado con rociado con agua fue 12.38% superior a los 7 días, 17.03 % superior a los 28 días y 15.37% superior a los 90 días; respecto al curado con rociado de líquido formador de membrana, fue 14.66% superior a los 7 días, 33.51% superior a los 28 días y 14.5% superior a los 90 días; y respecto al tratamiento patrón de sumersión en a gua fue 2.47% superior a los 28 días y 8.15% superior a los 90 días.
3. La retención de humedad interna en el concreto en los tratamientos estudiados se relaciona en forma directa con el desarrollo de la resistencia a compresión de éstos. Así, los concretos con los tratamientos de curado con rociado con agua y con formador de membrana que tuvieron menores porcentajes de humedad a edades de 7, 28 y 90 días, obtuvieron también menores resistencias a la compresión que los concretos con los tratamientos de curado sumergido y curado interno mediante la saturación de agregado grueso, que son los que tuvieron una mayor retención de humedad.
4. El concreto con curado interno mediante saturación de agregado grueso obtuvo una resistencia a la compresión 326.14 kg/cm^2 a los 90 días y fue superior y diferente estadísticamente que el concreto curado con el tratamiento patrón de sumersión en agua, que tuvo 301.55 kg/cm^2 en el mismo periodo de tiempo. Esto no obstante que el curado patrón tuvo mayor humedad retenida en un valor de

0.61%; lo cual, demuestra que el curado interno favoreció a un mejor desarrollo de la resistencia a compresión, debido a que retiene el agua de curado de forma interna y mejor distribuida, a diferencia de los otros curados convencionales que solo curan el concreto de forma superficial (externa).

5. El concreto con el tratamiento de curado interno mediante la saturación de agua tuvo una pérdida de agua de -3.9% entre los 7 y 28 días, pero, presentó un desarrollo de resistencia a la compresión alto (en comparación a los otros tratamientos) de 72.4 kg/cm^2 y luego este mismo tratamiento entre los 28 y 90 días presentó una pérdida de humedad baja de -0.6% y un aumento de la resistencia alto de 73.2 kg/cm^2 ; lo cual, demuestra que el desarrollo de la resistencia a compresión en este curado interno propuesto es constantemente alta a pesar que el porcentaje de humedad que pierde es similar a los otros tratamientos estudiados.

RECOMENDACIONES

Se puede recomendar a las empresas de construcción civil y personas naturales de dicha actividad poner en práctica la propuesta de este trabajo de investigación, como es el curado interno mediante la saturación del agregado grueso; ya que se ha observado una mayor efectividad respecto a otros dos tipos de curado que se usan en la práctica, como son el rociado con agua y rociado con formador de membrana (Membranil).

De otro lado, con la finalidad de profundizar la investigación en este tema se puede recomendar a la comunidad científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cajamarca y de la Escuela de Post Grado de la UNC y de otras entidades (especialmente a los docentes, alumnos, exalumnos e interesados), considerar los siguientes aspectos de estudio:

1. La efectividad del curado interno en concretos de diferente resistencia a la compresión especificada, ya que en la biografía estudiada, se menciona que el curado interno sería más efectivo en concretos con menores relaciones agua/cemento y en concretos mayores a 35MPa, influenciado por el tamaño máximo de agregado grueso, por la capacidad de retención de agua de agregados de diferente tamaño máximo.
2. Efecto del curado interno mediante saturación del agregado grueso referente a aparición de fisuras de contracción mediante la medición de aparición de grietas en losas a escala en condiciones expuestas a la intemperie, en diferencia al curado mediante rociado con agua y por rociado de líquido formador de membrana,
3. Efectividad del curado interno combinado con otros tipos de curados, ya que, en la biografía estudiada se menciona que este curado debe ser aplicado conjuntamente con otros tipos de curados superficiales.
4. En los estudios relacionados con el tema, realizar ensayos a compresión del concreto no solo hasta los 28 días de edad de las muestras estos ensayos, sino,

hasta edades más avanzadas como es a los 90 días o incluso más para obtener resultados más semejantes a los concretos en obra.

5. Utilización de material de arcillas expandidas por calcinación, (trozos de ladrillos y tejas elaborados por calcinación, que usualmente son utilizados en el departamento de Cajamarca) como un material poroso que previamente saturado pueda servir como un curado interno del concreto.
6. Efecto del curado interno mediante saturación del agregado grueso en concretos elaborados en climas cálidos, ya que con este tipo de clima es más usual que se presente desecación del concreto y los problemas que conlleva, También se considera que al humedecer el agregado se disminuiría la temperatura del concreto disminuyendo los problemas por altas temperaturas del concreto en climas cálidos y concretos masivos.
7. Estudiar los costos de operación y de beneficios del curado interno mediante la saturación del agregado grueso en comparación a otros tipos de curado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS

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

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

ASOCEM. 2015. *Indicadores Económicos Al 31 de agosto de 2015.* Lima : s.n., 2015.

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

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

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

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

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

Buchholz, F y Graham, A. 1989. Modern super-absorbent polymer. 1989.

Chema. 2016. Chema productos. [En línea] 16 de 02 de 2016. [Citado el: 08 de 02 de 2016.] <http://www.chema.com.pe/assets/productos/ficha-tecnica/MEMBRANIL-VISTA.pdf>.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. 1993. CEB-FIP MODEL CODE 1990. Gran Bretaña : Redwood Books, 1993.

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

Durán Herrera, A., Aïtcin, P y Petrov., N. 2007. Effect of saturated lightweight sand substitution on shrinkage in 0.35 w/b concrete. USA : ACI Materials Journal, 2007.

Esteves, L. P. , y otros. 2009. Efecto de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de los morteros con partículas superabsorbentes. Portugal : s.n., 2009.

