

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADO

“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA  
MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE  
CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

BELTRÁN RODRÍGUEZ, MARVIN DANIEL  
HERNANDEZ BONILLA, NAHUN ALEXANDER  
PINEDA SARAVIA, KEVIN ERAZO  
QUINTANILLA ARGUETA, FREDY RIGOBERTO

DOCENTE ASESOR:

Ing. MANUEL DOLORES QUINTANILLA

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA, ENERO 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**AUTORIDADES**

Msc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**RECTOR**

Dr. RAUL ERNESTO AZCUNAGA LOPEZ

**VICE-RECTOR ACADEMICO**

Ing. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**VICE-RECTOR ADMINISTRATIVO**

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

**SECRETARIA GENERAL**

Lic. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARIN

**FISCAL GENERAL**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
AUTORIDADES**

Lic. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

**DECANO**

Lic. OSCAR VILLALOBOS

**VICE-DECANO**

Lic. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNANDEZ

**SECRETARIO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
AUTORIDADES**

Ing. RIGOBERTO LOPEZ  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO**

Ing. MANUEL DOLORES QUINTANILLA  
**DOCENTE ASESOR**

Ing. GUILLERMO MOYA TURCIOS  
**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Ing. MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA  
**COORDINADORA DE LOS PROCESOS DE GRADUACION**

## **RESUMEN**

La resistencia a compresión es una propiedad mecánica del concreto sumamente vital para la estabilidad de las infraestructuras de concreto armado. El concreto resulta al mezclar arena y piedra triturada denominados agregados, más cemento y agua, lo cual se denomina pasta del concreto. En esta última es donde se lleva a cabo el proceso de hidratación que es precisamente mediante el cual el cemento cambia su estado químico y físico al contacto con el agua; de este proceso depende la ganancia de resistencia a compresión. Los procesos de curado son aquellas medidas tomadas en obra que buscan brindar las condiciones para que el cemento logre hidratarse de manera adecuada obteniendo así mayores resistencias mecánicas. El objetivo de la investigación era comprobar la efectividad de dos métodos de curado que son utilizados en campo debido a su bajo costo y sencilla aplicación, los cuales son aspersión de agua de manera periódica y membrana de curado, esto enmarcado en las condiciones ambientales de San Miguel y tratando un concreto diseñado para una resistencia a compresión de 210 Kg/cm<sup>2</sup> en todos los casos. Se llevó a cabo un proceso de experimentación en laboratorio colocando el concreto bajo condiciones controladas propuestas por el estándar ASTM C192/C192M. Se estudió concreto expuesto a las condiciones ambientales tratado por aspersión y tratado con membrana de curado, así mismo sin recibir ningún tratamiento, esto con el fin de obtener curvas que mostraran el comportamiento de un concreto que había sido elaborado bajo las mismas condiciones variando solamente el tratamiento aplicado en el proceso de endurecimiento. El análisis estadístico y la presentación de los datos resultantes mediante gráficos brindaron las herramientas necesarias para generar modelos matemáticos para cada tratamiento estudiado. Dichos modelos serían útiles para la estimación en obra de la resistencia a compresión alcanzada por el concreto a diversas edades tomando en cuenta las variantes de las condiciones ambientales en San Miguel y el tratamiento utilizado, concluyendo ecuaciones exponenciales de segundo grado para todas las variables y determinando que el tratamiento por aspersión y membrana de curado brindan las condiciones para que el concreto obtenga la resistencia de diseño.

**PalabrasClave:** Resistencia a la compresión, concreto, curado e hidratación

---

## **AGRADECIMIENTOS.**

A DIOS TODO PODEROSO; Por darnos la salud, sabiduría y los medios necesarios para poder finalizar nuestros estudios superiores.

AL DOCENTE ASESOR; Ing. Manuel Dolores Quintanilla, por su apoyo incondicional en todas las actividades realizadas durante nuestra investigación

AL ENCARGADO DEL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FMO; Ing. Humberto Moreira por su apoyo en todas las pruebas de laboratorio realizadas y orientación en los procesos de investigación.

AL ENCARGADO DE LA ESTACION METEOROLOGICA; Ing. Rubén Dary Gonzales, por brindarnos con gran disposición de ayuda los datos solicitados.

A LAFARGE HOLCIM; por toda la colaboración brindada en el desarrollo de nuestra investigación en especial a la ING.LAURA LANDAVERDE jefa de planta y a la ING.ADRIANA FLORES por su invaluable apoyo a esta investigación.

AL ENCARGADO DEL LABORATORIO DE LAFARGE HOLCIM; Técnico Neri Salinas por toda su colaboración durante todas las pruebas realizadas en dicha empresa.

A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR; Facultad Multidisciplinaria Oriental en especial al Departamento de Ingeniería y Arquitectura por facilitarnos las instalaciones para el desarrollo formativo y el espacio donde fue realizado el experimento de la investigación.

AL INGENIERO AGRONOMO; José Ismael Guevara Zelaya, por la orientación en la interpretación estadística de estadística

AL SEÑOR; José Atilio Pineda por proporcionar el vehículo necesario para transportar los especímenes.

## **Dedicatorias**

Al haber culminado esta etapa tan importante de mi vida no puedo dejar de lado el agradecer a todos y todas aquellas personas que de una u otra forma participaron y contribuyeron a que alcanzara esta meta. **A mi madre** Armida del Carmen Rodríguez por el gran amor y devoción, a pesar de la distancia, me brindo apoyo ilimitado e incondicional que siempre me ha dado, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como un hombre de bien, infinitas gracias. **A mi hermana** Wendy Roxana Rodríguez por ser la persona quien me ha acompañado, soportado y ayudado en los momentos de mi vida a pesar de ser diferentes siempre seremos el ejemplo de unidad y amor incondicional que nuestra madre nos inculco. **A mi abuela** Pedrina Rodríguez por todo el amor y apoyo que ha tenido, a mis primos y tíos por su amistad y apoyo que siempre me brindaron, muchas gracias. **A mis compañeros de tesis** Kevin Pineda, Nahun Hernández y Rigoberto Quintanilla por su dedicación, compañerismo y paciencia, una amistad de muchos años, gracias a los tres por haber culminado este trabajo de graduación. A mis amigos universitarios: Ever García, Amílcar Vigil, Diego Rivera, Alexis Rodríguez, Wilson Zelaya, Jonathan Rodríguez y Raúl Gómez por su amistad GRACIAS.

Marvin Daniel Beltrán Rodríguez

## **Dedicatorias**

**A DIOS**, por todas las bendiciones a lo largo de mi vida iniciando por mis padres y hermana por acompañarme en los buenos y malos momentos y siempre dirigirme en un buen camino y nunca dejarme caer. Agradezco que me permita culminar mi carrera aun sin merecerlo.

**A MI MADRE**, Edith Bonilla de Hernández por ser una mujer maravillosa, fuerte y luchadora ejemplo de entrega, amor y fortaleza te admiro mama y agradezco tu apoyo y guía durante mi vida.

**A MI PADRE**, José Alexander Hernández Bonilla por siempre apoyarme y tener las palabras de aliento correctas y motivación para mí cuando las necesites sé que estos logros obtenidos son gracias a ellos.

**A MI HERMANA**, Katherine Saraí Hernández Bonilla quien me ayudaba y me apoyaba en los momentos más difíciles y me alentaba a seguir adelante y saber que puedo confiar en ella en todo momento.

**A MIS COMPAÑEROS**, Marvin Daniel Beltrán Rodríguez, Kevin Erazo Pineda Saravia y Fredy Rigoberto Quintanilla Argueta, por desarrollar junto a mi este trabajo de graduación el cual será un punto de inicio en nuestra vida como profesional les deseo que sigan cosechando muchos éxitos.

Nahun Alexander Hernández Bonilla

## **Dedicatorias**

En primer lugar, a **Dios** por permitir lograr una meta más, por darme la fuerza y sabiduría necesaria para poder culminar mi carrera.

A mis padres, **Mirna Marleny Saravia y José Atilio Pineda**, que siempre estuvieron a mi lado en todo momento mostrándome ese apoyo que tanto necesitaba para poder lograr mis objetivos.

A **mis hermanos**, Donal Pineda, Osmir Pineda, Luis Pineda, Diego Pineda y Kelyn Nazely, por apoyarme a cumplir esta meta que es muy importante para mí.

A **MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS**, Nahun Alexander Hernández Bonilla, Marvin Daniel Beltrán Rodríguez y Fredy Rigoberto Quintanilla Argueta, por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera, así mismo por desarrollar esta investigación junto a mí.

Kevin Erazo Pineda Saravia

## **Dedicatorias**

Dedico todos los esfuerzos realizados durante mi carrera y la realización de este trabajo de investigación a **DIOS** por ser el centro de mi vida, mi guía y la razón por la cual busco ser un mejor hombre cada día.

**A MI MAMÁ** Emma Guadalupe Argueta por orar siempre por mí, por creer siempre en mí a pesar de que muchos no lo hacían, por amarme siempre y mantener su confianza puesta en mí.

**A MI PAPÁ** Fredi Orlando Quintanilla Henríquez por sus palabras que siempre llegaron a pulir mis pensamientos y decisiones, por su amor y apoyo incondicional en todas las circunstancias.

**A MI ABUELA** María Emma Tejada por su invaluable apoyo en todas las etapas de mi vida, por sus oraciones y por el innegable que han tenido sus palabras y su ejemplo en mi vida.

**A MI ABUELA** Rosario del Carmen Quintanilla que, aunque ya no está conmigo, sin saberlo su sonrisa y su actitud ante la vida me enseñó a vivir y buscar siempre lo bueno para poder reír aun en las peores circunstancias.

**A MI HERMANA Y MI SOBRINA** Emma Liliana Quintanilla y Emma Fernanda Sorto por su inmenso apoyo, por siempre estar para mí y alegrarme los días.

**A MIS COMPAÑEROS** Marvin Daniel, Kevin Pineda, Nahún Hernández por ser un gran equipo de trabajo y brindarme su confianza y amistad a lo largo de estos años.

Fredy Rigoberto Quintanilla Argueta

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	i
1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3. Enunciado del problema.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Alcances y limitaciones.....	8
1.5.1. Alcances.....	8
1.5.2 limitaciones.....	9
1.6. Delimitación del problema.....	10
1.7. Hipótesis.....	11
2. CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	12
2.1. Marco Normativo.....	12
2.2. Marco referencial.....	17
2.2.1. Concreto.....	17
2.2.1.1. Características mecánicas del concreto.....	17
2.2.1.4. Concreto endurecido .....	19
2.2.2. Cemento .....	21
2.2.2.1. Composición y reacciones químicas.....	21
2.2.2.2. Hidratación del cemento .....	25
2.2.2.3. Fraguado del cemento .....	31
2.2.3. Agregados .....	35
2.2.3.1. Función del agregado grueso (grava) en el concreto.....	35
2.2.3.2. Función de los agregados finos en el concreto.....	36
2.2.4. Agua.....	37
2.2.4.1. El agua de mezclado.....	37

2.2.4.2. Agua para curado. ....	38
2.2.4.3. Utilización de agua no potable. ....	39
2.2.5. Curado. ....	41
2.2.5.1. Efectos de la temperatura sobre la resistencia a compresión. ....	48
2.2.5.2. Requisitos de un buen curado ....	49
2.2.5.3. Métodos de curados del concreto de acuerdo a ACI 308-R. ....	50
2.2.5.4. Consecuencias de no realizar correctamente el curado de concreto. ....	59
2.2.6. Métodos de ensayo para determinación de resistencia de concreto. ....	61
2.2.6.1. Martillo Suizo (Esclerómetro). ....	61
2.2.6.2. Maquina Universal ....	64
2.2.7. Análisis estadístico. ....	67
2.2.7.1. Análisis de los resultados de resistencia ....	67
2.2.7.2. Experimentos factoriales. ....	72
2.2.7.3. Programa SPSS. ....	75
<b>3. CAPITULO III: METODOLOGÍA</b> .....	<b>83</b>
3.1. Ubicación del estudio. ....	83
3.2. Tipo de investigación. ....	83
3.3. Unidades de análisis. ....	83
3.4. Variables y medición. ....	84
3.4.1. Medición de variables. ....	84
3.4.1.1. Variables independientes. ....	84
3.4.1.2. Variable dependiente. ....	85
3.4.1.3. Constantes de experimentación. ....	85
3.5. Procesamiento y análisis. ....	85
3.5.1. Proceso de experimentación. ....	85
3.6. Procedimientos Secundarios ....	97
3.6.1. Realización de estudio de granulometría ....	97
3.6.2. Prueba de revenimiento. ....	97
3.6.3. Medición de la temperatura en campo. ....	97
3.6.4. Ensayo estándar para resistencia a compresión ....	97

3.6.5. Análisis de datos. ....	97
4.  CAPITULO IV PROCESO EXPERIMENTAL. ....	99
4.1. Proceso de experimentación.....	99
4.1.1. Elección del espacio.....	99
4.1.2. Preparación del terreno .....	101
4.1.3. Análisis de agregados.....	101
4.1.4. Elaboración de concreto.....	117
4.1.5. Exposición de cilindros a condiciones de campo.....	119
4.1.6. Traslado de cilindros .....	123
4.1.7. Ensayo de esclerometría en columnas.....	123
4.1.8. Esclerometría de cilindros.....	125
4.1.9. Ensayo de compresión a cilindros.....	125
4.2. Memoria de cálculo del proceso experimental.....	127
4.2.1 Granulometría de arena .....	127
4.2.2. Granulometría de grava.....	128
4.2.3. Densidad de los agregados .....	129
4.2.4. Densidad relativa (Gravedad Especifica).....	135
4.2.5. Diseño de mezcla de acuerdo a ACI 211-1 .....	138
4.3. Presentación de datos .....	145
4.3.4. Datos de condiciones medio ambientales durante el proceso de experimentación .....	146
5.  CAPITULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS. ....	149
5.1. Análisis de resultados de resistencias a compresión de los 4 tratamientos de curado.....	149
5.2. Registro del comportamiento de los resultados de resistencias a compresión....	152
5.3. Comparación de resultados de resistencias a compresión obtenidos por ensayos a compresión y esclerometría.....	157
5.4. Correlación de resultados de IR de esclerometría de cilindros y columnas.....	163
5.5. Tendencia de la evolución del concreto ensayado a distintas edades y comparación entre tratamientos. ....	167

5.6. Análisis estadístico de los resultados de resistencias a compresión obtenido por el ensayo de compresión mediante en software SPSS. ....	173
5.6.1. Procedimiento. ....	173
5.6.2 Resultado del análisis estadístico. ....	187
5.7 Comparación de Costo/Beneficio de los tratamientos de Aspersión y Membrana de Curado. ....	193
6. CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	194
6.1. Conclusiones. ....	194
6.2. Recomendaciones.....	196
BIBLIOGRAFIA .....	197
ANEXO.....	199

## **INDICE DE TABLAS.**

Tabla 2-1 Composición química del cemento.....	21
Tabla 2-2 Límites permisibles para el agua de mezcla. ....	38
Tabla 2-3 Requisitos mínimos del agua para curado. ....	39
Tabla 2-4 Factores de corrección para ensayos menores a 30. ....	71
Tabla 2-5 Compasión de un modelo factorial. ....	73
Tabla 2-6 Comparación de las distintas variables evaluadas. ....	74
Tabla 3-1 Formato de tabla para llevar un registro de IR en las columnas.....	90
Tabla 3-2 Formato de tabla para llevar registro del IR en cilindros. ....	91
Tabla 3-3 Formato propuesta para recopilación de datos para el ensayo a compresión. .	96
Tabla 4-1 Porcentaje de peso que pasa por cada tamiz de Arena. ....	127
Tabla 4-2 Porcentaje de peso que pasa por cada tamiz de Grava .....	128
Tabla 4-3 Datos de valor obtenidos en práctica de laboratorio para calcular la densidad de la arena. ....	131
Tabla 4-4 Datos de valor obtenidos en práctica de laboratorio para calcular la densidad relativa de la grava. ....	135
Tabla 4-5 Datos de valor obtenidos en práctica de laboratorio para calcular la densidad relativa de la arena. ....	136
Tabla 4-6 Datos requeridos para diseño de mezcla.....	138
Tabla 4-7 Revenimiento recomendados para diversos tipos de estructuras.....	139
Tabla 4-8 Requisitos aproximados para el contenido de agua de mezcla. ....	140
Tabla 4-9 Relación entre la resistencia a la compresión del concreto y la relación agua-cemento. ....	140
Tabla 4-10 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	141
Tabla 4-11 Cantidades totales para un metro cubico de concreto.....	143
Tabla 4-12 Nuevas cantidades en peso para un metro cúbico de concreto, por ajuste de humedad y absorción.....	144
Tabla 4-13 Cuadro resumen de los resultados de la resistencia a compresión en cilindros ensayado según ASTM C39.....	145

Tabla 4-14 Cuadro resumen de los resultados de la resistencia a compresión en columnas ensayado por esclerometría.....	145
Tabla 4-15 Cuadro resumen de los resultados de la resistencia a compresión en cilindros ensayado por esclerometría. ....	145
Tabla 4-16 Registro de variable ambientales consideradas durante periodo de experimentación. ....	146
Tabla 4-17 Registro de variable ambientales consideradas durante periodo de experimentación .....	147
Tabla 4-18 Cuadro resumen de promedio de las condiciones ambientales . ....	148
Tabla 5-1 Resistencia promedios de cada tratamiento a las 3 edades de ensayo. ....	149
Tabla 5-2 Comparación de resistencias obtenidas por ensayo a compresión vs esclerometría en cilindros. ....	157
Tabla 5-3 Resistencias promedios en cilindros y columnas con distintos tratamientos de curado.....	161
Tabla 5-4 Comparación de IR de cilindros vs columnas-Sin Curar. ....	163
Tabla 5-5 Comparación de IR de cilindros vs columna-Membrana de Curado.....	165
Tabla 5-6 Comparación de IR de cilindros vs columnas-Aspersión.....	166
Tabla 5-7 Cuadro resumen de cruce de diferencias. ....	171
Tabla 5-8 Presentación de cómo se ordenaron los datos para ingresarse al software SPSS.....	174
Tabla 5-9 Descripción de simbólico que corresponde a cada tratamiento en SPSS. ....	187
Tabla 5-10 Resumen de distribución de las muestras en tratamiento y edades .....	187
Tabla 5-11 Resultado de promedios y de desviación estándar para cada edad de cada tratamiento.....	188
Tabla 5-12 Cuadro de resultado de procedimiento factorial en el software SPSS.....	189
Tabla 5-13 Cuadro de resultado de procedimiento factorial en el software SPSS.....	190
Tabla 5-14 Resultados que determinan que tratamiento es más eficaz según sus resistencias obtenidas.....	191
Tabla 5-15 Resultados resistencias promedio según sus edades de ensayo.....	192

Tabla 5-16 Comparación de tratamientos de curado por su costo global y resistencia  
compresión final obtenida. .... 193

Tabla 5-17 Comparación de tratamientos de curado por su costo unitario..... 193

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Vista microscópica del Silicato Tricálcico Alita (C <sub>3</sub> S).	23
Figura 2-2 Vista microscopía de Silicato Bicalcico (C <sub>2</sub> S).	24
Figura 2-3 Microestructura de materiales base del cemento.	24
Figura 2-4 Modelo de microestructura de pasta de cemento hidratado	25
Figura 2-5 Esquema de hidratación de cemento sin y con puzolana	26
Figura 2-6 Aumento de volumen debido a la hidratación.	27
Figura 2-7 Microestructura del concreto antes de proceso de hidratación	28
Figura 2-8 Consumo de cemento no hidratado debido a la hidratación	28
Figura 2-9 Esquema de crecimiento de los productos de hidratación	30
Figura 2-10 Efectos de la relación a/c y la edad sobre la microestructura	30
Figura 2-11 Las cuatro fases en el fraguado y endurecimiento del cemento Portland	32
Figura 2-12 Esquema de tensiones de poros en el concreto	43
Figura 2-13 Pérdida de agua por evaporación y reducción de volumen	43
Figura 2-14 Método de curado por inmersión en pilas	52
Figura 2-15 Método de curado mediante riego o aspersión de agua.	53
Figura 2-16 Método de curado con sacos de yute en columnas.	54
Figura 2-17 Método de curado con tierra húmeda.	54
Figura 2-18 Método de curado con producto químico.	57
Figura 2-19 Método de curado con películas plásticas.	58
Figura 2-20 Método de curado con papel impermeable.	59
Figura 2-21 Esquema del Esclerómetro.	62
Figura 2-22 Aspecto que posee una máquina de ensayo a compresión.	65
Figura 3-1 Formato propuesto para realizar esclerometría en columnas.	89
Figura 3-2 Calendario de días que se harán bachadas, ensayo a compresión y esclerometría a cilindros y columnas.	93
Figura 4-1 Zona de experimentación	99
Figura 4-2 Terreno disponible en Campus Universitario	100
Figura 4-3 Vía de acceso a zona de experimentación	100

Figura 4-4 Cuarteo manual	101
Figura 4-5 Agregado fino en secado	102
Figura 4-6 Peso de muestra para granulometría de agregado fino	102
Figura 4-7 Colocación de muestra en tamices	103
Figura 4-8 Agregado fino en agitador mecánico.	103
Figura 4-9 Material retenido en tamices	104
Figura 4-10 Extracción de agregado fino saturado	105
Figura 4-11 Agregado fino en condición SSS	105
Figura 4-12 Peso muestra en condiciones SSS.	106
Figura 4-13 Cuarteo manual de agregado grueso.	107
Figura 4-14 Agregado grueso en horno.	107
Figura 4-15 Pesado de agregado grueso	108
Figura 4-16 Agregado grueso en tamices.	108
Figura 4-17 Mallas en agitador.	109
Figura 4-18 Material retenido en mallas.	110
Figura 4-19 Cuarteo de material.	110
Figura 4-20 Colocación de material en horno.	111
Figura 4-21 Extracción de agregado del horno	111
Figura 4-22 Varillado de agregado grueso.	112
Figura 4-23 Peso de recipiente con agregado grueso.	113
Figura 4-24 Pesado de material seco.	114
Figura 4-25 Agregado en condición SSS	114
Figura 4-26 Agregado pesado en condiciones SSS.	115
Figura 4-27 Pesado de material sumergido.	116
Figura 4-28 Acarreo de material.	117
Figura 4-29 Elaboración de concreto.	117
Figura 4-30 Revenimiento y medición de temperatura.	118
Figura 4-31 Aceitado de moldes y elaboración de cilindros	118
Figura 4-32 Cilindros expuestos a las condiciones ambientales de campo.	119

Figura 4-33 Cilindros sin curar expuestos al ambiente	119
Figura 4-34 Aplicación de membrana plástica y exposición al ambiente.	120
Figura 4-35 Cilindros curado por riego periódico.	121
Figura 4-36 Cilindros curados en pilas con temperatura controlada	121
Figura 4-37 Encofrado y terminado de columna.	122
Figura 4-38 Columna aplicados los tratamientos de sin curar, membrana plástica y riego periódico.	122
Figura 4-39 Cara 2 y cara 4 de columna con áreas asignadas aleatoriamente.	123
Figura 4-40 Martillo suizo.	124
Figura 4-41 Ensayo de esclerometría.	124
Figura 4-42 Ensayo de esclerometría en cilindros.	125
Figura 4-43 Ensayo a compresión de cilindros.	126
Figura 5-1 Interfaz del software SPSS.	175
Figura 5-2 Interfaz del software SPSS.	176
Figura 5-3 Interfaz del software SPSS.	177
Figura 5-4 Interfaz del software SPSS.	177
Figura 5-5 Interfaz del software SPSS.	178
Figura 5-6 Interfaz del software SPSS.	179
Figura 5-7 Interfaz del software SPSS.	179
Figura 5-8 Interfaz del software SPSS.	180
Figura 5-9 Interfaz del software SPSS.	180
Figura 5-10 Interfaz del software SPSS.	181
Figura 5-11 Interfaz del software SPSS.	182
Figura 5-12 Interfaz del software SPSS.	183
Figura 5-13 Interfaz del software SPSS.	183
Figura 5-14 Interfaz del software SPSS.	184
Figura 5-15 Interfaz del software SPSS.	185
Figura 5-16 Interfaz del software SPSS.	185

## INDICE DE GRAFICOS

Grafico 2-1 Evolución de resistencia de los componentes químicos del cemento respecto al tiempo.....	22
Grafico 2-2 Representación de las Etapas de hidratación del cemento .....	33
Grafico 2-3 Efectos de la humedad sobre la hidratación. ....	44
Grafico 2-4 Relación poros grandes y HR .....	44
Grafico 2-5 Relación poros pequeños y HR .....	45
Grafico 2-6 Porosidad vs Resistencia .....	46
Grafico 2-7 Días de curado y porosidad .....	47
Grafico 2-8 Productos de hidratación y porosidad.....	48
Grafico 2-9 Resistencia a compresión del concreto a diversas temperaturas .....	49
Grafico 4-1 Curva granulométrica de agregado fino (Arena).....	127
Grafico 4-2 Curva granulométrica de agregado grueso (Grava).....	128
Grafico 5-1 Comportamiento de la ganancia de resistencia del concreto curado con distintos tratamientos .....	150
Grafico 5-2 Carta de control de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 3 días. ....	153
Grafico 5-3 Carta de control de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 3 días .....	154
Grafico 5-4 Carta de control de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 3 días .....	155
Grafico 5-5 Resistencia a compresión vs resistencia a la compresión de esclerometría-Sin Curar. ....	159
Grafico 5-6 Resistencia a compresión vs resistencia a la compresión de esclerometría-Membrana de Curado.....	159
Grafico 5-7 Resistencia a compresión vs resistencia a la compresión de esclerometría-Aspersión. ....	160
Grafico 5-8 Resistencia obtenida en cilindros y columnas por ensayos a compresión y esclerometría-Sin Curar. ....	161

Grafico 5-9 Resistencia obtenida en cilindros y columnas por ensayos a compresión y esclerometría-Membrana de Curado. ....	162
Grafico 5-10 Resistencia obtenida en cilindros y columnas por ensayos a compresión y esclerometría-Aspersión.....	162
Grafico 5-11 Comparación de IR de esclerometría en cilindros vs columnas-Sin Curar. ....	164
Grafico 5-12 Comparación de IR de esclerometría en cilindros vs columnas-Membrana de Curado. ....	165
Grafico 5-13 Comparación de IR de esclerometría en cilindros vs columnas-Aspersión. ....	166
Grafico 5-14 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo-ASTM C192 (Condiciones controladas).....	167
Grafico 5-15 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo-Membrana de Curado.....	168
Grafico 5-16 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo-Aspersión .....	169
Grafico 5-17 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo- Sin curar.....	170

## **INTRODUCCIÓN.**

Esta investigación está enmarcada en la comparación de la resistencia del concreto obtenida mediante diversos tratamientos de curado aplicados en el proceso de curado y campo y la norma ASTM C192 solamente para concreto que a sido diseñado para lograr una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , la que se define como la capacidad que tiene este de soportar dicha carga especificada entendiendo que esto es un factor que determina la seguridad y estabilidad de una estructura de concreto armado.