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

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

Hedenblad, Göran. 1998. "Concrete Drying Time (Tiempo de Secado del Concreto)," Concrete Technology Today. USA : Portland Cement Association, 1998, págs. 4, 5.

Henkensiefken, R., y otros. 2009. Volume change and cracking in internally cured mixtures made with saturated lightweight aggregate under sealed and unsealed conditions. 2009.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1999. <http://www.imcyc.com/>. [En línea] junio de 1999. [Citado el: 29 de marzo de 2016.] <http://www.imcyc.com/revista/1999/junio/aditivos1.htm>.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.022. INDECOPI. 2002. 2a. ed., Lima, Perú : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso., 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037 . INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú : AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto), 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037. INDECOPI. 2002. Lima, Perú : AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto), 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.043. INDECOPI. 2006. Lima, Perú : AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo, 2006.

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

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

—. **2004.** Naturaleza y Materiales del Concreto. Lima, Perú : Instituto de la Construcción y Gerencia, 2004, págs. 8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,26,30,31,245,246.

SENAMHI - SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU . 2016. senamhi. [En línea] 17 de Febrero de 2016. http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=000304 .

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

Spanish Edition ACI 318S-08. American Concrete Institute. 2008. USA : Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario, 2008.

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

Tejada, Luis Matías. 2013. Estudio de la influencia de material muy fino en la resistencia a compresión del concreto. Cajamarca, Perú : UNC, 2013.

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

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

APÉNDICE I:
CALCULOS Y RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

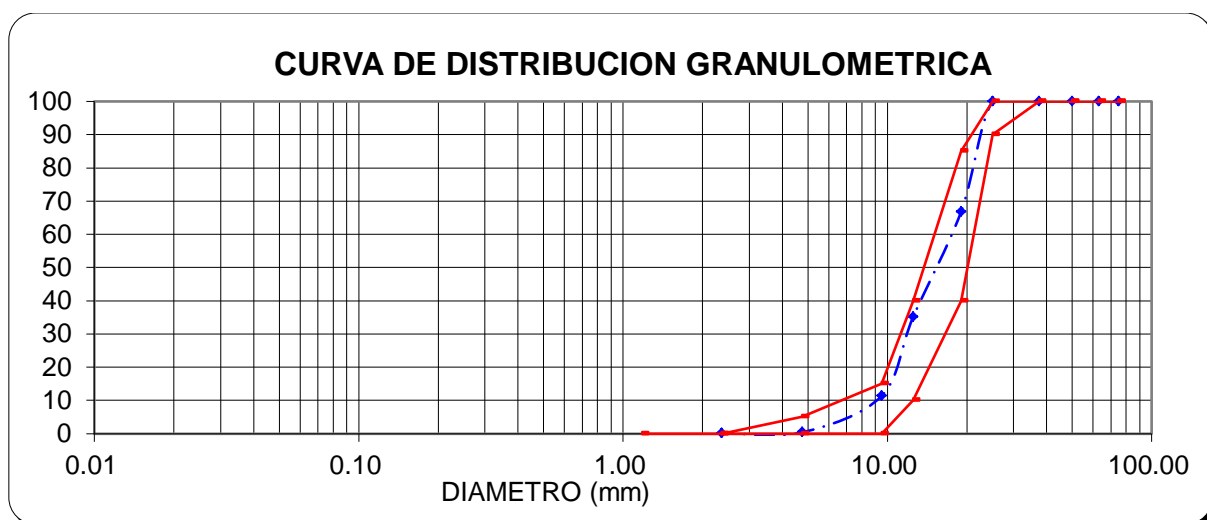
I. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS

I.1. Análisis granulométrico de las muestras de Agregado Grueso de la Cantera

Tabla A.I.1.1: Análisis Granulométrico de la muestra N°1 de Agregado Grueso.

PESO SECO INICIAL =		7400.00 gr.		Módulo de		7.211	
PESO MENOR N° 200 =		6.00 gr.		Finura (Mf) =			
TAMIZ		PESO RETENIDO		PORCENT. RETENIDO	PORCENTAJE QUE		
N °	ABERTURA (mm)	PARCIAL (gr)	ACUMULADO (gr)	ACUMULADO %	PASA %		
1 ½"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
¾"	19.00	2455.00	2455.00	33.18	66.82		
½"	12.50	2352.00	4807.00	64.96	35.04		
3/8"	9.50	1755.00	6562.00	88.68	11.32		
N°4	4.75	812.00	7374.00	99.65	0.35		
N 8	2.36	20.00	7394.00	99.92	0.08		
N 16	1.18	0.00	7394.00	99.92	0.08		
N 30	0.60	0.00	7394.00	99.92	0.08		
N 50	0.30	0.00	7394.00	99.92	0.08		
N 100	0.15	0.00	7394.00	99.92	0.08		
N 200	0.08	0.00	7394.00	99.92	0.08		
CAZOLETA	--	6.00	7400.00	100.00	0.00		
TOTAL		7400.00					

Figura A.I.1.1: Granulometría del Agregado Grueso con el HUSO N° 56 de la ASTM

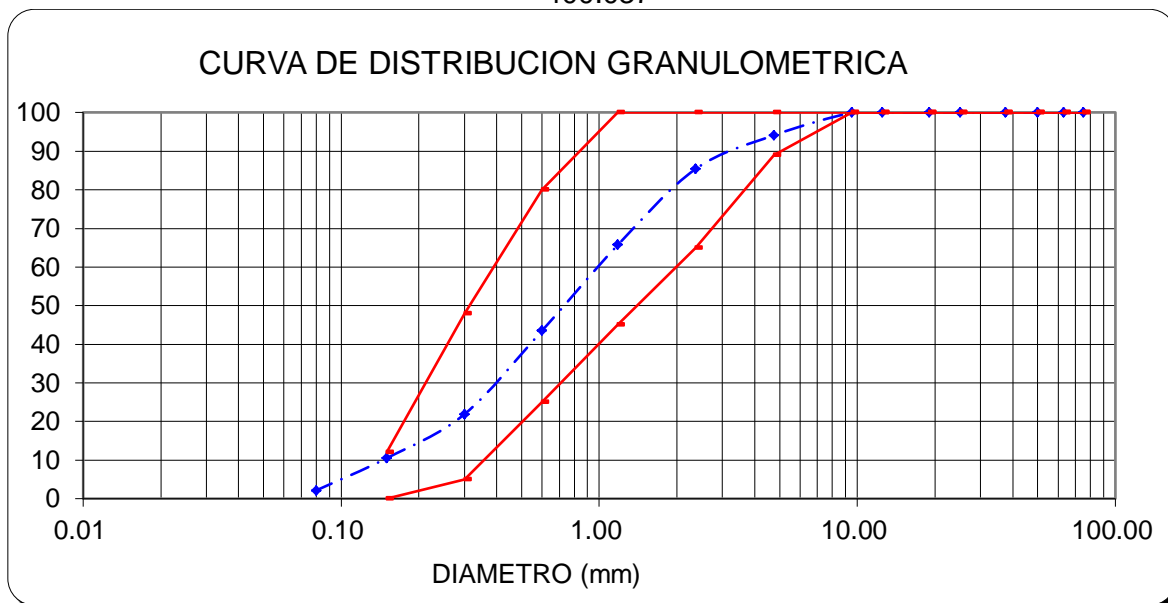


I.2. Análisis granulométrico de las muestras de Agregado Fino:

Tabla A.I.2.1: Análisis Granulométrico del Agregado Fino

PESO SECO INICIAL =		1450.00 gr.		Módulo de		2.789
PESO MENOR N° 200 =		31.00 gr.		Finura (Mf) =		
TAMIZ		PESO RETENIDO		PORCENT. RETENIDO	PORCENTAJE QUE	
N °	ABERTURA (mm)	PARCIAL (gr)	ACUMULADO (gr)	ACUMULADO %	PASA %	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.75	85.00	85.00	5.86	94.14	
N 8	2.36	127.00	212.00	14.62	85.38	
N 16	1.18	285.00	497.00	34.28	65.72	
N 30	0.60	322.00	819.00	56.48	43.52	
N 50	0.30	314.00	1133.00	78.14	21.86	
N 100	0.15	165.00	1298.00	89.52	10.48	
N 200	0.08	121.00	1419.00	97.86	2.14	
CAZOLETA	--	31.00	1450.00	100.00	0.00	
TOTAL		1450.00				

Figura A.I.2.1: Granulometría del Agregado Fino con el HUSO según la NTP 400.037



I.3. Módulo de fineza de agregado fino

Módulo de fineza del Agregado Fino de la Muestra N°1

Módulo fineza AF:

$$\frac{\sum \%ret. acum. en mallas N^{\circ} 4; N^{\circ} 8; N^{\circ} 16; N^{\circ} 30; N^{\circ} 50; y N^{\circ} 100}{100}$$

$$\frac{5.86 + 14.62 + 34.28 + 56.48 + 78.14 + 89.52}{100} = 2.79$$

I.4. Módulo de fineza de agregado grueso

Módulo de fineza del Agregado grueso de la Muestra N°1

Módulo fineza AG:

$$\frac{\sum \%ret. acum. en mallas 3; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N^{\circ} 4; N^{\circ} 8; N^{\circ} 16; N^{\circ} 30; N^{\circ} 50; y N^{\circ} 100}{100}$$

$$\frac{0 + 0 + 28.95 + 97.97 + 600}{100} = 7.26$$

Módulo de fineza del Agregado grueso de la Muestra N°2

Módulo fineza AG:

$$\frac{\sum \%ret. acum. en mallas 3; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N^{\circ} 4; N^{\circ} 8; N^{\circ} 16; N^{\circ} 30; N^{\circ} 50; y N^{\circ} 100}{100}$$

$$\frac{0 + 0 + 33.18 + 88.68 + 99.65 + 99.92 + 99.92 + 99.92 + 99.92 + 99.92}{100} = 7.21$$

II. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO, Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

II.1. Peso específico y absorción de las muestras de agregado fino

Tabla A.II.1.1: Determinación del peso específico y absorción del Agregado Fino

ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr)	494.00	493.80	493.75	
PESO DEL FRASCO CON AGUA (gr)	659.07	659.07	659.07	
PESO FRASCO CALIBRADO + MUESTRA + AGUA (gr)	963.25	963.53	964.02	
PESO DEL AGREGADO FINO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (gr)	500.00	500.00	500.00	
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm ³) =	2.602	2.608	2.615	2.61
ABSORCION (%) =	1.215	1.256	1.266	1.25

II.2. Peso específico y absorción de agregado grueso

Tabla A.II.2.1: Determinación del peso específico y absorción del agregado Grueso

ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr)	2966.00	2964.00	2965.00	
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (gr)	3001.80	2999.80	3000.00	
PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (gr)	1840.00	1835.00	1831.00	
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm ³)	2.634	2.625	2.615	2.620
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm ³)	2.553	2.545	2.536	2.540
PESO ESP. DE MASA (gr/cm ³) SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	2.584	2.575	2.566	2.580
ABSORCIÓN (%)	1.21	1.21	1.18	1.200

III. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

III.1. Contenido de humedad del agregado grueso saturado a las 72 horas.

Tabla A.II.2.1: Determinación del contenido de humedad del agregado grueso saturado a las 72 horas.

ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr)	2934.00	2932.00	2928.00	
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (gr)	3000.00	3000.00	3000.00	
PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (gr)	1825.00	1818.00	1815.00	
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm ³)	2.646	2.632	2.631	2.640
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm ³)	2.497	2.481	2.471	2.480
PESO ESP. DE MASA (gr/cm ³) SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	2.553	2.538	2.532	2.540
ABSORCIÓN (%)	2.25	2.32	2.46	2.340

IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DE LOS AGREGADOS

IV.1. Cantidad de material pasante de malla N° 200 del agregado fino.

Tabla A.V.1.1: Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Fino Muestra N°1

ENSAYO N°	1	2	3
Peso seco de la muestra original (gr.)	500.00	500.00	500.00
Peso seco de la muestra lavada (gr.)	481.00	480.00	482.00
Peso de material que pasa el tamiz N° 200 (gr.)	19.00	20.00	18.00
% de material que pasa el tamiz N° 200	3.80%	4.00%	3.60%
PROMEDIO	3.80%		

IV.2. Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado grueso

Tabla A.V.2.1: Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Grueso

ENSAYO N°	1	2	3
Peso seco de la muestra original (gr.)	3000.00	3000.00	3000.00
Peso seco de la muestra lavada (gr.)	2985.00	2986.00	2987.00
Peso de material que pasa el tamiz N° 200 (gr.)	15.00	14.00	13.00
% de material que pasa el tamiz N° 200	0.50%	0.47%	0.43%
PROMEDIO	0.47%		

V. RESULTADOS DE ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

V.1. Resistencia a abrasión del agregado grueso.

Tabla A.V.1.1: Pesos de muestras para ensayo de abrasión.

TAMIZ		RETENIDO EN		ENSAYO		
#	(mm)	#	(mm)	1°	2°	3°
1 1/2"	37.50	1"	25.40	0.00	0.00	0.00
1"	25.40	3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.00	1/2"	12.70	2500.00	2500.00	2500.00
1/2"	12.70	3/8"	9.51	2500.00	2500.00	2500.00
3/8"	9.51	1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00
1/4"	6.35	N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00
N° 4	4.76	N° 8	2.36	0.00	0.00	0.00
		SUMATORIA		5000.00	5000.00	5000.00

Tabla A.V.1.2: Determinación de la resistencia a abrasión del agregado grueso.

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de muestra Seca (gr)	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Wo=Peso de muestra Seca + recipiente (gr)	4128.00	4136.00	4155.00	4139.67
Recipiente (gr)	525.00	525.00	525.00	525.00
Wf=Peso de muestra seca final (gr)	3603.00	3611.00	3630.00	3614.67
ABRASIÓN (%) = (Wo-Wf)/Wo*100	27.94	27.78	27.40	27.71

APÉNDICE II
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO USANDO EL MÉTODO DEL MÓDULO DE
FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

II.1. Selección de las proporciones del concreto por el método Módulo De Finura De La Combinación De Agregados

II.1.1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a compresión especificada.

Las mezclas de concreto siempre deben diseñarse para una resistencia de diseño promedio cuyo valor es siempre superior al de la resistencia de diseño especificada (f'_c). La diferencia entre ambas resistencias está dada y se determina en función al grado de control de uniformidad y de la calidad del concreto [Rivva, 2013:38] Cuando no se cuente con un registro de ensayos de resistencia en obra para el cálculo de la desviación estándar, f'_{cr} debe determinarse de la siguiente tabla:

Resistencia especificada a la compresión.	Resistencia promedio requerida a la compresión.
$f'_c < 210 \text{ Kg/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$210 \text{ Kg/cm}^2 \leq f'_c \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 84$
$f'_c > 350 \text{ Kg/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 98$

$$f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

IV.1.1. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Como se indicó en el ítem 3.3.3 El Tamaño Máximo Nominal (TMN) se determinó mediante el análisis de granulométrico del agregado grueso, obteniendo el valor de TMN de 1".

IV.1.2. Selección del asentamiento.

Como se indicó en el ítem 2.6.1.2. El asentamiento o slump elegido fue de 3" a 4" para poder obtener una consistencia plástica del concreto no endurecido.

IV.1.3. Selección de volumen unitario del agua de diseño.

La tabla A.VII.1.4.1 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: 1", Aire incorporado: Concreto Sin Aire Incorporado

A.VII.1.4.1: Volumen unitario de Agua

Agua, en lts/m ³ , para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada								
Asentamiento	Tamaño Máximo de Agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto 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	---
Concreto 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	---

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

De la tabla A.VII.1.4.1 obtenemos el agua de mezclado: **193 lts/m³**

IV.1.4. Selección del contenido de aire.

La tabla A.VII.1.5.1 da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso adecuadamente graduados dentro de los requisitos de la norma *NTP 400.037* o *ASTM C 33*.

Consideraciones: Grado de Exposición: Normal, TMN del agregado grueso: 1"

Tabla A.VII.1.5.1: Contenido de Aire Atrapado

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

De la tabla A.VII.1.5.1 obtenemos que el aire atrapado es: **1.5%**

IV.1.5. Selección de la relación agua/cemento por resistencia.

La tabla A.VII.1.6.1 es una adaptación de la confeccionada por el Comité 211 del ACI. Esta tabla da las relaciones agua/cemento en peso máximas permisibles para diferentes valores de la resistencia promedio, ya sea que se trate de concretos sin o con aire incorporado.

Esta tabla 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.