La característica principal del concreto es que este material es la mezcla resultante de arena y grava conocidos como agregados finos y gruesos respectivamente, también, agua y cemento que componen la pasta que es la responsable de dar cohesión a todos los agregados. La resistencia a compresión es la característica más destacada del concreto, es decir que este material responde de manera cuando se ve sometido a esfuerzo de compresión que ha otros esfuerzos tales como de tensión o corte, por ello este material se dispone y se coloca de tal manera que absorba o resista los esfuerzos de compresión que resultan de una estructura debido a su peso propio y el peso de los ocupantes que pueden ser mobiliario, maquinaria, personas etc.

Se decidió realizar esta investigación con el interés de comprender el comportamiento de la ganancia de resistencia por el concreto expuesto a diversos tratamientos que son utilizados normalmente en las construcciones en nuestro país y compararlo con el comportamiento presentado por un concreto que ha sido curado en condiciones óptimas y que no presentan factores que afecten negativamente la resistencia del concreto, esto con el fin de determinar mediante la experimentación si los procedimientos de curado que se usan en la construcción logran que el concreto alcance la resistencia a compresión esperada y poder así reducir los márgenes de incerteza que pueden estarse dando actualmente en ese procedimiento en específico. Lo cual puede afectar la seguridad y estabilidad de una estructura, por lo tanto, se busca proveer el conocimiento necesario para estimar de una manera más eficaz que el concreto colado en campo logra la

resistencia deseada y sumar así a la seguridad de las estructuras construidas y la eficacia del proceso de curado realizado en las construcciones.

La problemática fue abordada mediante un proceso de experimentación que incluía concreto elaborado bajo las mismas condiciones y materiales tratado mediante de diversas maneras, las cuales eran: curado por aspersión, membrana de curado, sin curar y curado mediante la norma ASTM C192. Se elaboraron 45 cilindros por cada tratamiento y se ensayaron a tres edades distintas las cuales eran 3,14 y 28 días, asignando 15 cilindros a cada una de estas edades. Los cilindros fueron sometidos al ensayo de compresión tomando en cuenta que todos los ensayos fueron realizados en la misma máquina para evitar así variantes indeseadas. Habiendo obtenido los datos se procedió al análisis el cual consistió en una tabulación total de los 180 datos y la traficación de los promedios de cada edad a la cual se ensayó obteniendo una curva de comportamiento. Así mismo se trataron los datos estadísticamente mediante un modelo factorial 4x3 para determinar las diferencias entre los diversos tratamientos.

También para profundizar y volver las condiciones del experimento aún más semejantes a las reales de la construcción se elaboraron columnas y se ensayaron mediante un esclerómetro que correlaciona la dureza superficial del concreto con la resistencia a compresión, de esta manera se realizó una correlación entre la resistencia de los cilindros y la resistencia de las columnas.

El objetivo de todo ello es analizar la problemática bajo las mismas circunstancias y poder determinar así las diferencias reales existentes.

El capítulo I muestra el planteamiento del problema el cual presenta las diversas variantes que existen actualmente en el proceso de curado en campo y que generan incertezas con respecto a la efectividad del mismo en el contexto de realización de la construcción específicamente en San Miguel.

El capítulo II presenta el contexto teórico en el cual está enmarcada la problemática, tomando en cuenta los estudios anteriormente realizados con respecto a problemas semejantes.

En el capítulo III se muestra la metodología utilizada para la investigación, especificando los procedimientos a seguir en el proceso de experimentación.

En el capítulo IV se muestra el proceso experimental, detallando cada uno de los pasos realizados y los procedimientos que se llevaron a cabo para estudiar la problemática.

El capítulo V muestra la interpretación de los datos, donde se muestra la totalidad de los datos obtenidos y el manejo estadístico dado a cada grupo.

En el capítulo VI se muestran las conclusiones y recomendaciones resultantes de la investigación a partir de todos los resultados obtenidos.

Siendo este el total de contenido de la presente investigación realizada.

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

## **1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.1. Descripción del problema**

Los procesos constructivos requeridos para la realización de una obra civil son diversos, dentro de los cuales uno de los principales es la elaboración y curado de concreto, este al igual que los demás procesos son afectables por el medio en el cual son realizados; el calor es un factor imposible de obviar cuando se habla de las condiciones climáticas en San Miguel ya que es una de las regiones que registra las más altas temperaturas en El Salvador, lo cual condiciona los procesos de curado de forma directa.

Los procesos de curado utilizados en campo generalmente son aplicados de forma similar en todo El Salvador, tales procedimientos se han venido realizando de la misma manera por varios años sin sufrir grandes cambios aun sin estar comprobada la efectividad de los mismos para las condiciones ambientales dadas específicamente en la zona oriental, debido al largo tiempo de uso de estos procedimientos se siguen trasladando a nuevas generaciones de forma empírica y poca explicativa, la procedencia de los criterios tomados en cuenta para establecer estos procedimientos es dudosa y muchas veces poco respaldada.

En el país existe una gran cantidad de obras en proceso y ya realizadas dentro de las cuales no existe o existió un verdadero control de calidad mucho menos requerimientos de ensayos que comprueben que la resistencia a compresión requerida por parte del concreto se ha logrado a cabalidad en la totalidad de elementos estructurales de la estructura para poder ponerla en servicio, por lo cual existe un gran margen fuera de lo normado donde cabe la aplicación de procedimientos informales que no poseen comprobación de efectividad.

Los tratamientos al concreto en proceso de curado son diversos, los más comunes en las obras informales son el curado por aspersión, membrana de curado<sup>1</sup> y en un gran porcentaje de casos no se cura, también en muchas ocasiones se hace el desencofrado o

---

<sup>1</sup> Nombre designado por el Comité ACI 308.

cargado de las estructuras cuando no se cuenta aún con la resistencia suficiente en los elementos recién colados, esto está relacionado con la resistencia que obtiene el concreto para las diferentes edades lo cual es consecuente con el método de curado utilizado.

No existe un conocimiento de las variaciones o diferencias presentadas por la resistencia a compresión dependiente de la aplicación de los diferentes métodos de curado, tampoco una correlación que permita conocer la resistencia obtenida en el tiempo dependiendo el tratamiento de curado que se está utilizando.

El concreto es un material que se usa en obra y se dispone de tal manera que absorba todos los esfuerzos a compresión existentes en la estructura, por lo tanto debe garantizarse que el concreto está logrando tal capacidad mecánica de manera que pueda soportar las cargas existente, de lo contrario podrían generarse daños en la estructura como aplastamiento de zona de compresión en columnas debido a deficiencias en la resistencia del concreto.

## **1.2 Justificación.**

La informalidad y poca información científica comprobada de algunos procedimientos de curado de concreto aplicados comúnmente en la construcción de infraestructuras realizadas en diversas condiciones ambientales, permite deducir que existe una falsa confianza en los mismos, proveniente de conocimientos empíricos que no poseen los criterios o el respaldo técnico suficiente para basar en ellos la metodología de curado utilizada en un proyecto de construcción.

No existe una comprobación real de la resistencia a compresión obtenida por el concreto mediante la aplicación de los métodos de curado más comunes utilizados en obra específicamente en San Miguel, siendo esta una de las zonas geográficas que presenta las más altas temperaturas en el territorio salvadoreño. Esto debería condicionar la forma de aplicación de los métodos de curado utilizados, ya que las condiciones ambientales presentadas potencian la pérdida de humedad de una estructura de concreto recién colada, lo cual afecta directamente la resistencia a compresión que puede alcanzar el elemento.

Si bien el concreto es un material que está afectado por muchas variables, la resolución de las características mecánicas de este material depende en su gran mayoría de la humedad que se proporcione a éste en su proceso de endurecimiento, es decir que puede elaborarse una mezcla con materiales de características ideales y con potencial de resistencia muy alto y no lograr la resistencia potencial del material debido a que no se logra brindar las condiciones de humedad que químicamente el cemento requiere para conseguir formar una microestructura eficiente, la cual sería aquella que adquiere una adherencia ideal con los agregados y posea un bajo porcentaje de poros, ambas características potencian la resistencia del concreto.

Existen también conjeturas sobre la utilidad del curado, dudando que realmente este tenga afectación sobre la resistencia que un elemento estructural puede alcanzar, debido a esto en muchos casos se subestima esta tarea y se asume que el concreto no pierde un porcentaje significativo de resistencia al no aplicarse ningún procedimiento de curado.

Dichas conjeturas no están respaldadas científicamente para las condiciones presentadas en San Miguel razón por la que se vuelve de gran importancia estandarizar el conocimiento de esta área, comprobando en base a la experimentación cuánto puede afectar a la resistencia final del concreto el hecho de omitir la tarea del curado, tomando en cuenta todas las condiciones ambientales presentadas en la zona de experimentación; y concluir en base a los resultados obtenidos si podría en realidad omitirse esta tarea sin afectar significativamente las resistencias a compresión del concreto.

La eficiencia y exactitud en la industria de la construcción es valiosa debido a la gran cantidad de recursos que se utilizan en ella. Un amplio conocimiento de los materiales y su comportamiento en diversas condiciones es conveniente ya que conlleva a una administración eficaz de los recursos y materiales empleados en un proyecto de construcción. El estudio y profundización del comportamiento mostrado por el concreto en las condiciones ambientales presentadas en San Miguel y curado mediante procedimientos que son aplicables en condiciones de obra generara un aporte de aplicación práctica en el ajuste de los procedimiento de curado y la utilización de los materiales para lograr un concreto de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  realizando para ello un proceso de experimentación que genere respuestas estadísticamente representativas, creando fórmulas matemáticas que describan los diversos comportamientos presentados, brindando así una forma de evaluación, interpretación y estimación de la resistencia a compresión obtenida por el concreto, no solamente en condiciones controladas sino en las condiciones que pueden presentarse en una construcción realizada en San Miguel tomando en cuenta también la variabilidad que puede existir dependiendo del método de curado utilizado, ya sea este por aspersion o membrana de curado donde ambos son aplicables en condiciones de obra, destacando que no existe en la actualidad una fórmula matemática útil para estimar la resistencia a compresión que logra el concreto en las condiciones ambientales en San Miguel y que incluya en ella las variables de edad del concreto y método de curado de utilizado.

La deducción y creación de un modelo matemático que permita estimar con anticipación el comportamiento del concreto en obra según las acciones de curado que habrán de emplearse y las condiciones climáticas, será de gran utilidad para reducir las inconsistencias que pueden estarse dando en el medio de la construcción en la actualidad con respecto a esta temática y entender así con mayor certeza y seguridad aportada por la comprobación experimental el comportamiento de un material tan utilizado y de gran demanda como lo es el concreto.

### **1.3. Enunciado del problema.**

¿Son efectivos los tratamientos comunes aplicados al concreto para propósito estructural hecho en campo con cemento tipo GU en proceso de curado en campo para lograr una resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ ?

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

- ✓ Determinar si los tratamientos de curado evaluados para condiciones de obra, logran que el concreto obtenga la resistencia a compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- ✓ Determinar la variabilidad de la resistencia a compresión presentada por el concreto tratado en su tiempo de endurecimiento según los procedimientos evaluados aplicables en obra y el estándar ASTM C192/C192M, para obtener un concreto de resistencia  $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Generar gráficos de los resultados de la resistencia a compresión obtenida por los tres tratamientos evaluados en condiciones de obra a los 3,14 y 28 días de tal manera que puedan generarse ecuaciones a partir de las curvas de resistencia-tiempo.
- ✓ Estimar la resistencia a compresión obtenida por las columnas afectadas por las condiciones de obra y los tratamientos estudiados, a partir del índice de rebote obtenido mediante el ensayo de esclerómetro de acuerdo al estándar ASTM C805.

## **1.5. Alcances y limitaciones.**

### **1.5.1. Alcances.**

- Se realizaron 180 especímenes cilíndricos de seis pulgadas de diámetro por doce de altura, de los cuales un número de 135 probetas será dividido en tres grupos y sometidos cada grupo de 45 cilindros a uno de los tres tratamientos evaluados en campo, los 45 restantes serán tratados conforme a lo dispuesto por el estándar ASTM C192/C192M, cada tratamiento evaluado arrojará 15 datos por cada edad de ensayo, las cuales son 3, 14 y 28 días.
- Se construyeron tres columnas que permanecerán en campo, sometiendo así un elemento a cada tratamiento evaluado respectivamente (aspersión, membrana de curado y sin curar) para luego realizar ensayos de esclerometría a las edades de 3, 14 y 28 días distribuidos de forma aleatoria en la superficie del ejemplar.
- La realización de ensayos a los agregados finos y gruesos obteniendo específicamente de ambos la curva granulométrica y gravedad específica, también, del agregado fino su módulo de finura y del agregado grueso su tamaño máximo nominal y su peso unitario suelto y compactado de manera que sea posible realizar el diseño de mezcla para un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  conforme al procedimiento ACI 211-1.
- Se registró la resistencia a compresión mediante cartas de control para la comparación de la resistencia esperada contra la resistencia obtenida a las edades de 3, 14 y 28 días.

### **1.5.2 limitaciones.**

- Solo fueron analizados dos métodos de curado que son aplicados en campo.
- Las ecuaciones obtenidas solamente son aplicables para los métodos de curado analizados.
- Solamente se analizó una propiedad mecánica del concreto, como lo es su resistencia a compresión.
- No se hizo ningún estudio en el agua utilizada para curar y elaborar el concreto, solamente se hará una evaluación visual para verificar que no contenga materia orgánica o algún otro agente que no convenga incluir en la mezcla.
- Solamente se trabajó con proporción de mezcla para  $f'c = 210 \text{kg/cm}^2$
- Los estudios estuvieron enfocados solamente a elementos estructurales verticales (columnas).
- Se analizaron solamente especímenes en las condiciones dadas en San Miguel específicamente en Cantón el Jute.

## **1.6. Delimitación del problema**

El problema de incertidumbres y poco estudio científico de los métodos de curado aplicados en campo afecta a una gran cantidad de estructuras desde las que se realizan de una manera formal y aún más las que se realizan de manera informal, la problemática será observada en las condiciones ambiente presentadas en San Miguel específicamente en la época de verano que corresponde al primer semestre del año , en este tiempo se presenta pocas o nulas precipitaciones de lluvia y se registran las temperaturas más altas a lo largo del año, se ubica la problemática en este lapso debido a que es el momento en donde se generan las condiciones ambiente menos óptimas para el curado de concreto. Para conocer y lograr describir las variables que surgen dentro de este fenómeno se analizaran especímenes que han sido afectados por las condiciones mencionadas, de manera que pueda deducirse las características de la problemática y especialmente las deficiencias existentes en los procedimientos que aplican las diferentes técnicas de curado en campo.

### **1.7. Hipótesis.**

- El concreto colado en condiciones de campo logra una resistencia a compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  mediante la aplicación de curado por aspersión.
- El concreto colado en condiciones de campo logra una resistencia a compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  mediante la aplicación de curado por membrana de curado.
- El concreto colado en condiciones de campo no logra una resistencia a compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  cuando no se aplica ningún tratamiento de curado.
- Los resultados de resistencia obtenidos por los cilindros curados en laboratorio serán superiores a los arrojados por los cilindros curados en campo.
- La resistencia de los cilindros sin curar en condiciones de obra disminuirá entre un 25% y 50% con respecto a los que si se cura.

## **CAPITULO II. MARCO TEORICO.**

## 2. CAPITULO II. MARCO TEORICO.

### 2.1. Marco Normativo.

Normativa	DESCRIPCION
ACI 308. Practica estándar para el curado del concreto	Describe las prácticas que se deben llevar a cabo en el curado del concreto. Puesto que este material se emplea para muchos fines y en condiciones de servicio con variaciones muy amplias, se proporcionan los requisitos del curado de acuerdo con los métodos y materiales adecuados, método de construcción y empleo que se dará al concreto ya endurecido.
ACI 211. Practica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo	Describe métodos para seleccionar proporciones para concreto de cemento hidráulico hechos con o sin aditivos u otros materiales cementantes. Estos métodos proveen una primera aproximación de proporciones para revisarlas con mezclas de prueba en el laboratorio o en el campo y ajustarlas, si es necesario, para producir las características deseables del concreto.
ACI 214RS-11. Practica recomendada para la evaluación de resultados de ensayos a compresión de concreto en el campo	Proporciona una introducción a la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto. Los procedimientos descritos se aplican a los resultados de ensayos de resistencia a la compresión que requieren ACI 301, ACI 318, especificaciones y reglamentos similares. Los conceptos estadísticos que se describen son aplicables al análisis de otros resultados de ensayos comunes del concreto, que incluyen la resistencia a la flexión, el asentamiento, el contenido de aire, la densidad, el módulo de elasticidad, y demás ensayos que se usan para evaluar el concreto y sus componentes. La presente guía supone que los resultados de los ensayos al concreto se ajustan a una

	distribución normal.
ASTM 192/192M. Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio	Provee los requisitos normalizados para la preparación de los materiales, la mezcla del concreto, y la preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo bajo condiciones de laboratorio.
ASTM C33. Especificación Normalizada para Agregados para Concreto	Se define los requisitos para granulometría y calidad de agregado fino y grueso para utilizar en concreto.
ASTM C 39 Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto	El ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados.
ASTM C 31. Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra	Detalla los procedimientos para preparar y curar especímenes cilíndricos y de viga de muestras representativas de concreto fresco para un proyecto de construcción. En la cual los cilindros estarán expuestos en las mismas condiciones del elemento a curar para así tener un conocimiento aproximado de la resistencia de dicho elemento.

<p>ASTM C 805. Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido (sinónimo NTC 3692)</p>	<p>Consiste en la determinación del número de rebote del concreto Mediante el cual se puede obtener un valor aproximado de la resistencia a compresión del concreto utilizando una gráfica en la cual se introduce el número de rebotes obtenidos</p>
<p>ASTM C127. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos</p>	<p>Este ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (que no incluye el volumen de los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos. Dependiendo del procedimiento seguido, la densidad (kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)) se expresa como condición de secado en horno (OD, por sus siglas en inglés), condición de saturado superficialmente seco (SSD, por sus siglas en inglés), o como densidad aparente. De igual forma, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, se expresa como OD, SSD o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad OD y la densidad relativa OD se determinan después de secar el agregado. La densidad SSD, la densidad relativa SSD y la absorción se determinan después de remojar el agregado en agua durante un período previamente establecido.</p>
<p>ASTM C128. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos</p>	<p>Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de los vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos. Dependiendo del procedimiento seguido, la densidad (kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)) se expresa como condición de secado en horno (OD, por sus siglas en inglés), condición de saturado superficialmente seco (SSD, por sus siglas en</p>

	<p>inglés), o como densidad aparente. De la misma manera, la densidad relativa (gravedad específica), una calidad adimensional, se expresa como OD, SSD o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad OD y la densidad relativa OD se determinan después de secar el agregado. La densidad SSD, la densidad relativa SSD y la absorción se determinan después de remojar el agregado en agua durante un período previamente establecido.</p>
<p>ASTM C 702. Reducción de las muestras de agregado a tamaño de prueba</p>	<p>Describe tres métodos para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado para la prueba empleando técnicas que están encaminadas a minimizar las variaciones en características mensurables entre la muestra seleccionada para ensayo y la muestra total.</p>

Tesis consultada	RESUMEN
Análisis y comparación de diferentes métodos de curado para elaborar concreto con resistencia $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> en Arequipa”	En esta investigación se realizó diferentes ensayos con dos métodos distintos de diseño de mezclas y con tres tipos de cementos comerciales para poder identificar cual método de curado es más eficaz para las diferentes variables. Siendo estudiados los siguientes métodos de curados los cuales son por inmersión, rociado de niebla, con costales de yute y sin aplicarle ningún tratamiento de curado
Influencia del curado en la resistencia a la compresión del concreto preparado con cemento portland tipo i y cemento puzolánico tipo IP en la ciudad de Abancay – Apurimac	El presente proyecto de investigación tiene por objetivo demostrar la influencia que tiene el curado en el concreto para lo cual se sometieron a tres condiciones diferentes (sumergido completamente ASTM C31, curado por norma ASTM C150 y ASTM C525, muestra sometida a la intemperie); así mismo se realizaron ensayos a compresión para poder determinar las variaciones de cada método de curado estudiado
Estudio de las propiedades del concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> aplicado a condiciones simuladas de curado en obra, en la ciudad de Arequipa, con cemento Portland tipo IP	En la presente tesis se realizará un estudio comparativo, de las metodologías de curado con mayor incidencia aplicadas en obra en la ciudad de Arequipa, a través de simulaciones sobre especímenes de columna, de dimensiones 0.15x0.15x0.50 m. Sobre dichos especímenes, se aplicarán las diferentes metodologías de curado, para posteriormente proceder con la extracción de los testigos diamantinos a los 7,14 y 28 días. La finalidad de la presente tesis es determinar cuál de las metodologías de curado planteadas, específicamente para la ciudad de Arequipa en el mes de marzo, es la más eficiente en términos de sus propiedades mecánicas, costo y tiempo.

## **2.2. Marco referencial.**

### **2.2.1. Concreto.**

El concreto es un material durable y resistente, pero dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es el material de construcción más utilizado. El concreto hidráulico es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena y grava y los algunos casos aditivos. Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una mezcla de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- La calidad propia de los agregados.
- La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

#### **2.2.1.1. Características mecánicas del concreto.**

La principal característica estructural del concreto es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura) sobre probetas de concreto.

Los intentos de compensar las deficiencias del concreto a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del concreto armado. Para superar este inconveniente, se "arma" el concreto introduciendo barras de acero, conocido como concreto armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero. Es usual, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de los pilares. Así, introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el concreto, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos. Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia, lenta anularía las ventajas del pretensado. Posteriormente se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del concreto de la pieza estructural, desarrollándose las técnicas del concreto pretensado y el concreto pos tensado.

Los aditivos permiten obtener hormigones de alta resistencia; la inclusión de monómeros y adiciones para concreto aportan múltiples mejoras en las propiedades del concreto.

Cuando se proyecta un elemento de concreto armado se establecen las dimensiones, el tipo de concreto, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función los esfuerzos que deberá resistir cada elemento. Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del concreto un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

#### **2.2.1.4. Concreto endurecido**

##### **Propiedades físicas y comportamiento**

##### **Resistencia**

El concreto como material estructural se diseña para que tenga una determinada resistencia. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto y se utiliza normalmente para juzgar su calidad. Sin embargo cuando se diseñan pavimentos rígidos y otras losas que se construyen sobre el terreno, el concreto se diseña para que resista esfuerzos de flexión.

Se ha establecido una correlación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión en un determinado concreto. Determinado que la resistencia a flexión corresponde aproximadamente al 10% de la resistencia a compresión.

Los factores que afectan la resistencia del concreto se pueden dividir en dos. Los primeros tienen que ver con la calidad y cantidad de elementos constitutivos del concreto: agregados, cemento y agua y los segundos a la calidad del proceso del concreto: mezclado, transporte, colocación, compactación y curado; la resistencia está en relación directa con este proceso. En cuanto a la calidad y cantidad de los elementos constitutivos del concreto mencionaremos los siguientes:

- **Contenido del cemento:** Las características del cemento empleado en la mezcla de concreto tiene una gran incidencia en la resistencia del concreto, pues es el elemento más activo de la mezcla. Aunque todos los cementos tienen una buena calidad el incremento de la resistencia con la edad no es el mismo, algunos cementos aumentan su resistencia más rápidamente a edades tempranas.

La cantidad de cemento en la mezcla, es decir su proporción, es decisiva en la resistencia, a medida que se aumenta la cantidad de cementos aumenta la resistencia, sin embargo, mezclas en un alto contenido de cemento (por encima de 470 kg por m<sup>3</sup> de concreto) tienen un retroceso en su resistencia especialmente cuando tienen tamaños

máximos muy grandes. Además, se presenta una contracción en la pasta de cemento al pasar del estado plástico al estado endurecido.

• **Relación agua-cemento.** La relación agua-cemento (A/C) es el factor más importante en la resistencia del concreto. Una determinada relación agua-cemento produce distintas resistencias de acuerdo al tipo de agregado utilizado y al tipo de cemento.

• **Influencia de los agregados.** La calidad de los agregados es un factor determinante de la resistencia del concreto, las propiedades de los agregados que más influyen en ella son:

-Tamaño máximo del agregado grueso.

- La granulometría, materiales bien gradados, producen una mayor densidad.

- La forma y la textura de los agregados que especialmente inciden en la resistencia a la flexión.

- La resistencia y rigidez de las partículas del agregado.

## 2.2.2. Cemento

### 2.2.2.1. Composición y reacciones químicas.

La palabra cemento se emplea para designar a toda sustancia que posea condiciones de pegante cualquiera sea su origen. El cemento Portland se define, como el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso.

#### Composición química del cemento.

El cemento Portland no es un compuesto puro, porque no se le puede asignar una fórmula química exacta; sin embargo, al estar constituido por cierto número de elementos conocidos, que al combinarse entre sí, lo hacen según las leyes ponderales de la química pura, deducir a partir de su composición elemental toda una serie de relaciones estequiométricas<sup>2</sup> que permiten entender, modificar y controlar sus propiedades tanto durante el proceso de fabricación como al emplearlo como material de construcción. Químicamente se define el cemento portland como una mezcla de composición heterogénea, finamente pulverizada, cuyos componentes esenciales son:

**Tabla 2-1 Composición química del cemento.**

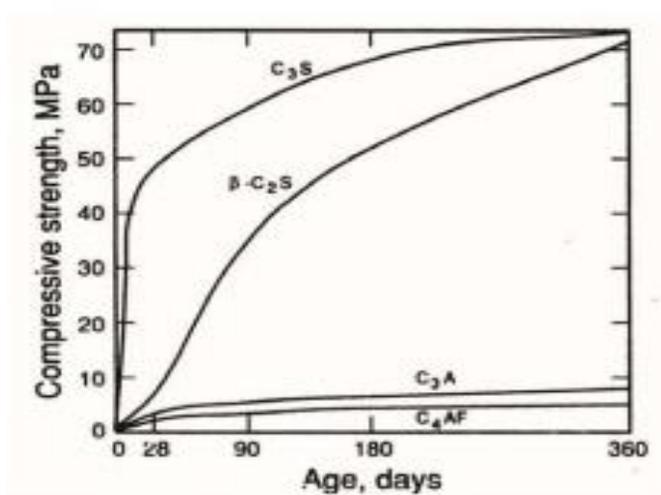
NOMBRE DEL COMPUESTO	DEL	FORMULA QUIMICA	ABREVIATURA
A. Silicato tricálcico		$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
B. Silicato dicalcico		$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
C. Aluminato tricálcico		$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
D. Ferroatuminato tetracálcico		$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$
E. Yeso natural		$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
F. Óxidos menores			

**Fuente:** Tecnología del Concreto, Adam M. Neville.

<sup>2</sup> Es cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química.

El análisis químico de esta mezcla heterogénea debe indicar una composición determinada, la cual se compara con las normas establecidas. La norma NTC 321 establece los requisitos químicos que debe cumplir cada tipo de cemento, y la norma NTC 121 indica sus especificaciones físicas respectivamente.

**Grafico 2-1 Evolución de resistencia de los componentes químicos del cemento respecto al tiempo.**



Casi tres cuartas partes del cemento están formadas por silicatos. En la figura se muestra la ganancia de resistencia a compresión en función del tiempo de los cuatro componentes mayoritarios del cemento portland.

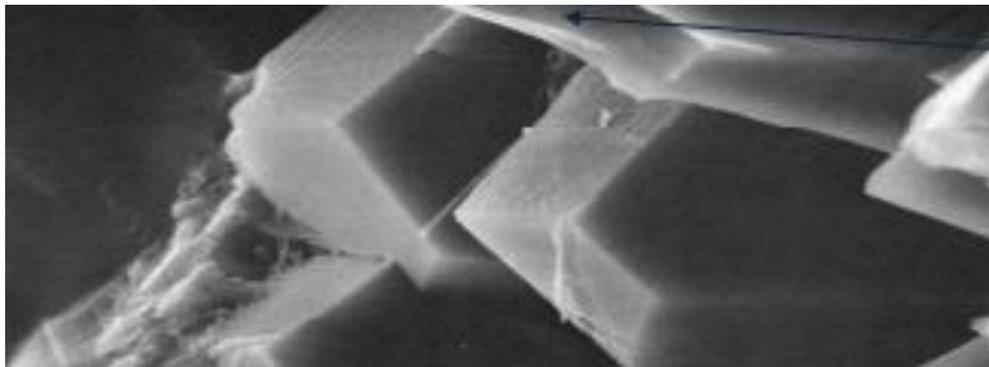
La velocidad de hidratación está directamente relacionada con el aporte de resistencia mecánica del material. El C<sub>3</sub>S es la fase que más influye en el aporte de la resistencia, seguido por el C<sub>2</sub>S que, aunque posee una menor velocidad de hidratación, adquiere resistencias muy similares. Esto se debe a que ambos componentes intervienen en la formación de silicatos cálcicos hidratados (CSH) o matriz de gel CSH, que es el principal responsable del aporte de resistencia, los aluminatos contribuyen en menor medida a la resistencia, siendo el C<sub>4</sub>AF el que menos aporte tiene.

En lo que se refiere a las reacciones químicas que tiene lugar durante la hidratación de cada una de las fases mayoritarias del cemento, existen diferentes interpretaciones sobre la estequiometría de estas y sobre los productos de hidratación formados.

### **Silicato tricálcico Alita (C<sub>3</sub>S)**

El silicato tricálcico es un compuesto que se presenta en fase sólida formando una red cristalina con impurezas en forma de sustituciones por iones de magnesio, hierro y aluminio, razón por la que recibe el nombre de alita. Reacciona mediante un proceso exotérmico que se caracteriza por poseer un alto calor de hidratación (120 cal/g) y una velocidad de hidratación rápida, lo que se traduce en altas resistencias mecánicas a edades cortas.

El contenido aproximado de alita es del 50% por lo que su comportamiento determina en gran medida la dinámica de hidratación del cemento. Los productos de hidratación son el gel CSH y la portlandita (CH).

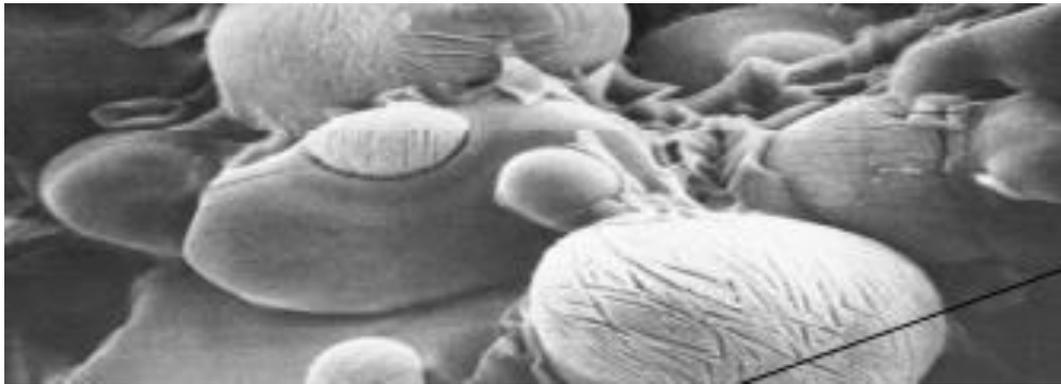


**Figura 2-1 Vista microscópica del Silicato Tricálcico Alita (C<sub>3</sub>S).**

### **Silicato bicalcico. Belita (C<sub>2</sub>S)**

El silicato bicalcico suele contener iones de magnesio, aluminio y óxido de potasio por lo que recibe el nombre de Belita. Se caracteriza por poseer un calor de hidratación bajo (62 cal/g) y una velocidad de hidratación lenta, presenta buenas resistencias mecánicas a largo plazo.

Su contenido porcentual en el cemento esta entorno al 25%. Los productos de hidratación son, al igual que en el caso del  $C_3S$ , el gel CSH y el CH, aunque el aporte de CSH para una misma cantidad de agua es menor que para el  $C_3S$ .



**Figura 2-2 Vista microscopia de Silicato Bicalcico ( $C_2S$ ).**



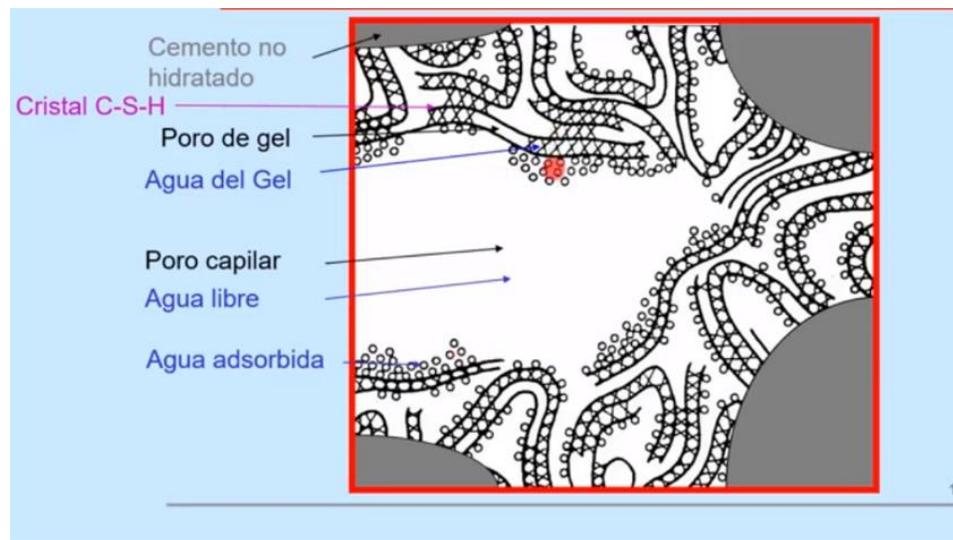
**Figura 2-3 Microestructura de materiales base del cemento.**

### 2.2.2.2. Hidratación del cemento

El agua en el cemento hidratado se encuentra en tres formas. Una que esta químicamente combinada, es el agua de hidratación de los compuestos y forma parte de la composición molecular de ello; otra es el agua que se encuentra en los capilares o poros y la otra es el agua del gel o agua absorbida.

En los cementos portland el agua químicamente combinada después de la hidratación completa es aproximadamente un 25% y la superficie específica<sup>3</sup> pasa de 3000 a 2000000 cm<sup>2</sup>/g. El incremento del área superficial por agua combinada en el gel es una de las razones que permite explicar el incremento de resistencia.

El valor máximo para el agua combinada teóricamente es del orden de 28 + 1% el peso del cemento. Este valor se reduce al combinarse a un 25% y el agua del gel representa un 15%. El agua capilar depende de la solución agua-cemento empleada.



**Figura 2-4 Modelo de microestructura de pasta de cemento hidratado**

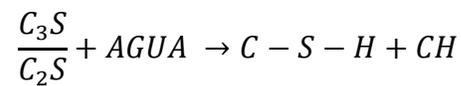
**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

El agua en desaparecer primero al producirse un proceso de evaporación en el concreto es el agua libre, luego le sigue el agua absorbida por los poros y posteriormente el agua

<sup>3</sup> Es una medida aplicada a solidos con granos o partículas, es el área de superficie por unidad de masa.

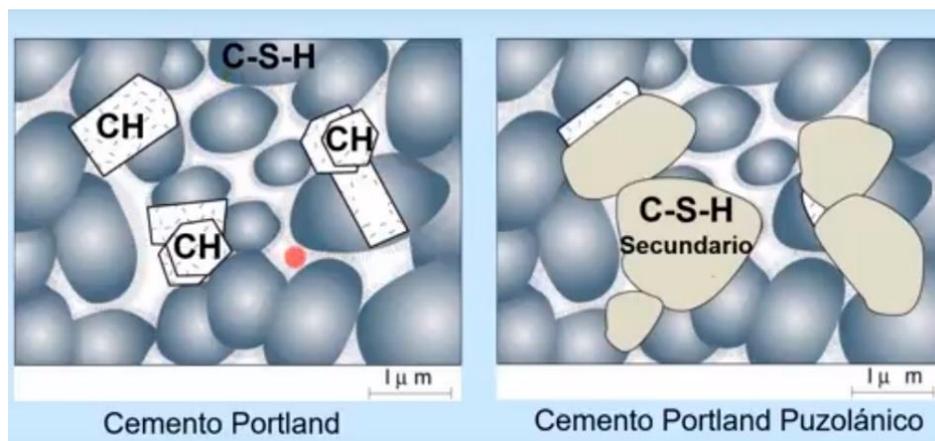
del gel que está vinculada físicamente con el CSH, pausando así la creación de nuevos productos de hidratación.

La velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento aumenta con la temperatura; sin embargo, un tratamiento prolongado o excesivo de temperatura es perjudicial; no conviene pasar de 80°C. La reacción principal que ocurre cuando la partícula de portland toma contacto con agua, es la hidratación de los silicatos de calcio de Clinker ( $C_3S$  Y  $C_2S$ ), esquemáticamente, la reacción química es:



Donde C-S-H son los hidratos de silicatos de calcio también llamados “gel del cemento” y CH y los cristales de hidróxido de calcio “portlandita”.

Las adiciones activas como puzolanas y escorias contribuyen a formar C-S-H por ejemplo la reacción puzolánica que es una reacción secundaria, se da cuando la sílice de la puzolana con el hidróxido de calcio que se generó en la hidratación del cemento en presencia de humedad vuelve a dar los hidratos de silicato de calcio que es el componente más importante en la estructura del cemento portland



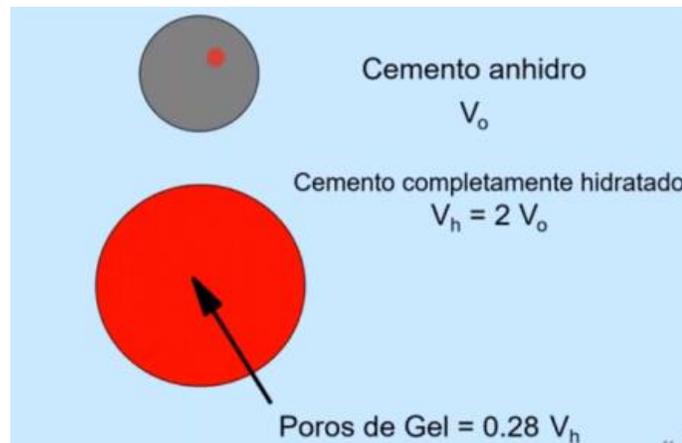
**Figura 2-5 Esquema de hidratación de cemento sin y con puzolana**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

Puede observarse como los silicatos cálcicos hidratados van llenando los espacios vacíos, esta reacción se amplifica en los cementos puzolánicos, los cementos puzolánicos bien diseñados conducen a microestructuras menos porosas.

### **Aumento del volumen del cemento hidratado**

La partícula de cemento sufre una transformación física y química cuando se hidrata, el más importante de los cambios es el cambio de volumen representado en el esquema siguiente.

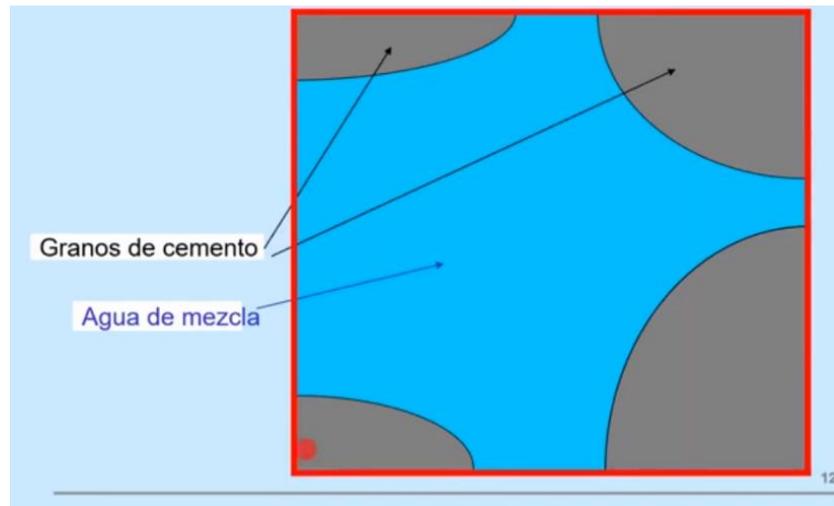


**Figura 2-6 Aumento de volumen debido a la hidratación.**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret..

Puede observarse que el 28% del volumen total alcanzado corresponde a poros de gel o C-S-H. Antes de iniciar la hidratación las partículas de cemento se encuentran distantes separadas por láminas de agua de mezclado que es la responsable de iniciar el proceso de fraguado del concreto, no obstante esta no suele ser suficiente para completar la hidratación completa de las partículas de cemento inmersas en la pasta, a esto se suma la pérdida de humedad debido a evaporación dejando la matriz del concreto sin la humedad necesaria para seguir formando las reacciones que permitan alcanzar el mayor potencial del material, antes de iniciar el proceso de hidratación puede observarse como las partículas de cemento aun no generan enlaces entre sí, en este punto la mezcla no

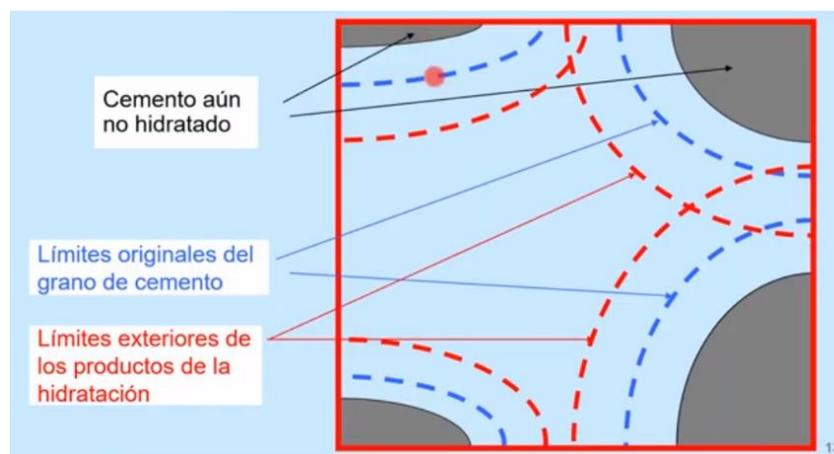
posee resistencia mecánica, es momento ideal para la colocación del concreto debido a su manejabilidad y ausencia de enlaces sólidos.



**Figura 2-7 Microestructura del concreto antes de proceso de hidratación**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

Instantes posteriores a este momento, los granos de cemento absorben el agua y comienzan su hidratación dando lugar a las variaciones de volumen antes observadas (aumento de volumen por hidratación)



**Figura 2-8 Consumo de cemento no hidratado debido a la hidratación**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

Como puede observarse en el esquema, al dar inicio el proceso de hidratación los productos de hidratación van acotando los espacios vacíos y expandiendo los límites originales de la partícula de cemento, los límites de los productos de la hidratación representada por la línea roja avanzan de manera que se va reduciendo los espacios existentes entre cada partícula, caso contrario sucede con el cemento no hidratado que en el avance del proceso de hidratación su volumen se reduce dando espacio así a la cristalización del gel.

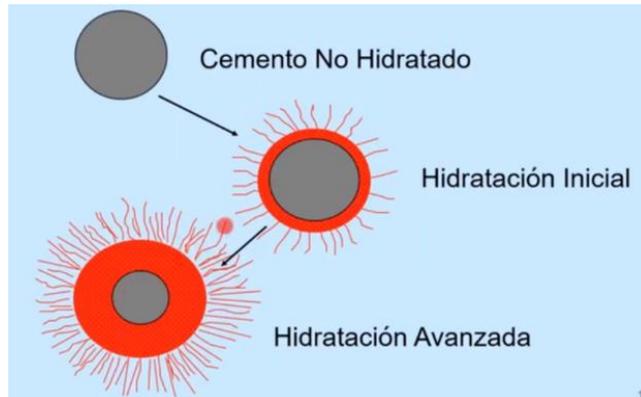
La hidratación de los cementos siderúrgicos y de los puzolánico produce los mismos compuestos que se forman en los cementos portland. La sílice de las puzolanas y las escorias reaccionan con la cal libre y forman silicatos. La resistencia se alcanza a edades tardías y a veces superiores a los cementos portland para las mismas edades.

Las adiciones de puzolanas se emplean para disminuir el calor de hidratación especialmente cuando se trata de concretos masivos.

El proceso de hidratación es un proceso exotérmico, que hace que los cementos al fraguar y endurecer aumenten la temperatura; cada compuesto del cemento al hidratarse libera una determinada cantidad de calor en determinado tiempo.

### **Etapas de la hidratación.**

El crecimiento y aumento del volumen de los productos de hidraticos alcanza un nivel en el cual, los productos de hidratación de cada partícula inician a chocar y a fundirse en entre sí, entre mayor sea el volumen de esta unión, menor será la porosidad y la resistencia del concreto aumenta.

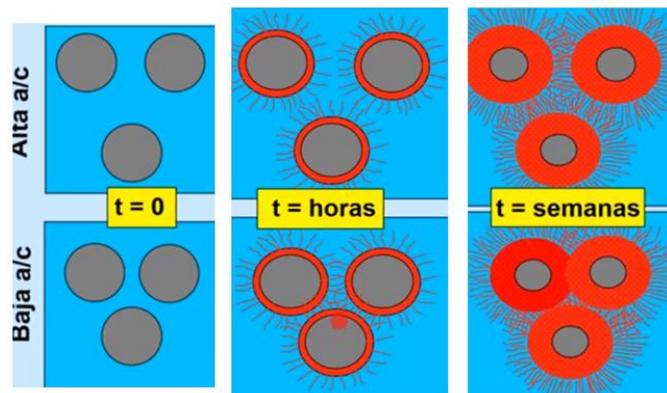


**Figura 2-9 Esquema de crecimiento de los productos de hidratación**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

Paulatinamente la partícula de cemento anhidro se va reduciendo pasando por la hidratación inicial donde se observa ya un aumento del volumen total de la partícula y posteriormente una hidratación avanza donde el volumen de los productos de hidratación es mayor que la de la partícula de cemento anhidro.

Cuando se tiene una mezcla de concreto con relaciones de agua cemento altas esto ocasionara que las partículas de cemento estén más alejadas entre sí, caso contrario cuando la relación agua cemento es baja en donde las partículas de cemento se encuentran más cercanas entre sí.



**Figura 2-10 Efectos de la relación a/c y la edad sobre la microestructura**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

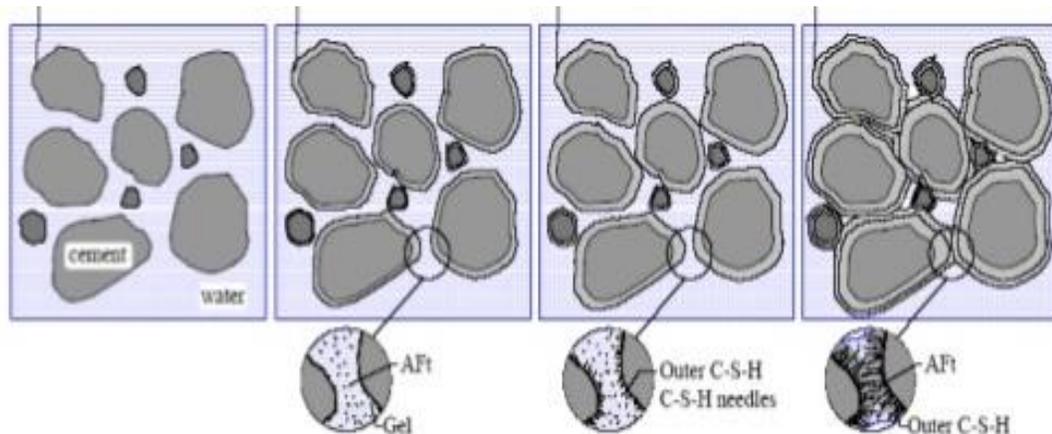
Por lo tanto, los productos de hidratación de una pasta con menos agua hacen contacto con los productos de hidratación de sus partículas vecinas en menor tiempo que el que lo hace una pasta con mayor contenido de agua, logrando así una menor porosidad debido a la densidad de la microestructura como se observa a la edad de semanas de una pasta con baja relación agua cemento, lo cual repercute directamente en la resistencia a compresión del concreto. Explicando de esta manera porque una relación de agua cemento muy alta afecta negativamente la resistencia mecánica de concreto.

### **2.2.2.3. Fraguado del cemento**

Al mezclar el cemento con el agua, se forma una pasta en estado plástico, en el cual la pasta es trabajable y moldeable, después de un tiempo que depende de la composición química del cemento, la pasta adquiere rigidez; es conveniente distinguir entre el fraguado y el endurecimiento, pues éste último se refiere al aumento de resistencia de una pasta fraguada. El tiempo que transcurre desde el momento en que se agrega el agua, hasta que la pasta pierde viscosidad y eleva su temperatura se denomina tiempo de "fraguado inicial", e indica que la pasta está semisólida y parcialmente hidratada. Posteriormente la pasta sigue endureciendo hasta que deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega al mínimo de temperatura; el tiempo transcurrido desde que se echa el agua hasta que llega al estado descrito anteriormente se denomina "tiempo de fraguado final" e indica que el cemento se encuentra aún más hidratado (no totalmente) y la pasta ya está sólida. A partir de este momento empieza el proceso de endurecimiento y la pasta ya fraguada va adquiriendo resistencia.

La determinación de los tiempos de fraguado es arbitraria y da una idea del tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y apisonar los concretos y morteros en una obra, así como el tiempo necesario para transitar sobre ellos y el tiempo para empezar el curado. La medida de los tiempos de fraguado se hace en el laboratorio siguiendo los métodos de las normas NTC 109 mediante las agujas de Gillmore y la norma NTC 118 mediante al aparato de Vicat.

La evolución temporal se puede resumir en la siguiente figura



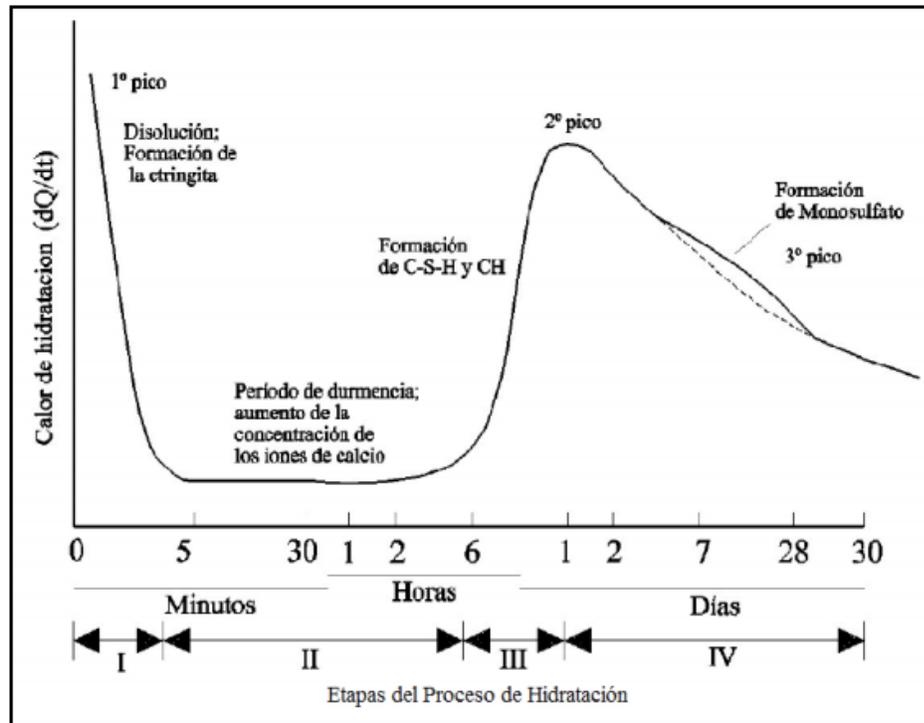
**Figura 2-11 Las cuatro fases en el fraguado y endurecimiento del cemento Portland**

**Fuente:** Desarrollo y Análisis de Pavimentos Industriales desde el punto de vista del acabado superficial, España.

En la figura; se muestran las cuatro fases en el fraguado y endurecimiento del cemento Portland; en la fase I, se observan los granos de clínker dispersos sin reaccionar en el agua, pasado unos minutos, los productos de hidratación crecen hacia dentro y hacia fuera de la superficie de cada grano (fase II), luego de una hora interactúan las capas que recubren los diferentes granos de clínker, volviéndose así el conjunto un gel continuo (fraguado, fase III). Al pasar de los días surge una masificación del gel (endurecimiento, fase IV). La reacción de hidratación es exotérmica, es decir, libera calor y cada componente del cemento libera una cantidad diferente. Por otra parte, el calor total liberado viene condicionado por diversos factores, como la finura del cemento o la mayor o menor presencia de los productos químicos que forman el clínker.