IV.1.8. Cálculo Absoluto del Agregado Global

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

$$\text{Vol. Absoluto de Agregado: } 1 - 0.321 = 0.679 \text{ m}^3$$

IV.1.9. Cálculo del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados

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

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

De la tabla obtenemos el Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados:

$$\text{BOLSA CEMENTO MOD. FINEZA} \\ 8 \text{ Bolsas} \rightarrow 5.43$$

IV.1.10. Cálculo del valor de r_f

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

$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \times 100 = 40.20 \%$$

Donde:

m : Módulo de fineza de la combinación de agregados, tomada de la Tabla

m_f : Módulo de fineza del agregado fino

m_g : Módulo de fineza del agregado grueso

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

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

Reemplazando Obtenemos:

$$r_f: 40.20 \% \\ r_g: 100\% - 40.20 \% = 59.80$$

IV.1.11. Cálculo de volúmenes absolutos del agregado:

$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Fino: } 0.679 \times 40.20\% = 0.273 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Grueso: } 0.679 \times 59.80\% = 0.406 \text{ m}^3$$

IV.1.12. Cálculo de pesos secos del agregado:

$$\begin{aligned} \text{Peso Seco de Agregado Fino: } & 0.273 \times 2.61 = 713 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Peso Seco de Agregado Grueso: } & 0.406 \times 2.62 = 1064 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

4.6.1.1. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.

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

$$\begin{aligned} \text{Cemento: } & \dots\dots\dots 351.93 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agua de diseño: } & \dots\dots\dots 193.00 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Agregado Fino Seco: } & \dots\dots\dots 713 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Seco: } & \dots\dots\dots 1064 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

IV.1.13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.**1.IV.1.13.1. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado. Para la elaboración de concreto con los 03 tipos de curado comunes.**

Calculamos los pesos húmedos de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Peso húmedo del Agregado Fino: } & \dots\dots\dots 713 (1 + (4)/100) = 742 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Peso húmedo del Agregado Grueso: } & \dots\dots\dots 1102(1 + 0.25/100) = 1067 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Determinamos la humedad superficial de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Humedad superficial del Agregado Fino: } & \dots\dots\dots 4.00 \% - 1.25 \% = 2.75 \% \\ \text{Humedad superficial del Agregado Grueso: } & \dots\dots\dots 0.25 \% - 1.2 \% = -0.95 \% \end{aligned}$$

Determinamos el aporte de humedad de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Aporte de humedad del Agregado Fino: } & \dots\dots\dots 713 \times 2.75\% = 20.00 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad del Agregado Grueso } & \dots\dots\dots 1064 \times -0.95 \% = -11 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Total de Aporte de humedad de los Agregados: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots 9.00 \text{ Lts/m}^3 \end{aligned}$$

Como el Agregado toma agua de la mezcla para llegar a su condición de saturado superficialmente seco, será necesario adicionar los 28.00 Lts/m³ al agua de diseño para obtener el agua efectiva que hay que colocar en la mezcladora. De no hacerlo así, la mezcla se haría más seca, menos trabajable y más consistente, además que se modificaría la relación agua/cemento de diseño y las propiedades al estado endurecido.

$$\text{Agua efectiva: } \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 193.00 - 9 = 184 \text{ Lts/m}^3$$

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba son:

$$\begin{aligned} \text{Cemento: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 351.93 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agua efectiva: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 184 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Agregado Fino Húmedo: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 742 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Húmedo: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 1067 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Volumen a fabricar en laboratorio para 05 especímenes cilíndricos y una prueba de consistencia con cono de Abrams. (0.037 m³):

$$\begin{aligned} \text{Cemento: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 12.94 \text{ Kg/ tanda} \\ \text{Agua efectiva: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 6.77 \text{ Lts/ tanda} \\ \text{Agregado Fino Húmedo: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 27.28 \text{ Kg/ tanda} \\ \text{Agregado Grueso Húmedo: } & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 39.23 \text{ Kg/ tanda} \end{aligned}$$

1.IV.1.13.2. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado Saturado para elaboración de tratamiento de concreto con curado interno.

Calculamos los pesos húmedos de los agregados:

$$\text{Peso húmedo del Agregado Fino: } \dots \dots \dots 713 (1 + (4.00)/100) = 742 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo del Agregado Grueso: } \dots \dots \dots 1064(1 + 2.34/100) = 1089 \text{ Kg/m}^3$$

Determinamos la humedad superficial de los agregados:

$$\text{Humedad superficial del Agregado Fino: } \dots \dots \dots 4.00 \% - 1.25 \% = 2.75 \%$$

$$\text{Humedad superficial del Agregado Grueso: } \dots \dots \dots 2.34 \% - 1.20 \% = 1.14 \%$$

Determinamos el aporte de humedad de los agregados:

$$\text{Aporte de humedad del Agregado Fino: } \dots \dots 713 \times 2.75\% = 20.00 \text{ Lts/m}^3$$

$$\text{Aporte de humedad del Agregado Grueso } \dots \dots 1064 \times 1.14 \% = 13.00 \text{ Lts/m}^3$$

$$\text{Total de Aporte de humedad de los Agregados: } \dots \dots \dots 33 \text{ Lts/m}^3$$

Como el Agregado tomo agua de la mezcla para llegar a su condición de saturado superficialmente seco, será necesario adicionar los 36 Lts/m^3 al agua de diseño para obtener el agua efectiva que hay que colocar en la mezcladora. De no hacerlo así, la mezcla se haría más seca, menos trabajable y más consistente, además que se modificaría la relación agua/cemento de diseño y las propiedades al estado endurecido.