A continuación se muestran en detalle, a través de un gráfico, las cuatro etapas del proceso de fraguado del cemento.

**Grafico 2-2 Representación de las Etapas de hidratación del cemento**



**Fuente:** Desarrollo y Análisis de Pavimentos Industriales desde el punto de vista del acabado superficial, España.

Etapa I: El punto máximo que puede observarse corresponde a la disolución de  $C_3S$ , que es altamente exotérmica, con lo que hay un rápido incremento de calor que cesa a los 15-20 minutos debido a la formación de una membrana alrededor del  $C_3S$  y el  $C_3A$  por la precipitación de silicato cálcico hidratado insoluble.

Etapa II: Hay una significativa disminución en la velocidad de los procesos de hidratación. Esto debido a la formación de una membrana alrededor de las 36 partículas en hidratación que restringe el contacto de éstas con el agua exterior. Esta etapa se conoce como —Período Durmientel. A medida que la concentración de los compuestos aumenta, termina el período durmiente, comenzando a formarse los primeros hidratos y como consecuencia la microestructura.

Etapa III: Aquí inicia el fraguado de la mezcla; los granos de cemento reaccionan desde la superficie hacia el interior y la parte anhidra de las partículas va reduciéndose, se produce un máximo de calor en la mezcla al final de esta etapa, momento que corresponde al final de fraguado.

Etapa IV: Los productos de hidratación forman una densa corteza alrededor de las partículas originales, disminuyendo la velocidad de reacción y a su vez el calor de hidratación disminuye proporcionalmente.

### **2.2.3. Agregados**

#### **Agregados.**

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial. Generalmente se entiende por agregado a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable.

Los agregados conforman el esqueleto del concreto y son el elemento mayoritario pues representan el 65% a 85% de la masa del concreto, además de ser responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

#### **2.2.3.1. Función del agregado grueso (grava) en el concreto.**

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- a) Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- b) Proporciona 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 endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta

La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla.

Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la pasta debe cubrir totalmente la superficie de los agregados Si se fractura una piedra, como se observa en la figura, se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra.

Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto

es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura.

#### **2.2.3.2. Función de los agregados finos en el concreto.**

El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento.

#### **2.2.4. Agua.**

El agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto este componente debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto.

Complementariamente, al evaluar el mecanismo de hidratación del cemento se sabe que añadiendo agua adicional mediante el curado se produce hidratación adicional del cemento, luego esta agua debe cumplir también algunas condiciones para poderse emplear en el concreto.

##### **2.2.4.1. El agua de mezclado.**

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento.

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento.

Una regla empírica que sirve para estimar si determinada agua sirve o no para emplearse en la producción de concreto, consiste en establecer su habilidad para el consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto.

En este sentido, es interesante distinguir el agua potable en términos de los requerimientos nominales establecidos por los organismos que regulan su producción y

uso, y el agua apta para consumo humano, ya que los requerimientos aludidos normalmente son mucho más exigentes de lo necesario.

Como dato interesante, es una evidencia que en el Perú muy pocas "aguas potables" cumplen con las limitaciones nominales indicadas, sobre todo en lo que se refiere al contenido de sulfatos y carbonatos, sin embargo sirven para el consumo humano y consecuentemente para el concreto, por lo que no debe cometerse el error de establecer especificaciones para agua que luego no se pueden satisfacer en la práctica.

**Tabla 2-2 Límites permisibles para el agua de mezcla.**

Descripción	Límite permisible
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3000 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1000 ppm máximo
Sulfato(ion SO <sub>4</sub> )	5000 ppm máximo
Cloruro (ion Cl)	600 ppm máximo
pH	1000 ppm máximo

**Fuente.** Tópicos de tecnología del concreto

#### **2.2.4.2. Agua para curado.**

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto.

No obstante lo mencionado, si revisamos lo ya evaluado con respecto al mecanismo de hidratación del cemento y la estructura de la pasta, podemos concluir, que el agua adicional que puede contribuir a hidratar el concreto proveniente del curado, representa una fracción solamente del agua total (alrededor de la quinta parte en volumen absoluto), por lo que las limitaciones para el caso del agua de curado pueden ser menos exigentes que en el caso del agua de mezcla, pudiendo aceptarse reducirlas a la mitad en la mayoría de los casos.

**Tabla 2-3 Requisitos mínimos del agua para curado.**

<b>ELEMENTO</b>	<b>LIMITACION</b>
<i>Cloruro (ion Cl)</i>	
<i>a. En concreto pretensado o losas de puentes</i>	<i>500 ppm maximo</i>
<i>b. cualquier otro concreto armado en ambiente humedo o con elementos embutidos de aluminio o metales diferentes o con insertos galkvanizados</i>	<i>1,000 ppm maximo</i>
<i>sulfato (ion SO4)</i>	<i>3,000 ppm maximo</i>
<i>Alkalis (NaO + 0.658K2O)</i>	<i>3,000 ppm maximo</i>
<i>solidos disueltos totales</i>	<i>50,000 ppm maximo</i>

**Fuente.** Tópicos de tecnología del concreto

#### **2.2.4.3. Utilización de agua no potable.**

Cuando el agua utilizada no cumple uno o varios de los requisitos ya conocidos deberán realizarse ensayos comparativos empleando el agua en estudio y agua destilada o potable, con similares materiales y procedimientos.

Las aguas no potables podrán utilizarse, si además de cumplir con los requisitos establecidos cumple con:

- Las proporciones de la mezcla se basará en resultados de ensayos de resistencia a concretos, que ha sido preparado con agua de la fuente elegida.
- Las impurezas no alteren las propiedades del concreto, ni del acero de refuerzo.
- El agua debe ser limpia y libre de cantidades nocivas de ácido, aceites, etc.

#### **Aguas prohibidas**

- Aguas acidas
- Aguas que contengan residuos industriales
- Aguas con contenido de NaCl > 3% o SO SO4 > 1%
- Aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, partículas de carbón, turba, azufre o descargas de desagüe

- Aguas que contengan ácido húmico u otros ácidos orgánicos
- Aguas que contengan azúcares o sus derivados
- Aguas con porcentajes significativos de sales de sodio o potasio disueltos, en especial en todos aquellos casos en que es posible la reacción álcali – agregado.

### **Requisitos del comité 318 del ACI**

- El agua empleada en el mezclado del concreto deberá estar limpia y libre de cantidades peligrosas de aceites, álcalis, ácidos, sales, materia orgánica, u otras sustancias peligrosas para el concreto o el refuerzo.
- El agua de mezclado para concreto premezclado o para concreto que deberá contener elementos de aluminio embebidos, incluida la porción del agua de mezclado que es contribuida en forma de agua libre sobre el agregado, no deberá contener cantidades peligrosas de ión cloruro.
- No deberá emplearse en el concreto, aguas no potables, salvo que las siguientes condiciones sean satisfechas.
- La selección de las proporciones del concreto deberá basarse en mezclas de concreto en las que se ha empleado agua de la misma fuente.
- Los cubos de ensayo de morteros preparados con aguas de mezclado no potables deberán tener a los 7 y 28 días resistencias iguales a por lo menos el 90% de la resistencia de especímenes similares preparados con agua potable. Los ensayos de comparación de resistencia deberán ser preparados con morteros, idénticos con excepción del agua de mezclado, preparados y ensayados de acuerdo con la Norma ASTM C 109.

### **2.2.5. Curado.**

El término curado se utiliza tanto para describir el proceso natural por medio del cual el concreto de cemento hidráulico madura y desarrolla sus propiedades mecánicas típicas del material en estado endurecido, como para describir las acciones tomadas por el constructor para mantener el concreto húmedo y dentro de un rango de temperatura adecuada, de tal manera que se promueva la hidratación del cemento. En el primer sentido, el tiempo de curado del concreto se refiere al lapso en el cual se desarrollan las reacciones químicas del cemento con el agua, sin que se realice acción alguna; mientras que, en el segundo sentido, se refiere al tiempo durante el cual se ejecutan acciones específicas para mantener el concreto en las condiciones favorables de humedad y temperatura, como pueden ser aplicarle agua, cubrirlo del medio ambiente, calentarlo, etc. Debido a que se ha comprobado que las reacciones de hidratación del cemento sólo se dan en un ambiente interno de saturación (Mather, 1987), los investigadores de la tecnología del concreto han recomendado, desde hace aproximadamente un siglo, realizar acciones de curado en los elementos de concreto –principalmente suministrando humedad como una parte esencial de los procedimientos constructivos tendientes a obtener un material con el mejor desempeño posible; y tratando, también, de alcanzar el mayor beneficio posible del alto costo del cemento.

La importancia que debe dársele al curado es evidente, ya que es un proceso que busca brindar la humedad necesaria a la estructura del concreto para continuar su hidratación.

Otras definiciones

Acción adoptada para mantener condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementicia recién colada, para permitir la hidratación del cemento y (si corresponde) las reacciones puzolánicas, de modo que puedan desarrollarse las propiedades potenciales de la mezcla<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Comité ACI 308.

El curado son las Medias para adoptar para proporcionar condiciones higrotérmicas favorables al hormigón joven, de modo que el material pueda desarrollar plenamente sus prestaciones potenciales, lo que implica (Torrent, 2018):

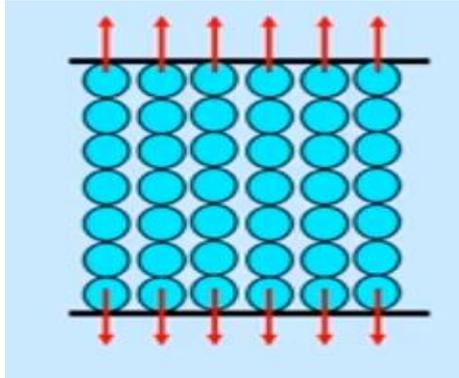
- Desarrollo pleno de las reacciones de hidratación
- Evitar la aparición de fisura por retracción plástica
- Evitar la aparición de fisuras por retracción por secado
- Evitar la aparición de fisuras térmicas
- Evitar daños prematuros por exposición a temperaturas bajo cero

“el curado del hormigón es la más baja de las operaciones de baja tecnología...muchos lo ven como una operación tonta, una no-tarea y el mal curado no se visualiza. Si enfatizo asegurar el curado, es porque el curado puede hacer toda la diferencia entre tener un buen concreto o tener un buen concreto arruinado por omitir un pequeño esfuerzo” (Neville, 2013)

El concreto cuando es colado en campo sufre la pérdida de humedad por diferentes medios, ya sea absorción de los encofrados, evaporación de agua por viento y sol, altas temperaturas etc. Es ahí el momento donde toma relevancia el curado supliendo o restituyendo el agua perdida evitando así que el concreto llegue a una fase de resequedad que puede afectar la totalidad de las características del material.

El agua se encuentra lugar dentro de los poros de gel y en los poros capilares, el agua dentro de los poros de gel es aquella que ya es parte del proceso de hidratación de una partícula de cemento y la ubicada en los poros capilares aún no ha entrado o hidratado una partícula de cemento, no obstante ambas son importantes.

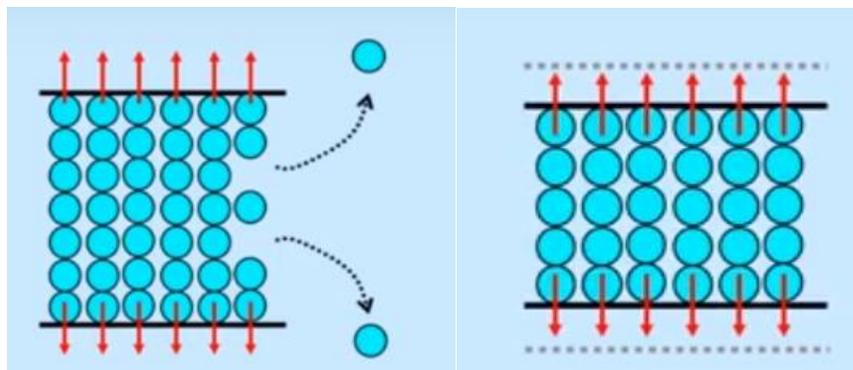
El agua en los pequeñísimos poros del gel está en un estado “cuasi-sólido”, debido a la fuerte interacción de las moléculas con las paredes de los poros (cristales de C-S-H), lo cual desarrolla tensiones internas.



**Figura 2-12 Esquema de tensiones de poros en el concreto**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

La remoción por evaporación de moléculas de agua de los poros del gel altera el equilibrio del estado de tensión, conduciendo a una reducción del espacio entre láminas de cristales de C-S-H y, así, a la retracción por secado (uno de los talones de Aquiles del concreto)

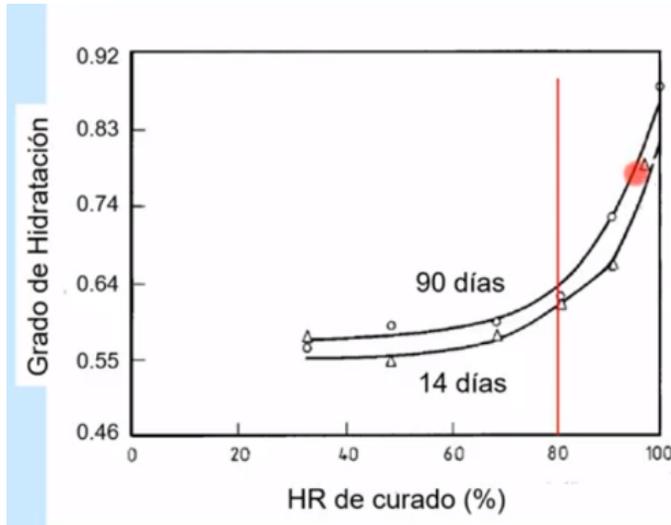


**Figura 2-13 Pérdida de agua por evaporación y reducción de volumen**

**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

El resultado de la hidratación se ve en la disminución de la porosidad del material en tanto que haya humedad en la pasta.

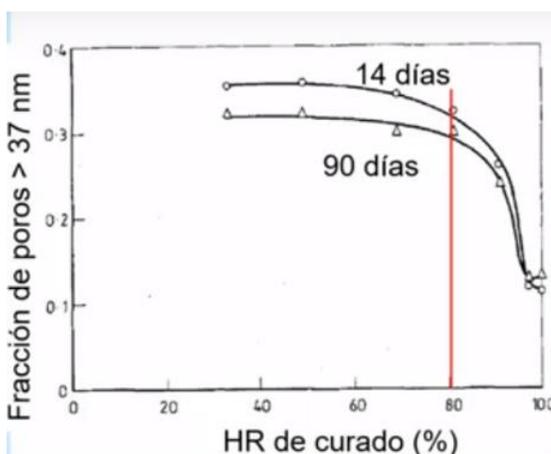
**Grafico 2-3 Efectos de la humedad sobre la hidratación.**



La grafica presentada a continuación muestra la respuesta de hidratación de muestras de pastas expuestas a diferentes humedades relativas. (fig. **Efectos de la humedad sobre la Hidratación**)

Se puede ver en la abscisa la humedad relativa a la cual fueron expuestas las probetas y en ordenas el grado de hidratación. Observando que si la humedad es alta la hidratación también es alta, de igual forma si la humedad es baja también la hidratación disminuye, pudiendo observar que con humedad relativa menor del 80% el grado de hidratación es casi constante, es decir que no varía con respecto a humedades relativas menores, deduciendo que cuando la hidratación se detiene cuando la humedad relativa de los poros del hormigón esta debajo el 80%. (fig. Relación poros grandes y HR)

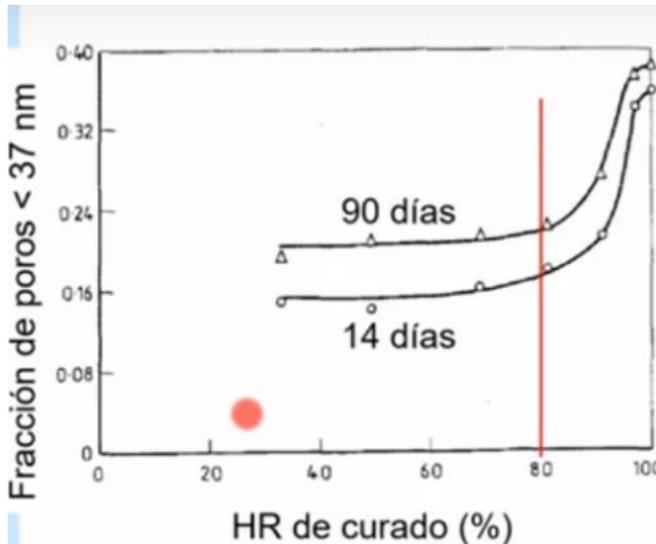
**Grafico 2-4 Relación poros grandes y HR**



También la cantidad y tamaño de poros que presente el concreto es un factor determinante en su respuesta final como un material resistente, sus propiedades mecánicas y de durabilidad pueden verse disminuidas cuando existe un alto contenido de poros en la matriz.

Cuando el concreto es curado mediante un tratamiento que logra mantener humedades muy altas es decir entre el 80 y 100% puede observarse una disminución de la cantidad de poros de mayor tamaño clasificados

### **Gráfico 2-5 Relación poros pequeños y HR**



en un tamaño superior a 37nm (nanómetros) (gráfica. **Relación poros grandes y HR**), y un aumento de la cantidad de poros pequeños que se encuentran clasificados en tamaños inferiores a los 37 nanómetros (gráfica. **Relación poros pequeños y HR**).

Es decir que la calidad del concreto aumenta notablemente ya que estas

características logradas benefician a la resistencia mecánica y durabilidad del concreto.

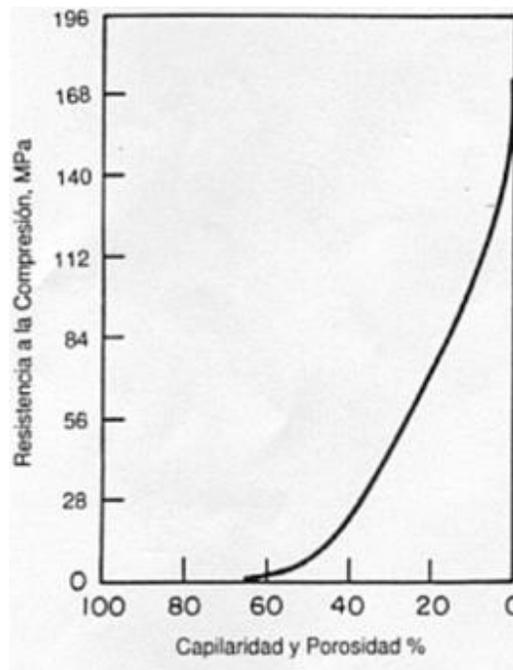
Puede observarse también que, al usar un método de curado pobre, es decir no logre mantener humedades por lo menos del 80% la cantidad de poros se mantiene aproximadamente constante ya sea que la humedad mantenida sea de 20, 40 o 60%.

Es importante mantener el hormigón en un ambiente con temperatura moderada y con alto porcentaje de humedad relativa (HR) o, mejor, bajo agua en el mejor de los casos permitiendo así la máxima expresión del comportamiento químico y físico necesario para lograr lo más cercanamente posible el alcance de la resistencia potencial del concreto en cuestión.

Existe una relación muy importante entre la porosidad (la parte de huecos en el volumen) y la resistencia. Por consecuencia, en materiales de múltiples fases como el concreto, la porosidad de la estructura de cada uno de los componentes que unificándolos produce la porosidad del concreto son un límite a la resistencia. Los

agregados naturales son generalmente densos y resistentes; por lo tanto, la porosidad de la matriz de la pasta de cemento, así como la de la zona de transición entre la matriz y el agregado grueso, son las que generalmente determinan las características de resistencia del concreto de peso normal.

**Grafico 2-6 Porosidad vs Resistencia**



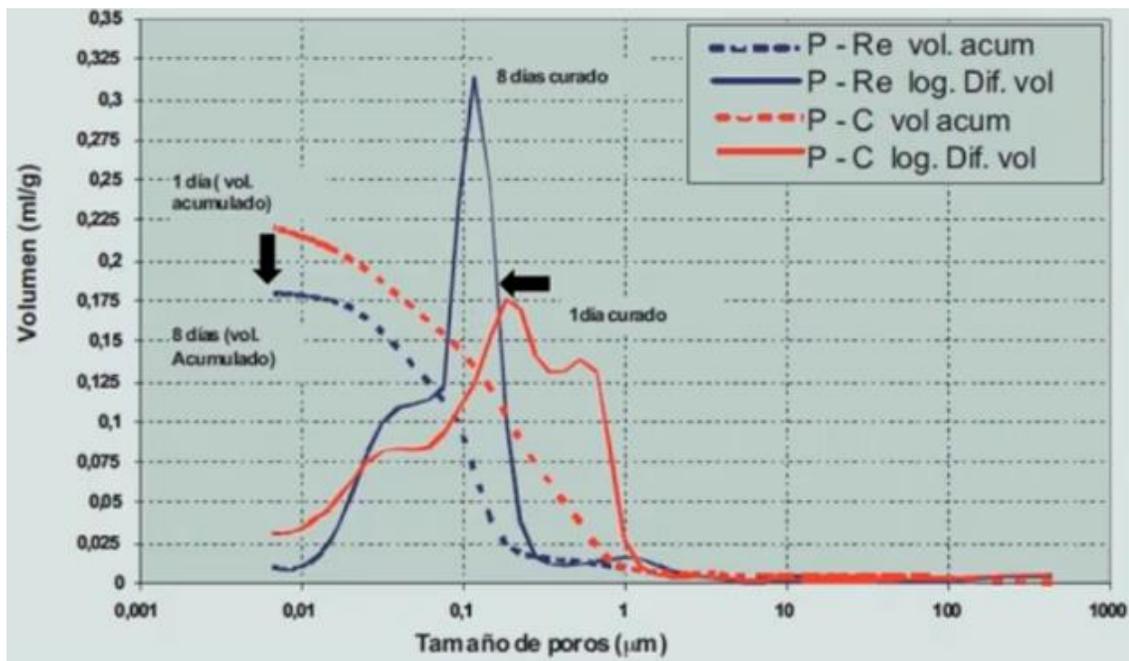
**Fuente:** P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro, CONCRETO, Estructura, propiedades y materiales

En la (Grafica. **7 Porosidad vs resistencia**) puede observarse la relación existente entre la porosidad de concreto y su resistencia a compresión donde en las abscisas se observa el porcentaje de porosidad de la muestra y en las ordenadas se encuentra la resistencia a compresión, definiendo un comportamiento notable que determina una relación inversa entre la porosidad y resistencia, a menor porosidad habrá mayor resistencia.

Por ello es conveniente buscar la reducción de la porosidad, esto garantizará un aumento de resistencia y el aprovechamiento de los recursos utilizados, existe una estrecha relación entonces entre el curado, la porosidad y por consiguiente la resistencia, habiendo demostrado que los días de curado empleados afectan notablemente la

porosidad, reduciendo la cantidad de poros y acotando en un rango más corto la variabilidad del tamaño de los poros. En el gráfico puede observarse como el volumen de poros va disminuyendo mientras se aplican más días de curado. Esto como resultado del aumento de los productos de hidratación resultantes de la reacción química entre el cemento y el agua que van llenando paulatinamente los espacios entre cada partícula.

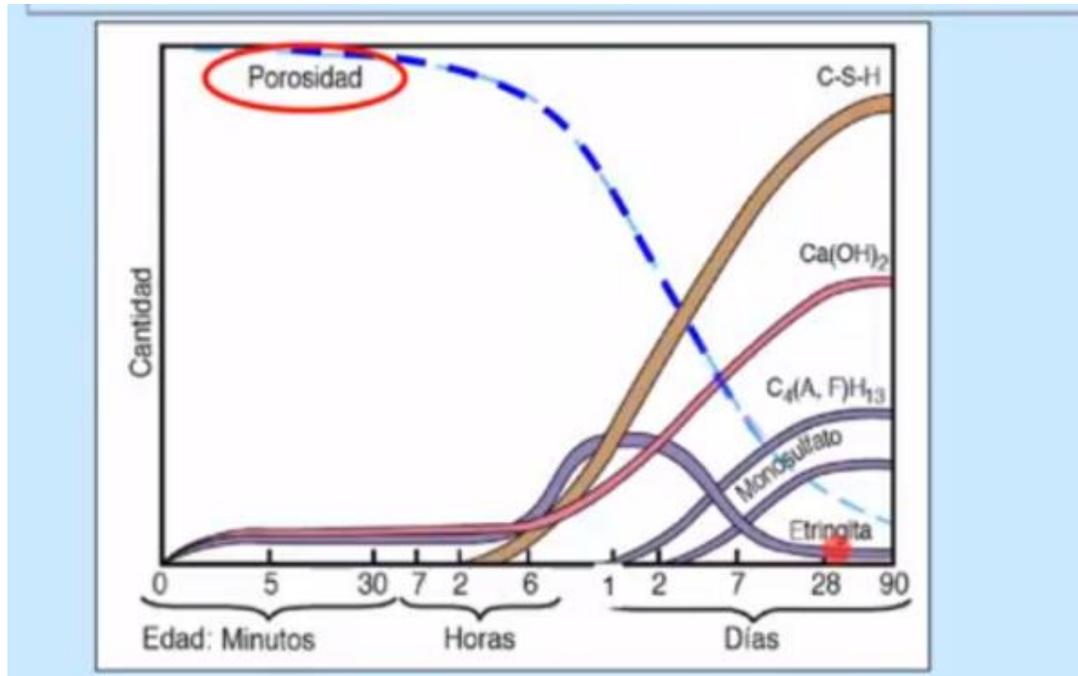
**Gráfico 2-7 Días de curado y porosidad**



**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

Supone condiciones óptimas de humedad y temperatura

**Grafico 2-8 Productos de hidratación y porosidad**

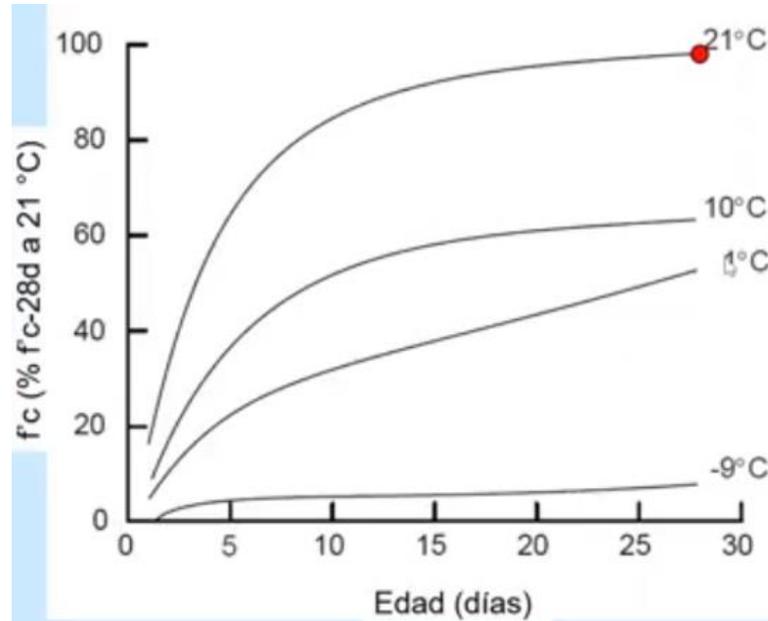


**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

### **2.2.5.1. Efectos de la temperatura sobre la resistencia a compresión.**

La temperatura ambiente condiciona la totalidad de los procesos y resultados de resistencia y durabilidad que puede obtenerse de un concreto que ya ha madurado, tanto las muy altas como las muy bajas temperaturas son adversas al desarrollo de resistencia del concreto. Puede observarse las variaciones resultantes de los concretos expuestos a diferente temperatura ambiente concluyendo que la hidratación del concreto se detiene cuando la temperatura está por debajo de los  $-10^{\circ}\text{C}$ .

**Grafico 2-9 Resistencia a compresión del concreto a diversas temperaturas**



**Fuente:** ponencia de “Curar y no curar” de Roberto Torret.

#### **2.2.5.2. Requisitos de un buen curado**

- Adecuado contenido de humedad, un adecuado curado involucra mantener un apropiado contenido de humedad de la pasta. Esto puede ser llevado a cabo usando diferentes métodos de curado o la combinación de varios métodos, todos estos métodos implican, sin embargo dos conceptos: que la superficie del concreto mantenga húmeda a través del suministro de agua exterior (curado húmedo) o la pérdida de humedad sea mínima, de tal manera que sea controlada por el uso de cubiertas impermeables, membranas o el uso de compuestos químicos.
- Mantener una adecuada temperatura en el concreto, de las investigaciones realizadas, se indicó que la temperatura ideal es la temperatura promedio en la cual el concreto va estar expuesto durante toda su vida, además es necesario proteger el concreto de las temperaturas muy bajas y altas pues estas afectan la velocidad de hidratación y por tanto el desarrollo de la resistencia. El control de la temperatura es un asunto difícil pues existen tres formas de calor; el medio

ambiente, absorción del calor solar y el calor generado por las reacciones de hidratación.

- Adecuada protección del ambiente estructural durante el periodo inicial del curado, se refiere a la protección de la nueva estructura de concreto de cualquier tipo de alteración mecánica como:
  - a) Esfuerzos originados por cargas, impacto, excesiva vibración
  - b) Ondas de impacto ocasionados por explosiones o cargas de objetos pesados sobre el encofrado de la estructura.
  - c) Acción de lluvias
  - d) Cualquier tipo de accidente, que provoque una alteración física
- Suficiente tiempo de curado, dependerá del tipo de cemento utilizado ya que para cemento tipo I, II y V (clasificación ASTM C150). indica que el concreto fabricado con este tipo de cemento deberá mantenerse sobre los 10°C en condición húmeda por 7 días después de colocado, mientras que para los cementos adicionados como el tipo IP o IPM (ASTM C525), deberá ser durado por 10 días. En concretos con aditivos acelerantes el periodo mínimo de curado es 3 días.

### **2.2.5.3. Métodos de curados del concreto de acuerdo a ACI 308-R.**

Se llama curado al procedimiento que se utiliza para promover la hidratación del cemento, y consiste en mantener un control del movimiento de temperatura y humedad hacia dentro del concreto y hacia afuera del concreto.

El objeto del curado es mantener el concreto saturado, ya que la hidratación del cemento solo se logra en capilares llenos de agua, por lo que debe evitarse la evaporación excesiva de ésta. Además debe controlarse la temperatura, puesto que la rapidez de hidratación es más lenta a bajas temperaturas y más rápida a temperaturas elevadas (100 °C).

#### **Curado con agua**

Cuando se elige una aplicación de agua se debe estudiar la economía del método particular que se usara en cada obra, puesto que la disponibilidad de agua, mano de obra,

materiales de curado, y otros factores influirán en el costo. El método seleccionado debe proporcionar una cubierta completa y continua de agua libre de cantidades perjudiciales de materias deletéreas.

Cuando al aspecto es un factor importante, el agua debe estar libre de sustancias que ataquen, manchen o de colorean el concreto, se debe procurar evitar el ahogue térmico o los gradientes térmicos excesivamente agudos, debidos al empleo de agua fría para el curado o aun nivel de enfriamiento por evaporación muy elevado. A continuación se describen varios métodos de curado de agua.

- **Anegamiento o inmersión**

Aunque se emplea muy rara vez, el método más completo de curado consiste en la inmersión total en agua de la unidad de concreto ya terminada. Algunas veces el anegamiento se emplea cuando se trata de losas de piso de atarjeas y puentes, pavimentos y techos planos; es decir, en cualquier lugar en donde sea posible crear un charco mediante un bordo o dique de tierra u otro material en el borde de una losa, o cuando existe ya una corriente de agua, como sucede en las atarjeas. Se deben evitar los daños que provoca la liberación prematura o súbita de agua encharcada ; por ejemplo si el agua encharcada se pierde debido a una fuga, es posible que la losa no reciba el curado apropiado y el agua, en cambio, ablande el terreno sobre el que se asienta dicha losa , o bien dañe los alrededores. El agua de curado no debe ser más fría de 11 °C que el concreto ya que el posible desarrollo de esfuerzos por temperatura en la superficie puede causar agrietamiento.



**Figura 2-14 Método de curado por inmersión en pilas**

- **Rociado de niebla o aspersión**

Cuando la temperatura es bastante superior a la de congelación, el rociado de niebla o aspersión mediante boquillas o aspersores proporciona un curado excelente. Siempre que la superficie del concreto este más fría que la atmosfera dentro del recinto, el vapor a presión atmosférica hará que se presente sobre la superficie una película de humedad. Los aspersores de jardín son efectivos cuando no hay que preocuparse por el consumo de agua. Una de las desventajas del rociado es el costo del agua, a no ser que se disponga de toda la necesaria por el costo del bombeo solamente. La aspersión o rociado intermitentes no son recomendables cuando permiten que se seque la superficie del concreto. El uso de mangueras es útil, precisamente para empapar superficies verticales o casi verticales, pero se debe tener cuidado de no provocar la erosión de dicha superficie.



**Figura 2-15 Método de curado mediante riego o aspersión de agua.**

- **Costales, mantas de algodón y alfombras**

Los costales, mantas de algodón, alfombras y otras cubiertas de material absorbente retendrá agua sobre la superficie del concreto sea esta horizontal o vertical. Estos materiales deben estar libres de cantidades dañinas y de sustancias como azúcar o fertilizantes, que si pueden dañar el concreto y decolorarlo. Los costales se deben lavar muy bien con agua para eliminar sustancias solubles y hacerlos más absorbentes.

Cuando el costal se vaya a almacenar entre una obra y otra, es conveniente el empleo de los que estén tratados para resistir la putrefacción y el fuego. Mientras más pesado sea el costal, más agua retendrá y será necesario mojarlo con menos frecuencia. Es ventajoso colocarlo doble, traslapando las tiras hasta la mitad de su ancho, lo cual proporciona una mejor retención de humedad y ayudara a que no se levante cuando sople viento fuerte o llueve.

Las mantas de algodón y las alfombras retienen el agua más tiempo que el costal, con menos riesgos de secarse. Se anejan igual, excepto que, debido a su mayor más, su aplicación sobre una superficie recién terminada no se puede hacer de manera tan

inmediata como cuando se trata de costales, sino que se debe esperar a que el concreto tenga un mayor grado de endurecimiento.



**Figura 2-16 Método de curado con sacos de yute en columnas.**

- **Curado con tierra**

El curado con tierra mojada se ha empleado con éxito especialmente en trabajos comparativamente más pequeños de losas o pisos. Lo esencial es que la tierra esté libre de partículas mayores de 25mm y que no contenga cantidades peligrosas de materia orgánica u otras sustancias que pueden dañar el concreto.



**Figura 2-17 Método de curado con tierra húmeda.**

- **Arena y aserrín**

La arena limpia y el aserrín mojado se emplean para el curado de la misma manera que la tierra. Sin embargo, el aserrín que contiene cantidades excesivas de ácido tánico no se debe usar. La arena y el aserrín son especialmente útiles cuando los carpinteros y montadores de cimbras deben trabajar en la superficie, ya que dichos recubrimientos ayudan a proporcionar protección contra raspaduras y manchas.

- **Paja o heno**

La paja o heno mojados se pueden emplear, pero se corre el riesgo de que el viento los levante, a menos que se cubran con telas de alambre, costales u otro material. También existe el peligro de incendio si se deja secar. La paja y el heno suelen causar, además, una decoloración en la superficie del concreto que se aprecia hasta varios meses después de haber sido retirados. Cuando se emplean estos materiales, la capa que se aplica debe tener, por lo menos, 150 mm de espesor.

- **Terminación**

Los materiales de cubierta saturados, no se deben dejar secar y que absorban humedad del concreto, pero al término del periodo requerido de humedad se debe permitir que sequen por completo, antes de retirarlos, para que el concreto se vaya secando.

### **Materiales selladores**

Los materiales selladores son hojas o membranas que se colocan sobre el concreto para reducir la pérdida de agua por evaporación. El empleo de materiales selladores para el curado representa ventajas que hacen preferible su empleo en muchos casos. Por ejemplo, cuando se impide la pérdida de humedad mediante el sellado, existen menos posibilidades de que el concreto se seque antes de tiempo, debido a un error en el mantenimiento de la cubierta húmeda. Asimismo, los materiales selladores son más fáciles de manejar y se pueden aplicar más temprano, a veces sin necesidad de un curado inicial. En regiones áridas son particularmente útiles para el curado de trabajos planos el concreto sobre el terreno de desplante húmedo y para el concreto estructural masivo. En las siguientes sesiones se describen los materiales selladores más comunes. Las cimbras

dejadas en el lugar sirven para reducir las pérdidas de humedad de las superficies que están en contacto con ellas.

- **Compuestos líquidos para formar membrana de curado**

Los compuestos líquidos para formar membranas de curado deben de cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C 309, cuando se les prueba en el mismo nivel de cubrimiento que se empleara en la obra. Estos compuestos consisten esencialmente en ceras, resinas naturales o sintéticas, así como solventes de volatilidad elevada a la temperatura atmosférica. Se les debe proporcionar ventilación adecuada y tomar precauciones de seguridad. Su fórmula debe ser tal, que ayude a formar una película que retenga la humedad poco después de aplicarse, y no ser perjudiciales para la pasta de cemento Portland. A veces, se les incorporan pigmentos blancos o grises para proporcionarles capacidad de reflejo de calor y para hacer visible el compuesto en la estructura, con fines de inspección. Los compuestos de curado no se deben emplear sobre superficies que vayan a recibir capas adicionales de concreto, pintura o mosaicos que requieran de buena adherencia, a menos que se haya demostrado que la membrana se puede retirar satisfactoriamente antes de hacer la subsecuente aplicación o que no represento ningún problema como base para la aplicación posterior.

El compuesto se debe aplicar a una medida uniforme. Se sugiere que, cuando sea posible, se hagan las aplicaciones, perpendiculares una con respecto a la otra, para lograr una cobertura completa. Sobre superficies profundamente texturizadas, Para obtener beneficios máximos, los compuestos líquidos para formar membranas se deben aplicar después del acabado y tan pronto como desaparezca el agua libre sobre la superficie, de manera que no se aprecie ya el brillo del agua, pero antes de que el compuesto líquido del curado pueda ser absorbido por el concreto



**Figura 2-18 Método de curado con producto químico.**

- **Películas plásticas**

La película plástica es de peso ligero y está disponible en hojas transparentes, blancas o negras. La película debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C171 (Referencia 1.3.1.7), que especifica un espesor de 0.10 mm. Esta especificación no menciona la película negra, pero esta es satisfactoria en ciertos casos. La blanca es más costosa pero refleja considerablemente los rayos solares, mientras que la transparente tiene poco efecto sobre la absorción de calor. La película negra se debe evitar en clima cálido, excepto para interiores; sin embargo, tiene ventajas en clima frío por su absorción de calor. Se debe tener cuidado de no rasgarla o de no interrumpir de alguna manera la continuidad del curado.

La película plástica se debe colocar sobre la superficie mojada del concreto fresco lo más pronto posible, sin dañarla y cubriendo todas las partes expuestas. Después de colocada se debe sujetar bien para que se mantenga en contacto con el concreto durante el tiempo de curado especificado.



**Figura 2-19 Método de curado con películas plásticas.**

- **Papel impermeable**

El papel impermeable debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C171 (Referencia 1.3.1.7). Está compuesto de dos hojas de papel kraft unidas entre sí mediante un adhesivo bituminoso, e impermeabilizadas con fibras. La mayoría de las hojas que se emplea para el curado ha sido tratada para reducir su grado de expansión y contracción al mojarse y secarse. Las hojas se pueden unir entre sí mediante cemento bituminoso y de la manera más apropiada para cumplir con los requisitos precisos.

Las hojas de papel con una superficie blanca reflejar y reducir la absorción de calor, se consiguen con facilidad. En la Norma ASTM C 171 se incluye como requisito el reflejo. La aplicación del papel impermeable se hace de la misma manera que la de la película plástica. El papel impermeable se puede utilizar por segunda vez siempre y cuando conserve su capacidad de humedad. Las rasgaduras se aprecian fácilmente y se pueden reparar con un trozo de papel pegado y pegamento adecuado o bien con cemento bituminosos. Los pequeños agujeros ocasionados por caminar sobre el papel o por deterioro debido a repetidos usos son fácilmente apreciables si se sostiene el papel a contraluz. Cuando haya dudas sobre las condiciones del papel, este se deberá usar con hojas dobles.



**Figura 2-20 Método de curado con papel impermeable.**

#### **2.2.5.4. Consecuencias de no realizar correctamente el curado de concreto.**

La principal consecuencia de no realizar el curado de hormigón es la pérdida de resistencia final del hormigón, pues como ya he explicado, si se pierde parte del agua necesaria para que se produzca la reacción química de endurecimiento, parte del cemento se queda sin reaccionar y por tanto no es posible que llegue a endurecer por completo.

Ya solo ésta es una razón que justifica por sí misma la ejecución del curado, pero no es la única, pues también se ve afectada la durabilidad del hormigón, es decir, en qué estado se encontrará el hormigón dentro de unos años. Esto es debido a que se incrementa la porosidad de las capas superficiales, ya que el agua que se evapora deja sus espacio al aire, quedando poros que a largo plazo favorecen la entrada de ambiente exterior y por tanto la degradación prematura del hormigón.

Además, a corto plazo puede provocar figuración superficial de la masa, pues es en la superficie donde se pierde el agua y por lo tanto la masa tiende a retraer para ajustar el volumen perdido por el agua. Esta retracción por desecado es la que provoca la figuración superficial que evidentemente afecta no solo al acabado, sino también a la calidad del elemento de hormigón y también de nuevo a su durabilidad.

Fisuras por contracción plástica, se producen dentro de las ocho horas cuando el hormigón todavía no ha terminado de fraguar. El agua de la mezcla se evapora violentamente. Estructuras de riesgo: losas y pavimentos.

Fisuras por contracción por secado: el hormigón ya endurecido sigue requiriendo agua para hidratarse y seguir ganando resistencia. Estas fisuras se ven en los pavimentos cuando el aserrado de las juntas se demora por alguna causa.

Aspecto de la figuración por mal curado: piel de cocodrilo, viboritas paralelas a la dirección del viento.

## **2.2.6. Métodos de ensayo para determinación de resistencia de concreto.**

### **2.2.6.1. Martillo Suizo (Esclerómetro).**

La evaluación de las estructuras de concreto en sitio, además de los métodos de extracción de testigos y pruebas de carga, se pueden realizar mediante ensayos no destructivos, que tienen la ventaja de permitir el control de toda la estructura y sin afectarla en forma rápida.

Dentro de los métodos no destructivos, los de dureza superficial son los más generalizados, por su economía y facilidad de ejecución, entre ellos el método del esclerómetro es empleado por el mayor número de países.

El esclerómetro fue diseñado por el Ing. Suizo Ernest Schmidh en 1948, constituyendo una versión tecnológicamente más desarrollada que los iniciales métodos de dureza superficial generados en la década veinte.

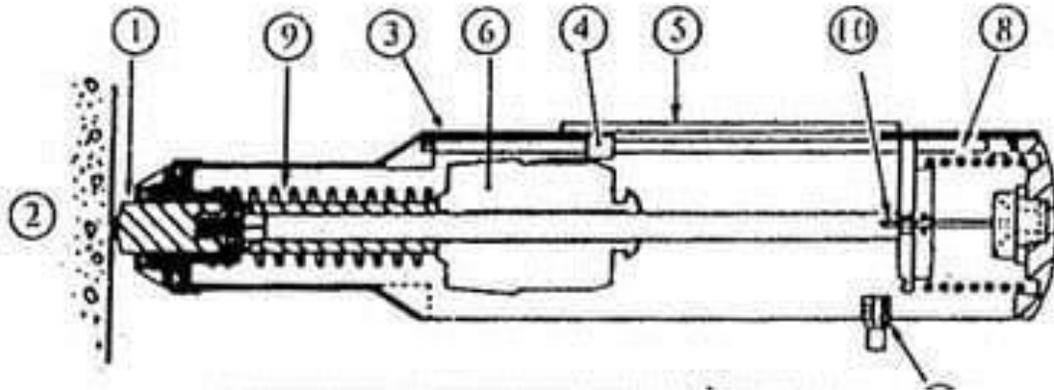
#### **Campo de Aplicación**

Originalmente, fue propuesto como un método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto, estableciendo curvas de correlación en laboratorio. Sin embargo, por los diferentes factores que afectan los resultados y la dispersión que se encuentra, en la actualidad se le emplea mayormente en los siguientes campos:

- Evaluar la uniformidad del concreto en una obra.
- Delimitar zonas de baja resistencia en las estructuras.
- Informar sobre la oportunidad para desencofrar elementos de concreto.
- Apreciar, cuando se cuenta con antecedentes, la evolución de la resistencia de estructuras.
- Determinar niveles de calidad resistentes, cuando no se cuenta con información al respecto.
- Contribuir, conjuntamente con otros métodos no destructivos a la evaluación de las estructuras.

## Descripción del aparato y del método

Un esquema del aparato está dado en la figura 1, según la información del fabricante, en el que se singulariza los siguientes elementos:



**Figura 2-21 Esquema del Esclerómetro.**

1. Percutor, 2. Concreto, 3. Cuerpo exterior, 4. Aguja, 5. Escala, 6. Martillo, 7. Botón de fijación de lectura, 8. Resorte, 9. Resorte, 10. Seguro.

El ensayo se efectúa apretando el percutor contra la superficie examinar, hasta que el martillo, impulsado por un resorte, se descargue sobre el percutor. Después del golpe, el martillo rebota un acierta distancia, la cual se indica por una aguja en una escala graduada. La lectura de la posición de la aguja representa la medida del retroceso en porcentaje del avance del martillo.

Básicamente el proceso está constituido por una masa móvil, con una cierta energía inicial, que impacta la superficie de una masa de concreto, produciendo una redistribución de la energía cinética inicial. Parte de la energía es absorbida como fricción mecánica en el instrumento y otra parte como energía de formación plástica del concreto. La parte restante es restituida a la masa móvil en proporción a la energía disponible. Para tal distribución de energía es condición básica que la masa de concreto sea prácticamente infinita con relación a la masa del percutor del aparato, lo que se da en

la mayoría de las estructuras. En consecuencia, el rebote del esclerómetro es un indicador de las propiedades del concreto, con relación a su resistencia y grado de rigidez.

### **Factores que inciden en la prueba**

Además de los factores intrínsecos, los resultados de los ensayos reciben la influencia de los siguientes parámetros:

- Textura superficial del concreto
- Medida, forma y rigidez del elemento constructivo
- Edad del concreto
- Condiciones de humedad interna
- Tipo de agregado
- Tipo de cemento
- Tipo de encofrado
- Grado de carbonatación de la superficie
- Acabado
- Temperatura superficial del concreto y la temperatura del instrumento.

### **Procedimiento del ensayo**

Para obtener resultados válidos y reproducibles conviene tener en cuenta las siguientes disposiciones:

- El método concreto sometido a prueba está fijo en la estructura, teniendo mínima dimensión 100mm, de espesor. Los especímenes más pequeños deberán ser sujetados rígidamente. En el caso de probetas, se aconseja fijarlas entre los cabezales de la máquina de compresión.
- El área en la cual se podrá efectuar una determinación, por el promedio de una serie de pruebas comprenderá aproximadamente una circunferencia de 150 mm de diámetro.

- Deberá efectuarse el pulido superficial en la zona de prueba de los especímenes, hasta una profundidad de 5mm, en los concretos de más de 6 meses de edad, en texturas rugosas, en las húmedas y cuando se encuentran en proceso de carbonatación.
- A efecto se utilizará una piedra abrasiva de carburos de silicio o material equivalente, con textura de grano medio. Aditamento que forma parte del equipo provisto por el fabricante.
- La posición del aparato, en casos de 4 ensayos comparativos, deberá tener la misma dirección. La posición normal del aparato es horizontal.
- De actuar verticalmente incide la acción de la gravedad, dando resultados de rebotes más altos actuando hacia abajo y más bajos hacia arriba.
- El accionar angular dará resultados intermedios.

#### **2.2.6.2. Máquina Universal**

En ingeniería se denomina máquina universal a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico. Esta máquina no es ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales. Así, por ejemplo, se ha utilizado en la medición de las propiedades de tensión de los polímeros.

#### **Ensayo de compresión.**

El ensayo de compresión se realiza para determinar las propiedades de un material frente a una sollicitación axial negativa. Sollicitación que pretende comprimir la probeta de ensayo

El fin del ensayo de compresión puede ser determinar las propiedades de un material o el comportamiento de un componente o sistema completo frente a una sollicitación externa.

Determinación de las propiedades del material: ejemplo: norma EN 196-1 resistencia mecánica de cementos y morteros. Se busca obtener valores “absolutos” de resistencia

del cemento, de forma que se puedan clasificar y comparar.

En esta normativa se describe todo el proceso de ensayo de forma que su preparación, curado y proporción de componentes no pongan en compromiso la comparación de resultados entre diferentes fábricas y países.

Las probetas se preparan mediante la mezcla controlada del cemento, junto con los áridos y el agua en composición, cantidades y con un procedimiento muy detallado. Las propiedades mecánicas del cemento determinadas en el ensayo de compresión según EN 196-1 dependen directamente del proceso de preparación de probeta, su curación y por supuesto de la máquina de ensayo y el procedimiento de ensayo de compresión.



**Figura 2-22 Aspecto que posee una máquina de ensayo a compresión.**

**Comportamiento del elemento a ensayar:** en este caso, el objetivo está orientado principalmente a la determinación de los límites de trabajo del elemento en cuestión: fuerza máxima, deformación a rotura, inicio de grieta, etc. Estos valores permitirán verificar que los diseños realizados teóricamente se corresponden con los valores empíricos obtenidos en una simulación real de trabajo.

Para que el ensayo se realice de forma precisa y repetitiva, se necesita una máquina de ensayo que garantice que tanto las mediciones como el control, como su comportamiento son por lo menos como lo requiere la norma.

Por último, es necesario disponer de un software de ensayo de materiales capaz de permitir al usuario configurar el ensayo, realizar los cálculos acordes a la normativa en cuestión, representar gráficas y analizar valores.

Existe numerosa normativa internacional que define con detalle los parámetros del ensayo, requisitos de la máquina de ensayo, cálculos a realizar sobre los valores obtenidos en el ensayo de tracción, etc.

## **2.2.7. Análisis estadístico**

### **2.2.7.1. Análisis de los resultados de resistencia**

- La estadística o métodos estadísticos:

Son los métodos que se aplican a la recolección, organización, presentación, análisis e interpretación de datos numéricos; puede ser descriptiva o inferencial.

- Población y muestra:

Se da el nombre de población a un conjunto de individuos u objetos acerca del cual se quiere saber algo.

- Muestra:

Cuando no es conveniente considerar todos los elementos de la población, lo que se hace es estudiar una parte de esa población.

Una parte de la población se llama muestra. Los resultados obtenidos en la muestra sirven para estimar los resultados que se obtendrían con el estudio completo de la población.

Para que los resultados de la muestra puedan generalizarse a la población, es necesario que la muestra se elija adecuadamente; es decir, que sea representativa de la población. Se llama muestra aleatoria aquella que se obtiene cuando todos los elementos de la población tienen iguales posibilidades de ser elegidos en la muestra. Las muestras aleatorias son, generalmente, representativas de la población.

- Distribución de frecuencia.

El primer paso para la descripción o estimación es la recolección de datos y se puede recurrir a la información disponible de la resistencia. Recolectados los datos de la muestra es necesario organizarlos. Una manera de organizarlos es formar grupos. Una distribución de frecuencias o una tabla de frecuencias, es el resultado de organizar los datos en grupos.

## Representación gráfica.

- a) **Gráfica de barras:** las gráficas de barra se construyen mediante rectángulos de igual base y una altura proporcional a la frecuencia. Si en el eje horizontal de un sistema de coordenadas se representan los límites reales y se construyen rectángulos cuyas bases estén definidas por los límites reales y sus alturas sean proporcionales a sus frecuencias se obtendrá una gráfica llamada Histograma.
- b) Si a cada intervalo se le determina su punto medio y se unen los puntos, se obtiene un **polígono de frecuencias**.

## Medidas de tendencia central

El primer momento de una distribución de frecuencias. •

- Media aritmética (promedio): se define como la suma de todos los valores observados, dividida por el número total de observaciones  $n$ . esta se denota de la siguiente manera.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

- Moda: cualquier máximo relativo de la distribución de frecuencias, es decir, cualquier valor de la variable que posea una frecuencia mayor que su anterior y su posterior.
- Mediana: es un valor único de un conjunto de datos que mide al elemento central en los datos. Este único elemento de los datos ordenados, es el más cercano a la mitad, o el más central en el conjunto de números. La mitad de los elementos quedan por encima de ese punto, y la otra mitad por debajo de él.
- **Medidas de dispersión**

### Desviación estándar:

Se puede definir como la desviación o diferencia promedio que existe entre cada dato del conjunto y la media aritmética del conjunto. Y se obtiene a partir de la varianza, sacándole raíz cuadrada.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

Para dos muestras con similares resultados.