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots 193.00 - 33 = 160 \text{ Lts/m}^3$$

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba son:

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 351.93 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots 160 \text{ Lts/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo: } \dots \dots \dots 742 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo: } \dots \dots \dots 1089 \text{ Kg/m}^3$$

Volumen a fabricar en laboratorio para 05 especímenes cilíndricos y una prueba de consistencia con cono de Abrams. (0.037 m³):

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 12.94 \text{ Kg/ tanda}$$

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots 5.88 \text{ Lts/ tanda}$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo: } \dots \dots \dots 27.28 \text{ Kg/ tanda}$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo: } \dots \dots \dots 40.04 \text{ Kg/ tanda}$$

APÉNDICE III
CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO UNITARIO DEL
CONCRETO FRESCO

IV.1. Peso unitario del concreto fresco del tratamiento de curado con rociado de agua

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO			
<i>ASTM C 138/ NTP 339.046</i>			
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3
PESO DE MOLDE (g)	8265.00	8255.00	8258.00
PESO MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	22135.00	22167.00	22185.00
DIAMETRO DEL MOLDE (Cm)	15.200	15.220	15.180
ALTURA DEL MOLDE (Cm)	30.450	30.440	30.460
VOLUMEN DEL MOLDE (CM3)	5525.408	5538.139	5512.687
PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.510	2.512	2.526
PROMEDIO PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.516		

IV.2. Peso unitario del concreto fresco del tratamiento de curado con rociado de membranal.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO			
<i>ASTM C 138/ NTP 339.046</i>			
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3
PESO DE MOLDE (g)	8184.00	8205.00	8345.00
PESO MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	22206.00	22307.00	22245.00
DIAMETRO DEL MOLDE (Cm)	15.150	15.170	15.210
ALTURA DEL MOLDE (Cm)	30.320	30.350	30.420
VOLUMEN DEL MOLDE (CM3)	5465.682	5485.544	5527.230
PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.565	2.571	2.515
PROMEDIO PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.550		

IV.3. Determinación del peso unitario del concreto fresco del tratamiento de curado sumergido en agua.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO			
ASTM C 138/ NTP 339.046			
<i>NUMERO DE ENSAYO</i>	1	2	3
PESO DE MOLDE (g)	8107.00	8145.00	8194.00
PESO MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	22105.00	22145.00	22140.00
DIAMETRO DEL MOLDE (Cm)	15.220	15.200	15.190
ALTURA DEL MOLDE (Cm)	30.420	30.450	30.430
VOLUMEN DEL MOLDE (CM3)	5534.500	5525.408	5514.516
PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.529	2.534	2.529
PROMEDIO PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.531		

IV.4. Determinación del peso unitario del concreto fresco del tratamiento de curado interno.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO			
ASTM C 138/ NTP 339.046			
<i>NUMERO DE ENSAYO</i>	1	2	3
PESO DE MOLDE (g)	8125.00	8210.00	8231.00
PESO MOLDE + CONCRETO FRESCO (g)	22195.00	22206.00	22148.00
DIAMETRO DEL MOLDE (Cm)	15.180	15.170	15.190
ALTURA DEL MOLDE (Cm)	30.450	30.440	30.470
VOLUMEN DEL MOLDE (CM3)	5510.877	5501.811	5521.765
PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.553	2.544	2.520
PROMEDIO PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO (g/cm3)	2.539		

APÉNDICE IV: FOTOGRAFÍAS

Imagen N°1. *Fotografía de agregados utilizados para el estudio*



Imagen N°2. *Fotografía de muestreo de agregados por método del cuarteo*



Imagen N°3. *Fotografía de saturación de agregado grueso para elaboración de tratamiento de concreto con curado interno*



Imagen N°4. *Fotografía de elaboración de especímenes cilíndricos de concreto de estudio*



Imagen N°5. *Fotografía de prueba de cono de Abrams para el concreto fresco*



Imagen N°6. *Fotografía de tratamiento de curado con aditivo membranal*



Imagen N°7. Fotografía de tratamiento de curado con rociado de agua



Imagen N°8. Fotografía de tratamiento de curado estándar sumergido en agua



Imagen N°9. Fotografía de control de temperatura en tratamiento de curado estándar sumergido en agua



Imagen N°10. Fotografía de almacenamiento de especímenes en intemperie.



Imagen N°11. Fotografía de ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 28 días.



Imagen N°12. *Fotografía de especímenes ensayados a compresión, para obtener contenido de humedad de los tratamientos.*



Imagen N°13. *Fotografía de muestra de espécimen para ensayo de contenido de humedad de los tratamientos.*



Imagen N°14. *Ensayo de rotura de especímenes cilíndricos de concreto*



Imagen N°15. *Fotografía de especímenes cilíndricos de concreto a ser ensayados a compresión a los 90 días.*

ANEXO I

FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EMPLEADO



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
 Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
 Pacasmayo, 19 de Octubre 2015

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.7	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	1.6	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.36	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3740	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.17	NO ESPECÍFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm ²)	25.6 (261)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm ²)	33.6 (343)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (kg/cm ²)	40.6 (414)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	155	Mínimo 45
Fraguado Final	min	315	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-09-2015 al 30-09-2015.

La resistencia a compresión a 28 días corresponde al mes de Agosto 2015.

(*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff Rojas

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

ANEXO II
DATOS HISTÓRICOS DEL CLIMA DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA
AUGUSTO WEBERBAUER.