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_A-1)(S_A)^2 + (n_B-1)(S_B)^2}{(n_A+n_B-2)}}$$

### **Coefficiente de variación.**

Es lo que permite evitar estos problemas, pues elimina la dimensionalidad de las variables y tiene en cuenta la proporción existente entre medias y desviación típica. Se define del siguiente modo:

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

### **Funciones Estadísticas**

En proyectos controlados, la resistencia de las muestras de prueba del concreto asumirá un patrón similar a la curva de distribución normal de frecuencias.

Donde existe un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca de la media y la curva será alta y estrecha. Conforme aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se apartan y la curva se vuelve baja y alargada.

Las características de esas curvas se pueden definir matemáticamente, es posible calcular ciertas funciones útiles de la resistencia mediante

- Promedio
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación

### **Interpretación de los Parámetros Estadísticos.**

Una vez que los parámetros estadísticos han sido calculados, y asumiendo o verificando que los resultados siguen una curva de distribución de frecuencias normal, es posible realizar análisis adicionales de los resultados del ensayo.

Estándares de Control Uno de los propósitos principales de la evaluación estadística de datos del concreto es identificar fuentes de variabilidad.

Este conocimiento puede ser utilizado para ayudar a determinar los pasos apropiados para mantener el nivel de control deseado.

## **Criterios**

### **Aspectos Generales**

- El número de pruebas con resistencias inferiores a la deseada es más importante en el cálculo de la capacidad de las estructuras de concreto, que la resistencia promedio obtenida.
- No resulta práctico especificar una resistencia mínima; ya que, aun cuando exista un buen control, siempre cabe la posibilidad de resistencias más bajas. Aspectos.

En las ecuaciones de diseño se proporcionan F.S. que permiten obtener resistencias específicas, sin poner en peligro la seguridad de la estructura, desarrollados con base en prácticas de construcción, procedimientos de diseño y las técnicas de control de calidad utilizadas en la industria de la construcción.

Se debe recordar que, para una resistencia media dada, si un pequeño porcentaje de los resultados de prueba cae por debajo de la resistencia de diseño, el gran porcentaje correspondiente a los resultados de las pruebas será superior a la resistencia de diseño, con una probabilidad semejante de estar localizada en un área crítica.

El criterio final que concede la probabilidad de que las pruebas caigan por debajo de  $f'_c$  utilizada en el diseño, es la decisión del diseñador, que se basa en el conocimiento íntimo de las condiciones que tienen mayor probabilidad de ocurrir durante la construcción.

El reglamento de las construcciones de concreto reforzado (ACI 318) proporciona directrices a este respecto.

La resistencia promedio del concreto, debe ser superior a  $f'_c$ , la cantidad en exceso depende de la variabilidad esperada en los resultados de las pruebas, tal como se expresa mediante “s” o “v” y del % permisible de pruebas con resultados menores a  $f'_c$ .

Los valores de resistencia para determinar “s” o “v” deben representar un grupo de por lo menos 30 pruebas consecutivas, hechas a una producción de concreto o el promedio estadístico de dos grupos que sumen 30 o más pruebas.

Cuando el número de resultados de ensayo de resistencia está entre 15 y 30, la desviación estándar calculada, se multiplicará por los factores de modificación de la tabla 4.1, la cual ha sido tomada del ACI 318.

**Tabla 2-4 Factores de corrección para ensayos menores a 30.**

Numero de ensayos	Factor de modificacion para la desviacion estandar de la muestra.
menos de 15	
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.0

**Fuente:** ACI 318.

En general, los cambios de materiales y procedimientos tendrán un efecto más grande en el nivel de resistencia promedio que en “s” o “v”. Los cambios significativos incluyen cambios de tipo y marca de cemento portland, de los aditivos, de la fuente de agregados, del proporcionamiento de las batchadas de mezclado, de la entrega de las pruebas.

Para satisfacer los requerimientos de desarrollo de resistencia:

Resistencia Promedio Requerida > Resistencia de Diseño del Concreto

$$f'_{cr} > f'_c$$

Esta cantidad depende de la variabilidad esperada en resultados de ensayos, expresada a través de un coeficiente de variación o desviación estándar y sobre la proporción permisible de ensayos bajos.

### **2.2.7.2. Experimentos factoriales.**

#### **Características.**

Los experimentos factoriales son arreglos de tratamientos que permiten aplicar de una sola vez una serie de estímulos o tratamientos que consideramos intervengan en la respuesta dada por una unidad experimental. por otra parte, cada uno de los factores puede intervenir en diferentes proporciones o niveles; por esto, la combinación de los niveles de los factores genera los diferentes tratamientos, probando así alternativas dentro de cada factor y entre factores en un mismo trabajo. Por lo anterior, un arreglo factorial es aquel en que intervienen dos o más factores, considerando como factor al estímulo representado por más de dos niveles.

Los arreglos factoriales son de importancia práctica, ya que permiten el estudio de un estímulo como tal y su respuesta combinatoria respecto de otras condiciones generadas por la interacción con otros factores, dando así información más completa, aun cuando los efectos interaccionados no sean significativos.

Unas de las desventajas de los arreglos factoriales se refiere al número de tratamientos, que se generan por la combinación de los diferentes niveles; sin embargo, es necesario tomar en cuenta la cantidad de información que se obtiene de estos arreglos, ya que los efectos simples y combinatorios se estudian en forma independiente en el análisis y están en función de  $2^k - 1$ , donde k es igual al número de factores.

Arreglos factoriales en diseños completamente al azar.

#### **Arreglo con dos factores.**

Las características del diseño completamente al azar ya fueron mencionadas; la utilización de este dependerá de las condiciones de las unidades experimentales con que

se trabaje. Por tanto, definimos directamente el modelo y la forma de cálculo para el análisis de varianza.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ilk}$$

$$i = 1,2,3, \dots a$$

$$j = 1,2,3, \dots b$$

$$k = 1,2,3, \dots r$$

Cálculo del análisis de varianza.

**Tabla 2-5 Comparación de un modelo factorial.**

FV	gl	Sc	CM	Fc
Tratamientos	(ab)-1		$\frac{Sc \text{ trats.}}{(ab) - 1}$	$\frac{CM \text{ trats.}}{CM E}$
A	a-1		$\frac{Sc A}{a - 1}$	$\frac{CM A}{CM E}$
B	b-1		$\frac{Sc B}{b - 1}$	$\frac{CM B}{CM E}$
AB	(a-1)(b-1)		$\frac{Sc AB}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CM AB}{CM E}$
Error experimental	ab(r-1)		$\frac{Sc EE}{ab(r - 1)}$	
Total	Abr-1			

Cálculo de sumas de cuadrados.

$$Sc A = \frac{\sum_{i=1}^a Y_{i.}^2}{br} - \frac{Y^2}{abr}$$

$$Sc B = \frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j}^2}{br} - \frac{Y^2}{abr}$$

$$Sc AB = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij.}^2}{r} - \frac{Y^2 \dots}{abr} - (ScA + ScB)$$

$$Sc trats. = Sc A + Sc B + Sc AB$$

$$Sc total = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abr}$$

$$Sc EE = Sc total - Sc trats. o$$

$$Sc EE = Sc total - [Sa A + Sc B + Sc AB]$$

Aquí se consideró A y B como factores con sus respectivos niveles a y b. Las hipótesis para probar en este análisis son:

$$Ho: A_i = A_j$$

$$Ho: B_i = B_j$$

$$Ho = AB_i = AB_j$$

La regla de decisiones sobre las estadísticas de prueba (fc) está en función del contraste de estas, respecto del valor tabular de Snedecor, para los grados de libertad de la fuente de variación en cuestión y el error experimental.

Cuando las estadísticas de prueba son significativas, la hipótesis nula se rechaza. Por tanto, es permisible efectuar comparaciones que permitan definir diferencias entre los efectos simples y combinatorios, pero será necesario ajustar el número de observaciones de donde provienen los diferentes totales.

**Tabla 2-6 Comparación de las distintas variables evaluadas.**

Efecto	Total	Media	Ajuste $S\bar{x}$
A	$Y_{i...}$	$Y_{i...}/br$	$\sqrt{\frac{S^2}{br}}$
B	$Y_{.j.}$	$Y_{.j.}/ar$	$\sqrt{\frac{S^2}{ar}}$
AB	$Y_{ji.}$	$Y_{ji.}/r$	$\sqrt{\frac{S^2}{r}}$

### 2.2.7.3. Programa SPSS.

#### Descripción.

SPSS (Producto de Estadística y Solución de Servicio) para Windows proporciona un poderoso sistema de análisis estadístico y de gestión de datos en un entorno gráfico, utilizando menús descriptivos y cuadros de diálogo sencillos que realizan la mayor parte del trabajo. La mayoría de las tareas se pueden llevar a cabo simplemente situando el puntero del ratón en el lugar deseado y pulsando en el botón, aunque siempre es posible también la utilización de la sintaxis de SPSS que permite la programación de las órdenes que se desea que repita el programa.

Además de la interfaz de los análisis estadísticos, SPSS para Windows proporciona:

- **Editor de datos.** Ventana similar a una hoja de cálculo, que permite definir, introducir, editar y presentar datos.
- **Visor.** Ventana mediante la cual es posible examinar los resultados, mostrarlos y ocultarlos de forma selectiva, modificar el orden de presentación y desplazar tablas y gráficos entre SPSS y otras aplicaciones.
- **Tablas pivote multidimensionales.** Gran parte de los resultados que proporciona SPSS vienen dados en forma de tabla. Las tablas pivote multidimensionales de SPSS permiten reorganizar filas, columnas y capas. Las capas en las tablas permiten la fácil comparación de resultados entre los diferentes grupos que se analicen.
- **Gráficos de alta resolución.** Como funciones básicas de SPSS se incluyen gráficos de sectores, gráficos de barras, histogramas, diagramas de dispersión y gráficos 3-D de alta resolución.
- **Acceso a bases de datos.** SPSS permite el acceso a cualquier base de datos. La utilización de esta importante característica del programa es inmediata gracias al Asistente para bases de datos implementado.
- **Transformaciones de los datos.** Las funciones de transformación permiten preparar los datos para el análisis. Estas funciones permiten crear subgrupos de

datos, combinar categorías, añadir, agregar, fusionar, segmentar y transponer archivos, entre muchas otras posibilidades.

- **Distribución electrónica.** Se pueden enviar informes por correo electrónico pulsando en un botón o exportar tablas y gráficos en formato HTML para distribuirlos por Internet o dentro de una Intranet.
- **Ayuda en pantalla.** SPSS dispone de un importante sistema de ayuda. Durante la ejecución del programa la ayuda muestra una serie de cuadros de diálogo que permiten la ejecución de tareas específicas. Se dispone también de información referente a los resultados de las tablas pivote explicando términos estadísticos. Además, SPSS muestra una serie de ejemplos sobre el modo de utilizar los procedimientos estadísticos e interpretar los resultados.

### **Sintaxis de comandos.**

Como se ha indicado, es posible acceder a la mayoría de los comandos desde los menús y cuadros de dialogo. No obstante, algunas órdenes solo están disponibles mediante el uso del lenguaje de comando. El lenguaje de comandos también permite en otro momento o ejecutarlos en un trabajo automatizado con la Unidad de producción.

Un archivo de sintaxis es simplemente un archivo de texto que contiene comandos. Aunque es posible abrir una ventana de sintaxis y escribir comando, es más sencillo permitir que el programa ayude a construir un archivo de sintaxis mediante uno de los siguientes métodos:

- 1) Pegando las sintaxis de comandos desde los cuadros de dialogo (opción pegar).
- 2) Creando un archivo de sintaxis.

En los ficheros de ayuda en pantalla de un procedimiento determinado, siempre aparece el vínculo sintaxis de comandos en la lista de Temas relacionados. Esta opción permite acceder al diagrama de sintaxis correspondiente al comando en uso. También se dispone

de una completa información sobre el lenguaje de comandos en el manual de referencia de sintaxis (SPSS Base Syntax Reference Guide).

### **Estructura interna de SPSS.**

SPSS está formado por cinco bloques, que reciben el nombre de módulos, cada uno de ellos especializado en una rama de la estadística:

- Módulo base, permite la generación y manipulación de datos y ficheros y la generación de gráficos de alta resolución. Con este módulo se llevan a cabo los análisis estadísticos elementales.
- Módulo Modelos de Regresión, donde se consideran una gran parte de técnicas estadísticas de regresión.
- Módulo Modelos Avanzados, se estudian los diferentes modelos de análisis de la varianza y diseño de experimentos, así como tablas de mortalidad y análisis de supervivencia
- Módulo Categorías, dedicado a los análisis de componentes principales, de correlación canónica, de correspondencias, de homogeneidad y técnicas de Multidimensional Scaling.
- Módulo Tablas, permite la generación de tablas.
- Módulo Tendencias, utilizado para el análisis de series temporales.
- Módulo Análisis Conjunto, para el diseño de experimentos.

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3. CAPITULO III: METODOLOGÍA**

#### **3.1. Ubicación del estudio.**

El estudio se llevará a cabo en San Miguel, cantón el Jute específicamente en la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

#### **3.2. Tipo de investigación.**

El proceso utilizado para la obtención de los datos necesarios será experimental-campo debido a que se obtendrán los datos de las muestras elaboradas en base a procedimiento ya estipulados en el estándar ASTM y posteriormente estas probetas serán expuestas intencionalmente a las condiciones ambientales surgidas en el lapso de tiempo dispuesto abordando así un procedimiento de obtención y recolección de datos de manera experimental desde el campo.

Así mismo existirá un procedimiento netamente experimental ya que una cuarta parte de las muestras será colocada y tratada en condiciones controladas de laboratorio, de manera que no influirán en ellas las condiciones existentes en campo

También se abarca una investigación de tipo cuantitativo debido a que se hará una respectiva tabulación de datos que serán obtenidos en los ensayos a compresión de los especímenes curados en laboratorio y en campo y esta a su vez tendrá una parte correlacionar ya que habiendo obtenido los datos de campo y de laboratorio se procederá a la comparación de los mismos, mediante simultaneo de curvas y trazo de gráficos que muestren las relaciones existentes entre las variables analizadas.

#### **3.3. Unidades de análisis.**

**Resistencia de concreto:** se analizará mediante la experimentación el valor de la resistencia obtenido por los especímenes generados tanto en campo como en laboratorio.

**Tiempo:** las muestras solo serán tomadas y analizadas en los tiempos de 3, 14 y 28 días después del colado del elemento.

El objeto de los ensayos a compresión realizados a la edad de 3, 14 y 28 días es determinar la resistencia a compresión alcanzada por las probetas tratadas de diversas maneras en condiciones de campo.

Para la investigación se consideró útil evaluar las edades de 3, 14 y 28 días debido al respaldo técnico comprobado aportado por la normativa ASTM 1157 donde se muestra la ganancia de resistencia ideal con respecto a la edad del concreto donde se establece que un cemento tipo GU debería lograr una resistencia a compresión de  $100 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 3 días , de igual manera una resistencia de  $280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días, por lo tanto por conveniencia a la obtención de un gráfico descriptivo del comportamiento se buscó una edad intermedia que estuviera contenida en la normativa, siendo esta la realización del ensayo a compresión a la edad de 14 días , tomando en cuenta tres puntos críticos del comportamiento del cual se requiere obtener deducciones matemáticas.

**Método de curado utilizado:** serán analizados tres métodos que son aplicables en obra.

### **3.4. Variables y medición.**

#### **3.4.1. Medición de variables.**

##### **3.4.1.1. Variables independientes.**

**Tiempo:** los tiempos en los cuales se realizará los ensayos de laboratorio de los cilindros y núcleos generados están establecidos por norma como edades a las que es conveniente medir la resistencia del concreto.

**Tratamiento utilizado en campo:** esta variable encierra los tres tratamientos a evaluar, los cuales están definidos con anterioridad.

**Ensayo mediante ASTM C31/C31M-03<sup>a</sup> “Practica estándar para fabricación y curado en la obra de especímenes de concreto para ensayos”:** este proceso será aplicado para los cilindros que permanecerán en campo.

**Condiciones ambientales en San Miguel:** este es un factor incontrolable para las condiciones de campo en donde serán colados y curados los elementos a ensayar.

**Granulometría de agregados:** las características físicas y geométricas de los agregados se mantendrán a lo largo de todo el experimento, utilizando agregados extraídos del mismo banco de material para todas las preparaciones de concreto dispuestas para los diversos tratamientos evaluados.

**Método de elaboración de mezcla y diseño de mezcla:** el proceso de elaboración será estandarizado, es decir que se repetirán los mismos pasos para las diversas elaboraciones de concreto, así mismo, se mantendrán las cantidades del material arrojado por el diseño de mezcla.

#### **3.4.1.2. Variable dependiente.**

**Resistencia a compresión del concreto:** esta es una propiedad mecánica del concreto, esta dependerá de las variables descritas anteriormente.

#### **3.4.1.3. Constantes de experimentación**

Para poder obtener los datos esperados se mantendrán constantes:

- Las cantidades y calidad de los materiales para la elaboración del concreto (diseño de mezcla)
- Las herramientas y equipo para elaborar el concreto.
- Las personas y el procedimiento mediante el cual se elaborarán las probetas cilíndricas.
- La cantidad de agua aplicada en cada riego realizado por el método de aspersión.
- Los moldes para cilindros utilizados.
- Las edades en que se realizaran los ensayos a compresión y a esclerometría siendo estas de 3,14 y 28 días.

### **3.5. Procesamiento y análisis.**

#### **3.5.1. Proceso de experimentación**

El proceso de experimentación será llevado a cabo tanto en campo como en laboratorio, ambos procesos serán realizados en paralelo durante un tiempo estimado de 7 semanas debido a las edades a las que serán ensayados los especímenes de concreto.

- En el campo serán aplicados tres tratamientos, los cuales son: aspersión, membrana de curado y sin curar, los dos primeros serán aplicados imitando la forma de aplicación común en campo. El otro tratamiento aplicado será el que corresponde a la norma por lo cual debe ser aplicado dentro de un laboratorio que posea las condiciones que establece la norma ASTM C192/C192 M y NTC 3512

Para el entendimiento de ambos procesos de experimentación se connotarán en este documento como, fase de campo y fase de laboratorio, ambas son detalladas posteriormente, dentro de ellas existen subdivisiones que denotaran en este documento como escalas.

## **Detalles del procedimiento**

### **Fase de campo**

#### **Escala 1**

##### **Curado en campo**

Esta escala estará basada en el extracto de la norma ASTM C31 presentado a continuación.

#### **Extracto de norma ASTM C31 sección 10. Curado/10.2. Curados en campo/10.2.1 Cilindros**

10.2 Curado en obra—El curado en obra es el método de curado utilizado para los especímenes realizados y curados como se indica en 4.3.

10.2.1 Cilindros—Almacene los cilindros en la estructura o sobre ella tan cerca como sea posible del punto de depósito del concreto representado. Proteja todas las superficies de los cilindros de los elementos de la manera más similar posible que la obra encofrada. Provea a los cilindros con el mismo ambiente de temperatura y humedad que a la obra estructural. Ensaye los especímenes en la condición de humedad resultante del tratamiento de curado especificado. Para cumplir con estas condiciones, los especímenes hechos para determinar cuándo una estructura es capaz de ser puesta en servicio deben ser quitados de los moldes al momento de quitar los encofrados de obra.

Lo propuesto por la norma será respetado, los cilindros serán expuestos a todas las condiciones de campo generadas, evitando disminuir o atenuar las mismas, cada ejemplar será puesto a la intemperie.

### **Detalle de aplicación de tratamientos**

#### **Aspersión**

Se elaborará una columna y 45 cilindros que serán tratados conforme a este proceso.

Los 45 cilindros serán colocados frente a la columna, en contacto con el suelo y expuestos al ambiente al igual que la columna, se verterá agua en la superficie de los cilindros y columna 3 veces al día durante siete días. Posterior a esto no se hará ningún otro procedimiento que busque el aumento de la resistencia a compresión del concreto.

#### **Membrana de curado**

Se elaborará una columna y 45 cilindros que serán tratados conforme a este proceso.

Los 45 cilindros serán colocados frente a la columna, en contacto con el suelo y expuesto al ambiente al igual que la columna, el tiempo de desmoldado será de un día luego del colado, al momento de desmoldar se lavara la superficie de los elementos con agua, posteriormente se aplicará el SIKA ANTISOL(véase anexo N°1, Ficha técnica) mediante un pulverizador procurando una capa uniforme que cubra totalmente la superficie de los elementos. Posterior a esto no será realizado ningún procedimiento que busque el aumento de la resistencia a compresión de los elementos.

#### **Sin curar**

Será elaborada una columna y 45 probetas cilíndricas que estarán sometidas a esta condición.

Los cilindros serán colocados frente a la columna y estarán en contacto con el suelo y expuesto a las condiciones ambientales al igual que la columna, el lapso que permanecerán enmoldados será de un día, al momento de su desmolde no será aplicado

ningún tratamiento que pueda identificarse como curado, tampoco durante el lapso de 28 días.

### **Elaboración de mezcla.**

La mezcla será hecha a mano utilizando la cantidad de agregados, cemento y agua propuestos por el diseño realizado conforme al procedimiento ACI 211-1.

Se limpiará la zona donde abra de realizarse la mezcla evitando que agentes externos no deseados se introduzcan o combinen con la misma.

### **Detalle de cilindro y volumen de mezcla requerido**

Los cilindros a elaborar tendrán una dimensión de 6x12” o 15x30cm, respetando los lineamientos de la norma ASTM que establecen una relación de diámetro/alto de uno a dos, serán elaborados 45 cilindros por cada tratamiento a aplicar, 15 destinados a ensayar en cada edad correspondiente, es decir las edades de 3, 14 y 28 días, lo cual hace un total de 180 cilindros, cada cilindro tiene un volumen de  $0.0055m^3$  obteniendo por los 180 cilindros un volumen total de mezcla requerida de  $1 m^3$ .

### **Detalle de columna y volumen de mezcla requerido**

Se utilizarán formaletas de pino contrachapado, sujeto con tornillos de dos pulgadas de largo. Las dimensiones totales del elemento a realizar serán de 0.25x0.25x1.50 lo que nos da un volumen  $0.093m^3$  por las tres columnas hacen un total de  $0.28 m^3$ . 0.50 cm de la altura del elemento estarán enteran enterrado, el metro restante permanecerá expuesto y será el espacio en el cual se realizarán los ensayos de esclerometría.

### **Esclerómetro de columnas (véase anexo N°2. Gráfico de correlación)**

La superficie de las cuatro caras será dividida en tres partes, logrando así tres rectángulos en cada cara, en estos rectángulos habrá de realizarse el ensayo de esclerometría respetando los dispuesto por la **NTC 3692 “Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido”** donde se describe que deben realizarse 10 rebotes en la superficie a ensayar.

Para la primera columna donde abra de hacerse este ensayo se asignará de manera aleatoria la edad de ensayo de cada rectángulo, tomando un rectángulo de cada cara por cada edad de ensayo logrando así la evaluación total del elemento. Luego el patrón surgido de la distribución será repetido en las dos columnas restantes de manera que sean evaluadas de la misma manera.

El patrón propuesto es el siguiente:

CARA 1	CARA 2	CARA 3	CARA 4
28 DIAS	14 DIAS	3 DIAS	3 DIAS
14 DIAS	3 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
3 DIAS	28 DIAS	28 DIAS	14 DIAS

**Figura 3-1 Formato propuesto para realizar esclerometría en columnas.**

**Formato de esclerometría de columnas**

**Tabla 3-1 Formato de tabla para llevar un registro de IR en las columnas.**

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento:			EDAD:	FECHA:	
CARA #1			CARA#3		
medicon	IR	F'c	medicon	IR	F'c
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
9			9		
10			10		
F'c:					

**Fuente:** Grupo de tesis

### Esclerometría de cilindros

Se realizará ensayo de esclerometría a los cilindros realizando 10 golpes distribuidos aleatoriamente en el área perimetral mientras el espécimen se encuentre apoyado en una base que impida movimientos en la dirección del golpe del martillo.

Se realizara esclerometría a todos los cilindros de 28 días provenientes de campo, también serán ensayados todos los especímenes tratados mediante riego periódico con el objetivo de realizar la correlación de los datos arrojados por la esclerometría y el ensayo de compresión.

Los datos serán registrados en el siguiente formato:

**Tabla 3-2 Formato de tabla para llevar registro del IR en cilindros.**

ESCLEROMETRIA DE CILINDROS												
Tratamiento:			edad:							fecha:		
cilindro	IR										IR PROM	F'c
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
											F'c final	

**Fuente:** Grupo de tesis

## **Organización de muestras**

Los grupos de cilindros que permanecerán en campo constarán de 45 especímenes cada uno, haciendo una diferenciación que permita distinguir el tratamiento que está siendo aplicado a cada grupo mediante una etiqueta colocada en la cara circular superior del mismo donde se muestre el tratamiento aplicado, numeración de probeta y día al que habrá de ser ensayado.

Las batchadas serán elaboradas en diferentes días, siempre respetando las cantidades de material propuestas por el diseño de mezcla sin alterar la relación agua cemento buscando un revenimiento de  $4' \pm 1'$ .

La siguiente programación muestra la distribución de la elaboración de cilindros y el ensayo a compresión en el tiempo, de manera que no se intercepten ninguno de los procedimientos aplicados.



### **Escala 3**

#### **Transporte de especímenes del campo al laboratorio para sometimiento a ensayo de compresión.**

La norma establece que el tiempo de transporte no debe exceder las 4 horas y los cilindros deben ser protegidos de manera que durante el viaje no impacten entre sí o con algún otro objeto que pudiera causar un daño considerable en el espécimen.

Los cilindros serán trasladados en un pickup colocándolos sobre su eje longitudinal y evitando su movimiento y impacto entre ellos mediante retenedores plásticos.

#### **Fase de laboratorio**

##### **Escala 1**

#### **Condiciones de laboratorio**

##### **Tratamiento conforme a la ASTM C192/C192 M.**

8.3 Curado Medioambiental – A menos que se especifique de otra manera todos los especímenes serán curados húmedos a  $73.5 \pm 3.5^\circ \text{F}$  ( $23.0 \pm 2.0^\circ \text{C}$ ) desde el tiempo de moldeo hasta el momento del ensayo (Nota 16). El almacenaje durante las primeras 48 h de curado será en un ambiente libre de vibración. Como aplicado al tratamiento de desmoldar especímenes, el curado húmedo significa que los especímenes de ensayo tendrán agua libre mantenida en el área superficial completa todo el tiempo. Esta condición es reunida mediante el uso de tanques de almacenamiento de agua o un cuarto húmedo de acuerdo con los requerimientos de la Especificación C 511. Cure los cilindros de concreto de peso ligero estructural de acuerdo con la Especificación C 330.