Estación : AUGUSTO WEBERBAUER , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento : CAJAMARCA			Provincia : CAJAMARCA			Distrito : CAJAMARCA			Ir : 2016-01 ▼			
Latitud : 7° 10' 3"			Longitud : 78° 29' 35"			Altitud : 2536						
Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitación (mm)		Dirección del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Ene-2016	25	11.8	12.9	24.5	14.3	11.5	14.6	13		4.9		
02-Ene-2016	25.5	9.1	10.2	23.6	17	9.6	13.8	14.1	0	0		
03-Ene-2016	25.5	8.9	10.8	25.1	16.6	9.4	12.8	14.1	0	0		
04-Ene-2016	23.3	10.7	12.6	22.1	16.2	11.3	13	12.6	0	-888		
05-Ene-2016	24	12.8	13	23.5	15.8	11.2	13.6	12.5	0	0		
06-Ene-2016	22.8	12	12.8	19.4	16.6	11	13.6	12.5	7.4	0		
07-Ene-2016	23.4	11.7	12.9	20.4	15.1	11.2	13.7	13.1	0	1.6		
08-Ene-2016	23.8	13.1	13.8	19.3	16.2	12.6	15.3	12.1	0	3.3		
09-Ene-2016	23.5	11.2	12.1	19.6	16.4	11	14.6	12.6	0	-888		
10-Ene-2016	24.6	9.2	11.2	23.7	16	10.6	13.3	12.7	0	0		
11-Ene-2016	23.9	7.2	7.8	23.7	15.5	7	13.9	12.5	0	0		
12-Ene-2016	24.3	7.4	7.9	22	15.5	6.9	13.3	12.9	0	0		
13-Ene-2016	24.2	9	10.4	23.9	15.6	8.1	12.7	13.4	0	.6		
14-Ene-2016	24.6	6	8.2	24.2	16	7.8	13	12	0	0		
15-Ene-2016	26.6	7.2	7.9	25.6	17.6	7.8	13.1	12.1	0	-888		
16-Ene-2016	25.9	9.4	10.8	24.8	17.2	10.2	13.9	11.9	0	-888		
17-Ene-2016	24.2	12.2	12.4	23.2	14.8	11.8	14.1	13.6	.5	-8881.9		
18-Ene-2016	21.6	12.8	13	21.4	14.4	12.6	15	10.9	4.6	6.8		
19-Ene-2016	22.6	10.4	11.2	22.2	14.2	10.7	13.7	13	.2	3.8		
20-Ene-2016	22.7	12.4	12.7	22.3	15	12.2	14.6	13.3	4.2	6.5		
21-Ene-2016	22.3	12.8	13	21.5	16.1	12.3	11.9	13.1	4.6	0		
22-Ene-2016	22.5	10.8	12.1	21.3	18.5	11.5	12	11	.2	0		
23-Ene-2016	26.2	8.2	9.2	24	17.7	8.3	10.9	12.9	0	0		
24-Ene-2016	25.5	7.7	9.5	24.6	16.6	8.8	11.2	13.8	0	0		
25-Ene-2016	24.3	9.2	9.6	23.7	15.9	8.7	13.3	12.9	0	0		
26-Ene-2016	22	10.6	11.1	17.5	17	10.4	12.2	12.5	0	-888		
27-Ene-2016	24.6	9.3	10.5	23	16.5	9.9	13.6	14.5	0	.4		
28-Ene-2016	21.3	14.1	14.3	21	16.8	13.4	13.6	12.7	1.1	0		
29-Ene-2016	20.2	12.2	12.4	18.3	15.1	11.8	13.6	12.6	13.1	.9		
30-Ene-2016	21.6	12.6	13.1	19.6	14.2	12.5	14.9	12.3	6.4	.9		
31-Ene-2016	21.4	12.6	12.7	17.9	15	12	13.6	12.9	6.2	2.8		

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

* Información sin Control de Calidad

* El uso de esta Información es bajo su entera Responsabilidad

Estación : AUGUSTO WEBERBAUER , Tipo Convencional - Meteorológica

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : CAJAMARCA

Distrito : CAJAMARCA

Ir : 2016-02 ▾

Latitud : 7° 10' 3"

Longitud : 78° 29' 35"

Altitud : 2536

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitacion (mm)		Direccion del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Feb-2016	20.6	11.9	12.5	16.6	14.7	12	13.9	13.2		2		
02-Feb-2016	20.2	13	13.1	20.1	14.9	12.4	13.5	13.8	0	6.3		
03-Feb-2016	22.8	12.8	13.2	21.3	15.1	12.5	13.5	12.6	.4	-888		
04-Feb-2016	20.5	11.9	12.2	15.2	15.5	11.4	12.1	12.3	0	.7		
05-Feb-2016	22.5	11.2	11.8	21.3	16.8	11.3	13.5	12.9	0	-888		
06-Feb-2016	22.4	12.2	13	21.5	17.2	11.5	13.5	12.6	9.5	0		
07-Feb-2016	22.7	13	13.6	20.6	18.4	11.2	13.3	12.2	0	0		
08-Feb-2016	20.4	12	12.8	20.2	15.6	11.7	12.8	12.8	0	6.8		
09-Feb-2016	21.3	11.8	12.3	15	16.8	10.7	12.2	13.5	5	16.5		
10-Feb-2016	21.1	10.6	10.8	16.2	16	9.5	13	12.7	.2	2.8		
11-Feb-2016	21.8	9.9	10.8	19.6	14.8	8.7	11.9	12.6	0	2		
12-Feb-2016	22.7	8.9	9.5	21.6	17.4	8.2	12.5	10.9	.9	.6		
13-Feb-2016	21.6	10.8	11.9	20.3	14.4	10.3	13	11.8	0	.2		
14-Feb-2016	22.6	9.7	10.5	20.9	19	9.2	12	11.2	.1	0		
15-Feb-2016	22.3	10.9	11	21	17.8	9.7	12	11.8	0	-888		
16-Feb-2016	23.3	10.4	10.6	21.8	18.7	9.3	11.8	11.2	0	0		
17-Feb-2016	21.8	10.8	12	19.3	14.7	9.6	13.7	12.6	0	5.3		
18-Feb-2016	22.8	12.7	13.1	22.4	16.5	11.9	12.9	12.8	.2	0		
19-Feb-2016	24.3	12.6	13.2	22.6	17.8	12.3	13	12.2	0	0		
20-Feb-2016	24.9	9.6	11.1	22.5	16	10	13.6	13.6	0	0		
21-Feb-2016	25.2	11.4	11.7	24.4	16.1	10.6	14.4	13.4	0	-888		
22-Feb-2016	23.8	10.8	11.1	23.6	16.4	10.3	14.6	12.7	0	-888		
23-Feb-2016	-999	13.3	13.7	21.2	-888	12.6	13.3	-999	.7	.2		
24-Feb-2016	23.4	12.9	13.8	22.4	15.9	12.5	13.9	13.8	.2	.4		
25-Feb-2016	20	13.4	13.6	19.9	15.9	13	15	14.8	3	5.1		
26-Feb-2016	24.4	13.4	13.7	23.5	16	13.1	14	14.2	0	.1		
27-Feb-2016	21.6	13.9	14.6	20.2	17	13.6	14.6	14.4	0	1.2		
28-Feb-2016	19.8	13.8	14	19.3	14	13.3	14.2	13.3	.4	14.1		
29-Feb-2016	23.9	12.8	13.8	22.2	16.6	12.9	14	13.7	.4	-888		

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

* Información sin Control de Calidad

* El uso de esta Información es bajo su entera Responsabilidad

Estación : AUGUSTO WEBERBAUER , Tipo Convencional - Meteorológica

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : CAJAMARCA

Distrito : CAJAMARCA

Ir : 2016-03 ▾

Latitud : 7° 10' 3"

Longitud : 78° 29' 35"

Altitud : 2536

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitacion (mm)		Direccion del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Feb-2016	20.6	11.9	12.5	16.6	14.7	12	13.9	13.2		2		
02-Feb-2016	20.2	13	13.1	20.1	14.9	12.4	13.5	13.8	0	6.3		
03-Feb-2016	22.8	12.8	13.2	21.3	15.1	12.5	13.5	12.6	.4	-888		
04-Feb-2016	20.5	11.9	12.2	15.2	15.5	11.4	12.1	12.3	0	.7		
05-Feb-2016	22.5	11.2	11.8	21.3	16.8	11.3	13.5	12.9	0	-888		
06-Feb-2016	22.4	12.2	13	21.5	17.2	11.5	13.5	12.6	9.5	0		
07-Feb-2016	22.7	13	13.6	20.6	18.4	11.2	13.3	12.2	0	0		
08-Feb-2016	20.4	12	12.8	20.2	15.6	11.7	12.8	12.8	0	6.8		
09-Feb-2016	21.3	11.8	12.3	15	16.8	10.7	12.2	13.5	5	16.5		
10-Feb-2016	21.1	10.6	10.8	16.2	16	9.5	13	12.7	.2	2.8		
11-Feb-2016	21.8	9.9	10.8	19.6	14.8	8.7	11.9	12.6	0	2		
12-Feb-2016	22.7	8.9	9.5	21.6	17.4	8.2	12.5	10.9	.9	.6		
13-Feb-2016	21.6	10.8	11.9	20.3	14.4	10.3	13	11.8	0	.2		
14-Feb-2016	22.6	9.7	10.5	20.9	19	9.2	12	11.2	.1	0		
15-Feb-2016	22.3	10.9	11	21	17.8	9.7	12	11.8	0	-888		
16-Feb-2016	23.3	10.4	10.6	21.8	18.7	9.3	11.8	11.2	0	0		
17-Feb-2016	21.8	10.8	12	19.3	14.7	9.6	13.7	12.6	0	5.3		
18-Feb-2016	22.8	12.7	13.1	22.4	16.5	11.9	12.9	12.8	.2	0		
19-Feb-2016	24.3	12.6	13.2	22.6	17.8	12.3	13	12.2	0	0		
20-Feb-2016	24.9	9.6	11.1	22.5	16	10	13.6	13.6	0	0		
21-Feb-2016	25.2	11.4	11.7	24.4	16.1	10.6	14.4	13.4	0	-888		
22-Feb-2016	23.8	10.8	11.1	23.6	16.4	10.3	14.6	12.7	0	-888		
23-Feb-2016	-999	13.3	13.7	21.2	-888	12.6	13.3	-999	.7	.2		
24-Feb-2016	23.4	12.9	13.8	22.4	15.9	12.5	13.9	13.8	.2	.4		
25-Feb-2016	20	13.4	13.6	19.9	15.9	13	15	14.8	3	5.1		
26-Feb-2016	24.4	13.4	13.7	23.5	16	13.1	14	14.2	0	.1		
27-Feb-2016	21.6	13.9	14.6	20.2	17	13.6	14.6	14.4	0	1.2		
28-Feb-2016	19.8	13.8	14	19.3	14	13.3	14.2	13.3	.4	14.1		
29-Feb-2016	23.9	12.8	13.8	22.2	16.6	12.9	14	13.7	.4	-888		

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

* Información sin Control de Calidad

* El uso de esta Información es bajo su entera Responsabilidad

ANEXO III
CONSTANCIA DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERIA

Telefax N° 0051-76-82-5976 Anexo N° 129-130 / 154

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



CONSTANCIA: DE TRABAJOS EN EL LABORATORIO

DE ENSAYOS DE MATERIALES DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNC.

Se hace constar que el Sr. LUIS MATIAS TEJADA ARIAS, ex alumno de la escuela de post grado de la universidad nacional de Cajamarca de la mención de la mención de "Ingeniería y gerencia de la ingeniería" ha realizado los trabajos de laboratorio de su tesis titulada "propuesta de curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso" en el LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNC, por el cual se expide la presente constancia para fines que estime conveniente.

Cajamarca, abril del 2016



LUIS MATIAS TEJADA ARIAS
 Tesis de Maestría en Ingeniería
 Laboratorio de Ensayo de Materiales
 Juan Villanueva Zubizarain