#### **Pilas de curado**

La pila donde permanecerán los cilindros en su curado deberá poseer las condiciones descritas por la **Norma Técnica Colombiana (NTC) 3512** donde está regido la cantidad de cal que debe poseer la pila por cada litro de agua contenido en ella.

## **Escala 2**

### **Sometimiento a ensayo de compresión.**

Solamente 15 especímenes cilíndricos al día serán sometidos al ensayo de compresión.

Para la recopilación de la información se tomará cada uno de los datos obtenidos por los testigos y será registrado en una bitácora que contendrá información específica la cual será, tratamiento al cual fue expuesto el cilindro, temperatura de concreto al colar, procedencia (campo o laboratorio), edad, resistencia a la compresión alcanzada, diámetro, área de la cara circular, peso, tipo de falla mostrada, fuerza aplicada por la máquina de compresión.

**Tabla 3-3 Formato propuesta para recopilación de datos para el ensayo a compresión.**

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMBPOY LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

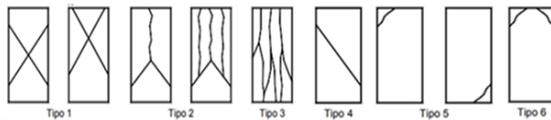
Fecha de elaboración: \_\_\_\_\_

Tratamiento :

Revenimiento: \_\_\_\_\_  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (dias)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	
	% Resistencia a la compresion	

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresió

**Fuente:** Grupo de tesis

### **3.6. Procedimientos Secundarios**

#### **3.6.1. Realización de estudio de granulometría**

Se procederá a seleccionar un banco de material que sea común en la población para la obtención de arena y grava, se procederá a realizar el estudio de granulometría con el fin de definir las características físicas que poseen los materiales.

Este proceso será realizado conforme a lo establecido en la ASTM C33

#### **3.6.2. Prueba de revenimiento**

Será realizada una prueba de revenimiento a todas las bachadas realizadas, estando estas en valores de 3 a 5 pulgadas y variando entre más o menos 1 pulgada.

Este procedimiento será realizado conforme a lo dispuesto en la norma ASTM C143

#### **3.6.3. Medición de la temperatura en campo.**

Este procedimiento se llevará a cabo contando con el respaldo de la estación meteorológica ubicada en la Facultad Multidisciplinaria Oriental, solicitando el registro de temperaturas ambiente experimentadas durante el lapso en el cual será realizado el experimento.

#### **3.6.4. Ensayo estándar para resistencia a compresión**

Todos los especímenes serán sometidos al ensayo estándar para resistencia a compresión respetando todos los procedimientos descritos por la norma ASTM C39/C39M.

La persona que manejará el equipo estará capacitada y certificada para tal fin, todos los ensayos serán realizados en el plantel Holcim San Miguel.

#### **3.6.5. Análisis de datos.**

Esta etapa de la investigación será llevada a cabo luego del proceso de experimentación, de forma detallada y entendible se introducirán los datos recopilados y serán análisis mediante un modelo estadístico que permitirá conocer la relación existente entre cada variable analizada.

Se analizará la población y se comprobará la cercanía de los datos a una curva normal mediante el programa estadístico **SPSS**<sup>5</sup>.

Las fórmulas y procesos presentados a continuación serán los utilizados para ejecutar el análisis de resultados.

### **Promedio $\bar{X}$**

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

$x$  = resultado de ensayo a compresión

$n$  = total de datos

Habiendo ingresado los datos en tablas se procederá a la obtención de este valor.

### **Desviación estándar “S”**

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

### **Coefficiente de variación**

$$V = \left(\frac{S}{\bar{X}}\right) * 100 \%$$

### **Tratamiento estadístico para comparación de los 4 tratamientos.**

Para la comparación estadística de los 4 tratamientos será utilizado el modelo de factorial 4x3, el cual arrojará como resultado el método o tratamiento más eficaz para lograr la resistencia de diseño.

---

<sup>5</sup> Software diseñado para el análisis estadístico

## **CAPITULO IV PROCESO EXPERIMENTAL.**

## 4. CAPITULO IV PROCESO EXPERIMENTAL.

### 4.1. Proceso de experimentación

#### 4.1.1. Elección del espacio

Para la elección del espacio para la realización del experimento se tomaron en cuenta factores como la disponibilidad de agua, el acceso de vehículos de carga como camiones y pickups, que existiera espacio para la deposición de la arena y grava y espacio suficiente e idóneo para la colocación de los cilindros y columnas de manera que estos estuvieran expuestos totalmente a la radiación solar, el viento y las temperaturas ambiente.

Así mismo se catalogó como idóneo el lugar mostrado debido a la cercanía con la estación meteorológica de la cual se obtendrían las temperaturas, velocidades del viento y humedades relativas a lo largo del experimento.

El lugar seleccionado se encuentra al sur-poniente del campus universitario.



**Figura 4-1 Zona de experimentación**

**Fuente:** Grupo de tesis.



**Figura 4-2 Terreno disponible en Campus Universitario**  
**Fuente:** Grupo de tesis.



**Figura 4-3 Vía de acceso a zona de experimentación**  
**Fuente:** Grupo de tesis.

Estimando la conveniencia del terreno que se observa se procedió a realizar la petición ante la administración general universitaria para la utilización de este espacio, cuyo formato se presenta a continuación.

#### **4.1.2. Preparación del terreno**

Se procedió a hacer excavaciones de 40x40 cm y 40 cm de profundidad en donde posteriormente se colocaría el encofrado de las columnas. En total se realizaron tres excavaciones dejando un espacio de cuatro metros entre cada una.

#### **4.1.3. Análisis de agregados**

##### **Análisis de agregado fino**

Se analizó material comercializado en la zona urbana de San Miguel, se extrajeron muestras del banco de agregado fino disponible en la ferretería el Baratillo que es acarreado desde la arenera el Sinaí.

Del material se obtuvieron los datos de granulometría, peso unitario de los agregados, gravedad específica, humedad y absorción de los agregados

##### **Análisis granulométrico**

Llegado el material al laboratorio se procedió a realizar el cuarteo de la muestra utilizando el método de cuarteo manual según la ASTM C 702-03.



**Figura 4-4 Cuarteo manual**

**Fuente:** grupo de tesis.

Se colocaron tres de los cuatro cuartos observados en la imagen (anterior) a secar, cada uno en diferentes recipientes.



**Figura 4-5 Agregado fino en secado**

**Fuente:** grupo de tesis.

### **Granulometría**

Luego de 24 horas de estar las muestras en el horno, se extrajo una de ellas y se pesó hasta alcanzar un peso total de la muestra de un kilogramo.



**Figura 4-6 Peso de muestra para granulometría de agregado fino**

**Fuente:** grupo de tesis.

Se colocó la muestra en los tamices ordenados desde la mayor a menor abertura, específicamente en el orden 4,8,16,30,50 y 100 que son los números de tamices respectivos para el análisis granulométrico de agregado fino según la norma ASTM C(pendiente), antes de ello se realizó el pesado individual de cada tamiz y el fondo.



**Figura 4-7 Colocación de muestra en tamices**

**Fuente:** grupo de tesis.

Posteriormente se colocaron los tamices en el agitador mecánico durante un tiempo de 15 minutos según la ASTM C 136-06



**Figura 4-8 Agregado fino en agitador mecánico.**

**Fuente:** grupo de tesis.

Habiendo terminado el tiempo de agitado se procedió a pesar cada tamiz con el material retenido, obtenido así el peso del material retenido en que una de las mallas.



**Figura 4-9 Material retenido en tamices**

**Fuente:** grupo de tesis.

De estos pesos resultantes se hizo la respectiva tabulación para obtener el módulo de finura y la curva granulométrica.

#### **Absorción de agregado fino**

De las muestras secas se tomó una y se pesó hasta obtener una muestra de peso conocido de un kilogramo para posteriormente ser colocado en un recipiente con agua durante de 24 horas para saturar completamente la muestra.

Luego de 24 horas de permanecer la muestra sumergida se procedió a su extracción para luego ser llevada la condición SSS y ser pesada para de esta manera obtener su valor de absorción.



**Figura 4-10 Extracción de agregado fino saturado**  
**Fuente:** grupo de tesis.



**Figura 4-11 Agregado fino en condición SSS**  
**Fuente:** grupo de tesis.

Posteriormente se pesó la muestra en condición SSS.



**Figura 4-12** Peso muestra en condiciones SSS.  
**Fuente:** grupo de tesis.

### **Análisis de agregado grueso**

El agregado grueso fue adquirido en el banco de material ubicado exactamente en El cantón El Rebalse, dicho material es acarreado desde el banco conocido como “La Hulera”. A dicho material se le hicieron los estudios que se muestran a continuación.

### **Granulometría**

1-Una vez adquirido el material, se procedió a extraer una cantidad de muestra, la cual sería reducida de acuerdo con el estándar ASTM C702-03 que consiste en un cuarteo manual del material.



**Figura 4-13 Cuarteo manual de agregado grueso.**

**Fuente:** grupo de tesis.

2- ya realizado el cuarteo del material se procedió a colocarlo dentro de un horno donde permaneció durante 24 horas a una temperatura de 110 °C ( según recomienda el estándar ASTM C 136-06).



**Figura 4-14 Agregado grueso en horno.**

**Fuente:** grupo de tesis.

3- Pasadas las 24 horas se extrajeron las muestras del horno, procediendo a pesar un 1.5 kg de material en una balanza.



**Figura 4-15 Pesado de agregado grueso**

**Fuente:** grupo de tesis.

4- siguiendo las indicaciones de la ASTM C136-06, se procedió a verter el material pesado dentro de las mallas que van de 1 pulgada,  $\frac{3}{4}$  pulgada,  $\frac{1}{2}$  pulgada,  $\frac{3}{8}$  de pulgada, N°4 y N°8, respetando el orden de mayor a menor abertura.



**Figura 4-16 Agregado grueso en tamices.**

**Fuente:** grupo de tesis.

5- ya vertido todo el material pesado se procedió a descartar aquellas mallas que no habían retenido ningún porcentaje de material y se colocaron las restantes en el agitador de mallas durante un lapso de tiempo de 15 minutos.



**Figura 4-17 Mallas en agitador.**

**Fuente:** grupo de tesis.

6- Transcurrido los 15 minutos se procedió a pesar cada malla con el material retenido en ella, es importante tener previamente los pesos de cada malla vacía antes de que se vierta el material. Finalmente se hacen las respectivas operaciones para poder obtener los datos que permitirán dibujar el grafico de la distribución granulométrica del material.



**Figura 4-18 Material retenido en mallas.**

**Fuente:** grupo de tesis.

#### **Peso unitario del agregado grueso**

1-Una vez adquirido el material, se procedió a extraer una cantidad de muestra, la cual sería reducida de acuerdo con el estándar ASTM C702-03 que consiste en un cuarteo manual del material.



**Figura 4-19 Cuarteo de material.**

**Fuente:** grupo de tesis.

2- ya realizado el cuarteo del material se procedió a ingresarlo dentro de un horno donde permaneció durante 24 horas a una temperatura de 110 °C de acuerdo con la ASTM C29-09.



**Figura 4-20 Colocación de material en horno.**

**Fuente:** grupo de tesis.

3- Transcurrido las 24 horas en el horno se extrae la muestra la cual será vertida en un recipiente cilíndrico que ya ha cumplido con las condiciones que establece la ASTM C29-09, donde se seleccionaron dos procedimientos que permitieron obtener los datos para calcular el valor del peso unitario del agregado, dichos procedimientos son por acomodamiento mediante varillado y acodamiento por sacudida.



**Figura 4-21 Extracción de agregado del horno**

**Fuente:** grupo de tesis.

4- El procedimiento por varillado se inició llenando un tercio del recipiente con material y luego compactar con una varilla de 5/8 de pulgada de diámetro, dando así 25 golpes de forma distribuida en toda la superficie. Luego verter material hasta llegar a 2/3 del recipiente y compactar con la varilla dándole así otros 25 golpes sobre toda la superficie y finalmente se termina de llevar el recipiente hasta que el material sobre pase el borde del recipiente que luego se enraso de manera que ninguna punta de los agregados sobresaliera del borde. Es impórtate recalcar que este proceso se repite 3 veces más y se obtiene un promedio.



**Figura 4-22 Varillado de agregado grueso.**

**Fuente:** grupo de tesis.

5- Finalmente se procede a pesar el recipiente con dicho material en la balanza, importante es conocer ya la masa del recipiente vacío. Luego de obtenido los datos se realizaron la respectiva operación para calcular la densidad del material.



**Figura 4-23 Peso de recipiente con agregado grueso.**

**Fuente:** grupo de tesis.

6- El procedimiento de acomodamiento por sacudida, este se inició llenando un tercio del recipiente con material, es importante que el recipiente este apoyado en una base firme, una vez vertida la primera capa se dé levanta un extremo del recipiente y se deja caer para que dé un golpe en seco sobre la base en la que se encuentra. Lugo verter material hasta llegar a  $2/3$  del recipiente repitiendo nuevamente la forma de acomodamiento de las partículas mediante la forma antes descrita teniendo en cuenta que se deja caer 25 veces por cada extremo y finalmente se termina de llevar el recipiente hasta que el material sobre pase el borde del recipiente que luego se enraso con la mano a manera que ninguna punta de los agregados sobresaliera del borde. Es impórtate recalcar que este proceso se repite 3 veces más y se obtiene un promedio.

7- Finalmente se procede a pesar el recipiente con dicho material en la balanza, importante es conocer ya la masa del recipiente vacío. Luego de obtenido los datos se realizaron la respectiva operación para calcular la densidad del material.

#### **Gravedad específica.**

1- realizado el cuarteo del material según las ASTM C 702-03. Se procedió a ingresarlo dentro de un horno donde permaneció durante 24 horas a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  (según recomienda el estándar ASTM C 127-07)

2- Pasa las 24 horas se extrajo del horno y se pesó el material totalmente seco.



**Figura 4-24 Pesado de material seco.**  
**Fuente:** grupo de tesis.

4- Una vez pesado el material colocarlo en un recipiente con agua donde permanecerá 24 horas sumergido, transcurrido el tiempo se extrajo el material, y se colocó en un paño o franela para absorber el excedente de agua superficial de cada agregado buscando conseguir la condición saturada superficialmente seca (SSS).



**Figura 4-25 Agregado en condición SSS**

**Fuente:** grupo de tesis.

5- Posteriormente se procedió a pesarlo en condiciones SSS (Saturado Superficialmente Seco)



**Figura 4-26 Agregado pesado en condiciones SSS.**

**Fuente:** grupo de tesis.

6- Luego de ser pesado se midió el peso de un recipiente sumergido en agua para obtener su peso aparente, después se colocó el material previamente pesado que estaba en condición saturado superficialmente seco y se obtuvo el peso de todo el material sumergido lo que permite obtener los datos que son necesarios para calcular la gravedad específica (densidad relativa) y absorción del agregado.



**Figura 4-27 Pesado de material sumergido.**

**Fuente:** grupo de tesis.

De estos estudios realizados en los agregados se obtuvieron los datos necesarios para realizar el diseño de mezcla basado en el procedimiento ACI 211.1, esta fue la base para el cálculo de la cantidad de material a utilizar y el proporcionamiento de cada batchada realizada para el llenado de cilindros y colado de columnas que se realizó justamente luego de este proceso.

Habiendo verificado la calidad de los agregados, se aceptaron y se procedió al acarreo del material a la zona de experimentación.

#### **Acarreo de material**

Los agregados fueron colocados sobre carpetas plásticas para evitar la contaminación con materia orgánica y el humedecimiento por parte del suelo.



**Figura 4-28 Acarreo de material.**

**Fuente:** grupo de tesis.

#### **4.1.4. Elaboración de concreto**

Para la elaboración del concreto se construyó una piriguala capaz de contener 0.012 metros cúbicos, para de esta manera garantizar que se estaría usando la misma cantidad de cada material en cada elaboración y buscando un revenimiento de 4 más o menos 1 pulgada. Para verificar esto se realizó un ensayo de revenimiento en cada hecha así como la medición de temperatura del concreto.



**Figura 4-29 Elaboración de concreto.**

**Fuente:** grupo de tesis.



**Figura 4-30 Revenimiento y medición de temperatura.**  
**Fuente:** grupo de tesis.

### **Elaboración de cilindros**

Se utilizaron moldes de 6"x12", siendo estos llenados, colocando primero una capa a un tercio de la altura total del cilindro y realizando 25 punzones con una varilla de 5/8 con punta redondeada, de igual manera la segunda capa hasta alcanzar dos tercios de la altura, y para culminar se colocó la última capa enrazada al borde del molde, acabando la superficie de manera que no quedara protuberancias o hundimientos considerables que pudieran afectar el resultado del ensayo a compresión.



**Figura 4-31 Aceitado de moldes y elaboración de cilindros**  
**Fuente:** grupo de tesis.

#### 4.1.5. Exposición de cilindros a condiciones de campo

Luego de 24 horas los cilindros fueron desmoldados y colocados inmediatamente en las áreas destinadas para su permanencia en el campo, específicamente frente a las columnas, organizados en forma de bloques, separados según el tratamiento aplicados en ellos.



**Figura 4-32 Cilindros expuestos a las condiciones ambientales de campo.**

**Fuente:** grupo de tesis.

#### Cilindros sin curar

Estos cilindros no recibieron ningún tipo de tratamiento y fueron colocados inmediatamente en el campo luego del desmoldado.



**Figura 4-33 Cilindros sin curar expuestos al ambiente**

**Fuente:** grupo de tesis.

### **Cilindros curados por recubrimiento plástico**

Estos cilindros fueron tratados según lo recomendado por la ficha técnica del antisol Sika, que establece que luego del desmoldado debe lavarse con agua la superficie del concreto y aplicar el antisol con un aspersor a presión. Para luego ser colocado a exposición.



**Figura 4-34 Aplicación de membrana plástica y exposición al ambiente.**

**Fuente:** grupo de tesis.

### **Cilindros curados por riego periódico**

Estos cilindros luego de ser desmoldado fueron expuestos a las condiciones de campo y se inició el proceso de curado aplicando este procedimiento tres veces al día y utilizando la misma cantidad de agua para cada cilindro.



**Figura 4-35 Cilindros curado por riego periódico.**

**Fuente:** grupo de tesis.

#### **Cilindros curados conforme al estándar ASTM C192/C192M**

Estos cilindros fueron elaborados de la misma manera que los cilindros destinados a permanecer en campo, su fraguado se dio en las mismas condiciones, solamente se varió la forma de su curado y las condiciones a las que estuvieron expuestos durante su endurecimiento.



**Figura 4-36 Cilindros curados en pilas con temperatura controlada**

**Fuente:** grupo de tesis.

### **Elaboración de columnas**

Las columnas fueron encofradas con plywood y tuvieron una sección de 0.30x0.30 m por un metro de altura, utilizando concreto hecho de la misma manera que el utilizado para los cilindros. Dichas columnas estuvieron expuestas a las mismas condiciones que los cilindros y se aplicaron los diferentes tratamientos de la misma manera. Fueron desencofrados luego de un día.



**Figura 4-37 Encofrado y terminado de columna.**

**Fuente:** grupo de tesis.



**Figura 4-38 Columna aplicados los tratamientos de sin curar, membrana plástica y riego periódico.**

**Fuente:** grupo de tesis.

#### 4.1.6. Traslado de cilindros

Los cilindros fueron trasladados en un pickup desde el campus universitario hasta la planta Holcim San Miguel, colocando cuñas de cartón entre cada cilindro para que no impactaran entre sí.

#### 4.1.7. Ensayo de esclerometría en columnas

##### División de áreas y asignación de edad de ensayo.

Para obtener áreas iguales para las tres edades de ensayo se dividió la altura expuesta de las columnas en tres partes iguales, luego se trazó una línea perpendicular al eje longitudinal de la columna en todo el perímetro obteniendo tres áreas iguales en cada una de las cuatro caras de la columna. Posteriormente se procedió a asignar aleatoriamente una edad de ensayo a cada área resultante, este proceso aleatorio se hizo solamente en una columna, luego se repitió el patrón resultante en las dos columnas restantes. El área mínima de ensayo propuesta por NTC 3692 (Norma Técnica Colombiana) que concuerda con lo propuesto por la ASTM 805-85 es de 15x15 cm, en este caso las áreas resultantes fueron de 25x33 cm.



**Figura 4-39** Cara 2 y cara 4 de columna con áreas asignadas aleatoriamente.

**Fuente:** grupo de tesis.

### Ensayo de esclerometría

Para la realización del ensayo se utilizó un martillo suizo MC test ht-225 el cual contaba con su grafica de correlación respectiva, la norma NTC 3692 propone un espaciamiento de 25mm entre cada rebote, por ello en cada área se trazó una cuadrícula con líneas verticales separadas a 25mm y dos líneas horizontales separadas entre sí a 11 centímetros. Para una correcta obtención del número de rebote se colocó el eje longitudinal del martillo de manera perpendicular a la superficie de la columna y antes de realizar el rebote se raspo la superficie con una piedra de abrasión para eliminar capas blandas y suciedad que podrían afectar el ensayo.



**Figura 4-40 Martillo suizo.**

Fuente: grupo de tesis.



**Figura 4-41 Ensayo de esclerometría.**

Fuente: grupo de tesis.

#### 4.1.8. Esclerometría de cilindros

Este ensayo se realizó solamente a cilindros que tenían 28 días de estar expuestos al ambiente, se construye una base sujeta a una estructura de manera que impidiera el movimiento del cilindro ensayado al momento de recibir el golpe del martillo y así evitar mayores márgenes de error en el ensayo, se realizaron 10 rebotes de manera aleatoria en perímetro del cilindros a diferentes alturas, luego se transportaron los cilindros y aproximadamente una hora después fueron sometidos a compresión en el laboratorio Holcim San Miguel.



**Figura 4-42 Ensayo de esclerometría en cilindros.**

**Fuente:** grupo de tesis.

#### 4.1.9. Ensayo de compresión a cilindros

Este ensayo se realizó de acuerdo con el procedimiento ASTM C39 en la maquina universal del laboratorio Holcim San miguel.



**Figura 4-43** Ensayo a compresión de cilindros.  
**Fuente:** grupo de tesis.

## 4.2. Memoria de cálculo del proceso experimental.

Memoria de cálculo para datos obtenidos en los ensayos realizados a los agregados.

### 4.2.1 Granulometría de arena

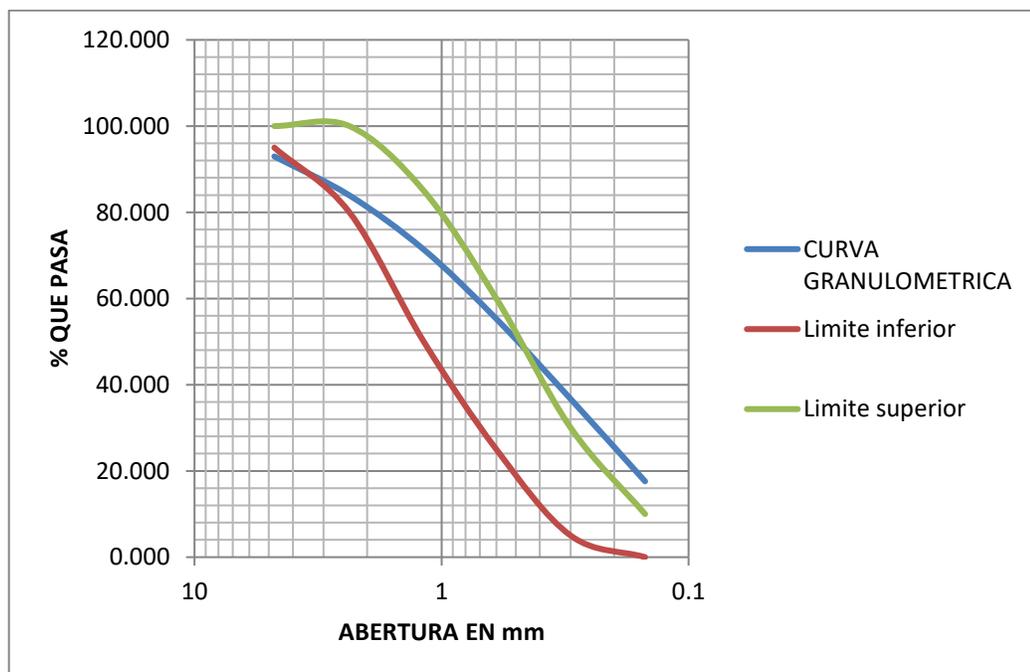
**Tabla 4-1 Porcentaje de peso que pasa por cada tamiz de Arena.**

Tamices (pulgadas)	Tamices (mm)	Retenido (g)	% Peso (Retenido)	%Acumulado	% Peso ( Pasa)	% Pasa ( Requerido)	
# 4	4.75	70	7.035	7.035	92.965	95	100
# 8	2.36	90	9.045	16.080	83.920	80	100
# 16	1.18	125	12.563	28.643	71.357	50	85
# 30	0.6	160	16.080	44.724	55.276	25	60
# 50	0.3	185	18.593	63.317	36.683	5	30
# 100	0.15	190	19.095	82.412	17.588	0	10
Fondo		175	17.588	100.000	0.000		
		995	100.000	MF	2.42		

**Fuente:** grupo de tesis.

$$\text{Modulo de Finura}(MF) = \frac{\sum \% \text{ Acumulado}}{100}$$

**Gráfico 4-1 Curva granulométrica de agregado fino (Arena)**



**Fuente:** grupo de tesis.

Véase anexo N°4, **Fuente:** grupo de tesis.

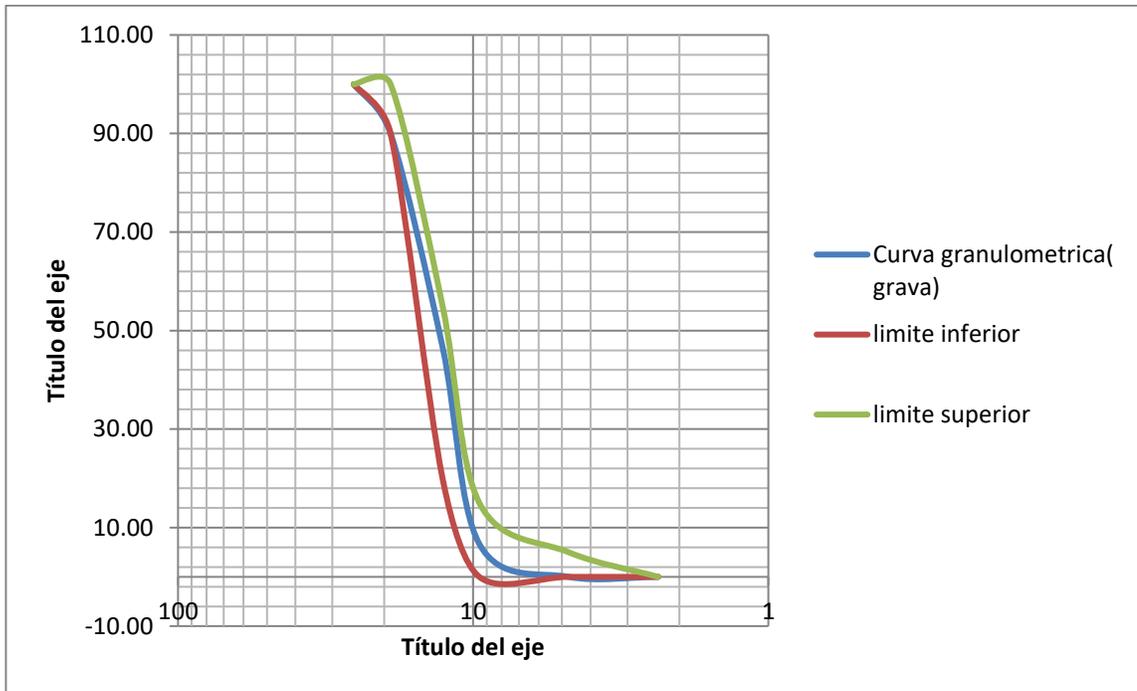
#### 4.2.2. Granulometría de grava

**Tabla 4-2 Porcentaje de peso que pasa por cada tamiz de Grava**

Tamices (pulgadas)	Tamices (mm)	Retenido (g)	% Peso (Retenido)	%Acumulado	% Peso ( Pasa)	% Pasa ( Requerido)	
1	25.4	0	0	100	100	100	100
(3/4)	19.05	0.15	10.00	10.000	90.000	90	100
(1/2)	12.7	0.65	43.33	53.333	46.667	20	55
(3/8)	9.53	0.6	40.00	93.333	6.667	0	15
# 4	4.75	0.1	6.67	100.000	0.000	0	5
# 8	2.36	0	0.00	100.000	0.000	0	0
Fondo		0	0.00				
		1.5	100.00				

**Fuente:** grupo de tesis.

**Grafico 4-2 Curva granulométrica de agregado grueso (Grava)**



**Fuente:** grupo de tesis.

Véase anexo N°4, **Fuente:** grupo de tesis.

### 4.2.3. Densidad de los agregados

#### Grava.

Datos de valor obtenidos en práctica de laboratorio para calcular la densidad de la grava.

Masa de recipiente	2.85 kg
*Volumen de recipiente	0.003 m <sup>3</sup>

\*Procedimiento para obtener el volumen

**Fuente:** grupo de tesis.

Diámetro (D)=14.90 cm = 0.149 m

Altura (H)= 16.2 cm= 0.162 m

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \rightarrow V = \frac{\pi}{4} (0.149 \text{ m})^2 (0.162) = 0.003 \text{ m}^3$$

Determinando la densidad (peso unitario)

$$\text{Densidad} = \frac{G-T}{V}$$

G= masa del agregado más recipiente

T= masa del recipiente

V= volumen

#### SUELTO

- Prueba #1

Peso del molde + peso de la muestra = 7.01 kg

Peso de la muestra = 7.01kg – 2.85kg

Peso de la muestra = 4.16 kg

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{4.16 \text{ kg}}{0.003 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = 1,385.70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #2

Peso del molde + peso de la muestra = 7.00 kg

Peso de la muestra = 7.00kg – 2.85kg

Peso de la muestra = 4.15 kg

$$\begin{aligned} \text{Peso volumétrico suelto} &= \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}} \\ \text{Peso volumétrico suelto} &= \frac{4.15 \text{ kg}}{0.003 \text{ m}^3} \\ \text{Peso volumétrico suelto} &= 1,382.55 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

- Prueba #3

$$\text{Peso del molde + peso de la muestra} = 6.99 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 6.99 \text{ kg} - 2.85 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 4.14 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso volumétrico suelto} &= \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}} \\ \text{Peso volumétrico suelto} &= \frac{4.4 \text{ kg}}{0.0028 \text{ m}^3} \\ \text{Peso volumétrico suelto} &= 1,381.74 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{1,385.70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,382.55 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,381.74 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3}$$

$$\text{Promedio de peso volumétrico suelto} = 1,3833.33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

## **VARILLADO**

- Prueba #1

$$\text{Peso del molde + peso de la muestra} = 7.32 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 7.32 \text{ kg} - 2.85 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 4.47 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso volumétrico varillado} &= \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}} \\ \text{Peso volumétrico suelto} &= \frac{4.47 \text{ kg}}{0.0028 \text{ m}^3} \\ \text{Peso volumétrico suelto} &= 1,488.90 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

- Prueba #2

$$\text{Peso del molde + peso de la muestra} = 7.30 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 7.30 \text{ kg} - 2.85 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 4.45 \text{ kg}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{4.45 \text{ kg}}{0.003 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = 1,483.76 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #3

$$\text{Peso del molde} + \text{peso de la muestra} = 7.31 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 7.31 \text{ kg} - 2.85 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la muestra} = 4.46 \text{ kg}$$

$$\text{Peso volumetrico varillado} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumetrico varillado} = \frac{4.46 \text{ kg}}{0.003 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumetrico varillado} = 1,487.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Promedio de peso volumetrico varillado} = \frac{1,488.90 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,483.76 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,487.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3}$$

$$\text{Promedio de peso volumetrico varillado} = 1,486.67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Arena.**

**Tabla 4-3 Datos de valor obtenidos en práctica de laboratorio para calcular la densidad de la arena.**

Masa de recipiente	2.85 kg
*Volumen de recipiente	0.003 m <sup>3</sup>

\*Procedimiento para obtener el volumen

**Fuente:** grupo de tesis.

$$\text{Diámetro (D)} = 14.90 \text{ cm} = 0.149 \text{ m}$$

$$\text{Altura (H)} = 16.2 \text{ cm} = 0.162 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \rightarrow V = \frac{\pi}{4} (0.149 \text{ m})^2 (0.162) = 0.003 \text{ m}^3$$

Determinando la densidad (peso unitario)

$$\text{Densidad} = \frac{G-T}{V}$$

G= masa del agregado más recipiente

T= masa del recipiente

V= volumen

### SUELTO

- Prueba #1

Peso del molde + peso de la muestra = 6.895 kg

Peso de la muestra = 6.895kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.045 kg

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{4.045\text{kg}}{0.0028\text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = 1,444.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #2

Peso del molde + peso de la muestra = 6.770 kg

Peso de la muestra = 6.770kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 3.92 kg

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{3.92\text{kg}}{0.0028\text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = 1,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #3

Peso del molde + peso de la muestra = 6.920 kg

Peso de la muestra = 6.920kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.07 kg

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{4.07\text{kg}}{0.0028\text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = 1,453.57 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Promedio de Peso volumétrico suelto} = \frac{1,444.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,453.57 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3}$$

$$\text{Promedio de Peso volumétrico suelto} = \text{Peso volumétrico suelto} = 1,432.73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

## VARILLADO

- Prueba #1

Peso del molde + peso de la muestra = 7.205 kg

Peso de la muestra = 7.205kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.355 kg

$$\text{Peso volumétrico varillado} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{4.355\text{kg}}{0.0028\text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = 1,555.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #2

Peso del molde + peso de la muestra = 7.035 kg

Peso de la muestra = 7.035kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.185 kg

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = \frac{4.185\text{kg}}{0.0028\text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumétrico suelto} = 1,494.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #3

Peso del molde + peso de la muestra = 7.030 kg

Peso de la muestra = 7.030kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.180 kg

$$\text{Promedio de peso volumetrico varillado} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Promedio de peso volumetrico varillado} = \frac{4.180\text{kg}}{0,0028\text{ m}^3}$$

$$\text{Promedio de peso volumetrico varillado} = 1,492.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Promedio de peso volumetrico varillado} = \frac{1,555.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,494.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,492.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3}$$

$$\text{Promedio de peso volumetrico varillado} = 1,514.28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

## SACUDIDO

- Prueba #1

Peso del molde + peso de la muestra = 6.865 kg

Peso de la muestra = 6.865kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.015 kg

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = \frac{4.015\text{kg}}{0.0028 \text{ m}^3}$$

$$\text{Promedio de peso volumetrico sacudido} = 1,433.92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #2

Peso del molde + peso de la muestra = 6.865 kg

Peso de la muestra = 6.865kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.015 kg

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = \frac{4.015\text{kg}}{0.0028 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = 1,433.92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Prueba #3

Peso del molde + peso de la muestra = 7.025 kg

Peso de la muestra = 7.025kg - 2.85kg

Peso de la muestra = 4.175 kg

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del molde}}$$

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = \frac{4.175\text{kg}}{0.0028 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = 1,491.07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = \frac{1,433.92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,433.92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1,491.07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3}$$

$$\text{Peso volumetrico sacudido} = 1,452.97 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### 4.2.4. Densidad relativa (Gravedad Especifica).

Grava.

**Tabla 4-4 Datos de valor obtenidos en práctica de laboratorio para calcular la densidad relativa de la grava.**

Masa de recipiente	0.02 kg
Masa de agregado más recipiente	3.98 kg
Masa real de muestra	3.96 kg
Masa de cesta sumergida	1.00 kg
Masa de cesta sumergida más muestra sumergida	3.50 kg
Masa SSS	4.00 kg
Masa de muestra sumergida	2.50 kg

**Fuente:** grupo de tesis.

$$\text{Gravedad Especifica} = \frac{A}{A-C}$$

A= Masa al aire de la muestra secada al horno

B= Masa al aire de la muestra saturada superficialmente seca (SSS)

C= Masa aparente de la muestra en agua.

$$\text{Gravedad Especifica} = \frac{3.96 \text{ kg}}{4.00 \text{ kg} - 2.50 \text{ kg}}$$

$$\text{Gravedad Especifica} = 2.67$$

## Arena

**Tabla 4-5 Datos de valor obtenidos en práctica de laboratorio para calcular la densidad relativa de la arena.**

Masa de picnómetro lleno de agua	1.30 kg
Masa de tara	0.185 kg
Masa de tara más muestra	0.685 kg
Masa de muestra SSS	0.50 kg
Masa de picnómetro con muestra lleno de agua	1.585 kg

**Fuente:** grupo de tesis.

$$\text{Gravedad Especifica} = \frac{S}{A+S-B}$$

S= Masa del espécimen SSS

A= Masa del picnómetro lleno de agua, a la marca de calibración.

C= Masa del picnómetro lleno con el espécimen y agua a la marca de calibración.

$$\text{Gravedad Especifica} = \frac{0.50 \text{ kg}}{1.30 \text{ kg} + 0.50 \text{ kg} - 1.585 \text{ kg}}$$

$$\text{Gravedad Especifica} = 2.33$$

## Húmeda y Absorción de los agregados.

### Porcentaje de humedad de Grava

- Húmeda de muestra original

Peso de tara= 0.095 kg

Peso de muestra más tara= 1.095 kg

- Secado al horno

Peso de tara= 0.095 kg

Peso de muestra más tara= 1.08 kg

$$\% \text{ humedad} = \frac{(W-D)}{D} * 100$$

Donde

W= Masa de la muestra original

D= masa de la muestra seca

$$\% \text{ humedad} = \frac{(1.095 \text{ kg} - 1.08 \text{ kg})}{1.08 \text{ kg}} * 100 = 0.0139 * 100\% = 1.39\%$$

### **Porcentaje de humedad Arena**

- húmeda de muestra original

Peso de recipiente= 0.095 kg

Peso de recipiente más muestra= 0.395 kg

- Secado al horno

Peso de recipiente= 0.095 kg

Peso de recipiente más muestra= 0.365 kg

$$\% \text{ humedad} = \frac{(0.30 \text{ kg} - 0.27 \text{ kg})}{0.27 \text{ kg}} * 100 = 0.1111 * 100\% = 11.11\%$$

### **Porcentaje de absorción Grava**

Peso SSS= 4.00 kg

Peso de muestra seca= 1.96 kg

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(W_{SSS} - W_s)}{W_s} * 100$$

Donde

W<sub>SSS</sub>= Peso de muestra saturada superficialmente seca

W<sub>s</sub>= Peso de muestra secada al horno

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(4.00 \text{ kg} - 3.96 \text{ kg})}{3.96 \text{ kg}} * 100 = 0.0101 * 100\% = 1.01\%$$

### Porcentaje de absorción Arena

Peso SSS= 0.50 kg

Peso de muestra seca= 0.405 kg

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(W_{SSS} - W_s)}{W_s} * 100$$

Donde

$W_{SSS}$ = Peso de muestra saturada superficialmente seca

$W_s$ = Peso de muestra secada al horno

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(0.50 \text{ kg} - 0.405 \text{ kg})}{0.405 \text{ kg}} * 100 = 0.2346 * 100\% = 23.46\%$$

### 4.2.5. Diseño de mezcla de acuerdo a ACI 211-1

**Tabla 4-6 Datos requeridos para diseño de mezcla**

Gravedad Especifica (Grava)	2.64
Gravedad Especifica (Arena)	2.33
Módulo de Finura	2.72
Cemento tipo 1(Gravedad especifica)	2.96
$f'c$	210 kg/cm <sup>2</sup>
Revenimiento	(4±1) pulg
Peso Unitario Suelto	1383.33 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1486.67 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto (Arena)	1565 kg/m <sup>3</sup>
Tamaño Máximo Nominal	¾"

**Fuente:** grupo de tesis.

1) Resistencia Promedio Requerida

Cuando no se tiene desviación estándar

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

$$f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 85 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 285 \text{ kg/cm}^2$$

2) Revenimiento según estructura.

**Tabla 4-7 Revenimiento recomendados para diversos tipos de estructuras.**

Tipo de construcción	Revinimento (cm)	
	Maximo	Minimo
Muros de cimentacion y zapatas reforzadas	7.5	2.5
Zapatas, campana y muros de estructura sencillos	7.5	2.5
<b>Vigas y muros reforzados</b>	<b>10</b>	<b>2.5</b>
<b>columnas para el edificio</b>	<b>10</b>	<b>2.5</b>
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

**Fuente:** ACI 211

Se trabajara con revenimientos para una estructura tipo “columnas para edificio”, con revenimientos de 1-4 pulgadas

Agua de mezclado y contenido de aire de acuerdo a tabla del ACI 211-1, se tiene.

**Tabla 4-8 Requisitos aproximados para el contenido de agua de mezcla.**

Rev. Cms	Agua, kg/cm <sup>3</sup> de concreto, para los tamaños de agregado máximo							
	9.5mm (3/8")	12.7mm (1/2")	19.0mm (3/4")	25mm (1")	37.5mm (1 1/4")	50mm (2")	75mm (2")	150mm (5")
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	<b>205</b>	193	181	169	145	124
15 a 18	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad de aire, aproximada, en el concreto sin aire incluido	3.00%	2.50%	2.00%	1.50%	1.00%	0.5%	0.3%	0.2%

**Fuente:** ACI 211

Se trabajara con un contenido de aire del 2% y con 205 lt, dado que el tamaño del agregado grueso es de 3/4".

3) Relación agua/cemento (a/c)

Este valor será tomado de tabla correspondiente al ACI 211-1, donde dicho valor

depende de  $f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 4-9 Relación entre la resistencia a la compresión del concreto y la relación agua-cemento.**

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm <sup>2</sup>	Relación Agua/Cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450.00	0.38	0.31
400.00	0.43	0.34
350.00	0.45	0.40
300.00	0.55	0.45
250.00	0.62	0.53
200.00	0.70	0.61
150.00	0.80	0.72

**Fuente:** ACI 211

Debido a que no se encuentra un valor exacto para la resistencia requerida, es necesario realizar una interpolación que permita conocer su valor.

250--- 0.62

294--- a/c

300--- 0.55

$$\frac{294-250}{300-250} = \frac{a/c-0.62}{0.55-0.62} \rightarrow a/c = \frac{45*(-0.07)}{50} + 0.62 = 0.56$$

4) Contenido de cemento

$$relacion \frac{a}{c} = \frac{agua \ de \ mezclado}{cemento} \rightarrow cemento = \frac{agua \ de \ mezclado}{relacion \ a/c}$$

$$cemento = \frac{205}{0.56} = 366 \text{ kg/m}^3$$

5) Contenido de agregado grueso

La cantidad de agregado grueso se obtiene mediante tabla, cuyo valor depende del tamaño máximo nominal y el MF.

**Tabla 4-10 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.**

Tamaño máximo de agregado en mm (pulg)	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de agregado la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5(3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5(1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19(3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25(1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5(2 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50(2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75(3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150(6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211

Dado que no se encuentra un valor exacto, es necesario interpolar para poder obtenerlo.

2.60 --- 0.64

2.72 ---  $V_{grava}$

2.80 --- 0.62

$$\frac{2.72-2.60}{2.8-2.60} = \frac{v_{grava}-0.64}{0.62-0.64} \rightarrow v_{grava} = \frac{0.12*(-0.02)}{0.20} + 0.64 = 0.628 \cong 0.63$$

$grava = (W_{vol. de grava})(Vol. de grava por unidad de vol. de concreto)$

$$grava = V_{grava} * P_{vvv}$$

$$grava = 0.63 * 1\ 383.33 \frac{kg}{m^3}$$

$$grava = 871.50 \frac{kg}{m^3}$$

6) Contenido de arena

Una vez determinadas las cantidades de aire, agua, cemento y agregado grueso, el agregado fino se determina con el material faltante para completar un metro cubico de concreto, que se obtiene de la siguiente manera.

$$Vol. arena = 1 m^3 - (Vol. cemento + Vol. grava + Vol. agua + Vol. aire)m^3$$

$$Vol. arena = 1 m^3 - \left( \frac{2}{100} + \frac{205}{1*1000} + \frac{366}{2.96*1000} + \frac{871.50}{2.64*1000} \right) m^3$$

$$Vol. arena = 1 m^3 - 0.679 m^3$$

$$Vol. arena = 0.321 m^3$$

$$Arena = 0.321 m^3 * 2.33 * 1000 \rightarrow Arena = 747.93 kg$$

**Tabla 4-11 Cantidades totales para un metro cubico de concreto.**

Material	Cantidad en volumen	Cantidad en peso	proporción
Cemento	0.124 m <sup>3</sup>	366.00 kg	$\frac{366 kg}{366 kg} = 1$
Arena	0.325 m <sup>3</sup>	757.25 kg	$\frac{747.93 kg}{366 kg} = 2$
Grava	0.326 m <sup>3</sup>	871.50 kg	$\frac{871.50 kg}{366 kg} = 2.4 \cong 2$
Agua	205 lt	205 lt	205 lt

**Fuente:** grupo de tesis.

Ajustes por húmeda y absorción de agregados.

**Agua**

$$Agua = 205 - \left[ \left( \frac{(\% H_{Grava} - \% A_{Grava}) W_{Grava \text{ por } m^3}}{100} \right) + \left( \frac{(\% H_{Arena} - \% A_{Arena}) W_{Arena \text{ por } m^3}}{100} \right) \right]$$

$$Agua = 205 - \left[ \left( \frac{((1.39\% - 1.01\%) 871.50 kg)}{100} \right) + \left( \frac{((11.11\% - 23.46\%) 757.25 kg)}{100} \right) \right]$$

$$Agua = 295.2 lt$$

**Grava**

$$Grava = W_{Grava \text{ por } m^3} * \left( 1 + \frac{\% H_{Grava}}{100\%} \right)$$

$$Grava = 871.50 kg * \left( 1 + \frac{1.39\%}{100\%} \right) = 883.61 kg$$

**Arena**

$$Arena = W_{Arena \text{ por } m^3} * \left( 1 + \frac{\% H_{Arena}}{100\%} \right)$$

$$Arena = 757.25 kg * \left( 1 + \frac{11.11\%}{100\%} \right) = 841.38 kg$$

**Tabla 4-12 Nuevas cantidades en peso para un metro cúbico de concreto, por ajuste de humedad y absorción.**

Material	Cemento	Arena	Grava	Agua
Cantidad en peso	366.00 kg	841.39 kg	883.61 kg	295.2 lt

**Fuente:** grupo de tesis.

### 4.3. Presentación de datos

**Tabla 4-13 Cuadro resumen de los resultados de la resistencia a compresión en cilindros ensayado según ASTM C39.**

Cuadro Resumen de las resistencias de los ensayos a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )				
Tratamiento Edad(días)	ASPERSION	MEMBRANA DE CURADO	SIN CURAR	CONDICIONES CONTROLADAS
3	113.73	77.82	78.76	114.15
14	241.65	180.50	167.78	244.15
28	291.49	263.44	170.04	304.80

**Fuente:** grupo de tesis

**Tabla 4-14 Cuadro resumen de los resultados de la resistencia a compresión en columnas ensayado por esclerometría.**

Cuadro Resumen de las resistencia por esclerometria a columnas (kg/cm <sup>2</sup> )			
Tratamiento Edad(días)	ASPERSION	MEMBRANA DE CURADO	SIN CURAR
3	108.00	101.00	105.00
14	142.00	157.00	133.00
28	165.00	194.00	168.00

**Fuente:** grupo de tesis

**Tabla 4-15 Cuadro resumen de los resultados de la resistencia a compresión en cilindros ensayado por esclerometría.**

Cuadro Resumen de las resistencia por esclerometria a colindros (kg/cm <sup>2</sup> )			
Tratamiento Edad(días)	ASPERSION	MEMBRANA DE CURADO	SIN CURAR
28	154.00	164.00	134.00

**Fuente:** grupo de tesis

Ver anexos N°5, N°6 Y N°7 donde se presentan de forma individual los resultados por ensayo realizado a cilindros y columnas.

#### 4.3.4. Datos de condiciones medio ambientales durante el proceso de experimentación

**Tabla 4-16 Registro de variable ambientales consideradas durante periodo de experimentación.**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

CUADRO DE CONTROL DE LAS VARIALES DE: TEMPERATURA, HUMERDAD DEL AIRE Y VELOCIDAD DEL VIENTO

FECHA	HUMEDAD RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO(km/h)	TEMPERATURA(°C ): 9:00 AM	TEMPERATURA(°C): 1:00 PM	TEMPERATURA(°C ): 4:00 PM	TEMPERATURA MAXIMA EN EL DIA
13/05/2019	75	3	30.7	35.8	33.4	37.7
14/05/2019	84	6	30.7	34.3	32.5	36.3
15/05/2019	81	6	29.7	32.6	33.4	35.4
16/05/2019	75	3	29.2	37	32.6	38.4
17/05/2019	96	3	30.8	24.4	30.6	35.2
18/05/2019	69.3	5	26.2	33	30.2	32.7
19/05/2019	65	7	28.8	34.8	27	36.4
20/05/2019	56	8	27.8	33.3	33	36.8
21/05/2019	60	6	28.4	34.6	33	36.2
22/05/2019	71.3	15	28.2	33	31	34
23/05/2019	68	6	27.6	33.3	31.9	34.9
24/05/2019	75.66	6	24.6	32	30.6	33
25/05/2019	78	6	26.2	32.6	30	33.8
26/05/2019	72	6	26.7	31.9	31.9	34
27/05/2019	68.33	6	29	32.8	27.4	34
28/05/2019	73.33	6	26	32.6	31.3	33.4
29/05/2019	100	/	24.7	24.4	26.4	26.8
30/05/2019	79	/	25	30	29.2	31.6
31/05/2019	85	/	26	27.6	27.6	29
01/06/2019	86	/	25.4	24.2	30	30.4
02/06/2019	86	6	27.2	26.6	27.8	29.6

**Fuente:** Estación Meteorológica, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

**Tabla 4-17 Registro de variable ambientales consideradas durante periodo de experimentación**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

CUADRO DE CONTROL DE LAS VARIALES DE: TEMPERATURA, HUMERDAD DEL AIRE Y VELOCIDAD DEL VIENTO

FECHA	HUMEDAD RELATIVA	VELOCIDAD DEL VIENTO(km/h)	TEMPERATURA(°C ): 9:00 AM	TEMPERATURA(°C): 1:00 PM	TEMPERATURA(°C ): 4:00 PM	TEMPERATURA MAXIMA EN EL DIA
03/06/2019	78	6	27.8	31	31.8	32.4
04/06/2019	66	6	29.8	33.8	33	36
05/06/2019	65.66	6	30	34.2	32.3	35
06/06/2019	66	6	30	34.8	33	35.4
07/06/2019	76	6	29.4	30.9	30.6	33.5
08/06/2019	70.33	/	29.2	32	31.6	34
09/06/2019	73.33	/	29	33.8	31.4	34.2
10/06/2019	67.67	/	29.2	33	33.7	35.4
11/06/2019	56.67	/	29.8	36.2	35.4	37.2
12/06/2019	64	/	29	34.7	34.2	35.7
13/06/2019	70	/	26	32	32	34
14/06/2019	63	/	26.6	33	32.8	34.3
15/06/2019	57.33	/	30	34	34	36.4
16/06/2019	59.33	/	30.1	34.8	33.2	35.8
17/06/2019	60.33	/	29.4	34.6	34.4	34.4
18/06/2019	59.33	/	30	36.2	37.6	38
19/06/2019	52.33	/	30.6	36.7	37.3	38.4
20/06/2019	57.67	/	31	37	36	38.2
21/06/2019	69.33	/	28.6	34	34.2	35.6
22/06/2019	64	/	29.2	32.9	31.7	34.2
23/06/2019	64.33	/	28	34.6	33	36
24/06/2019	47.33	/	28.4	34.2	33	35.5

**Fuente:** Estación Meteorológica, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

**Tabla 4-18 Cuadro resumen de promedio de las condiciones ambientales .**

SEMANA	PROMEDIO HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%)	PROMEDIO VELOCIDAD DEL VIENTO (km/h)	PROMEDIO TEMPERATURA(°C): 9:00 AM	PROMEDIO TEMPERATURA(°C): 1:00 PM	PROMEDIO TEMPERATURA(°C): 4:00 PM	PROMEDIO TEMPERATURA MAXIMA EN EL DIA(°C)
1	77.90	4.71	29.44	33.13	31.39	36.01
2	68.71	7.57	27.07	32.96	31.63	34.67
3	82.52	2.57	26.19	28.31	28.53	30.69
4	62.57	0.00	28.67	33.96	33.61	35.54
5	57.80	0.00	30.22	35.86	35.70	36.96
6	59.33	0.00	29.40	35.03	34.65	36.29
PROMEDIOS GLOBALES	68.14	2.48	28.50	33.21	32.58	35.03

**Fuente:** Grupo de tesis.

Los valores que determinan las condiciones ambientales mostrados anteriormente no están numéricamente expresados en las ecuaciones supuestas para la problemática estudiada, solamente serán útiles para enmarcar en que rango de valores será aplicable el modelo matemático que abra de obtenerse.

Estableciendo que las formulas obtenidas serán aplicables en los rangos de condiciones ambientales siguientes:

Humedad relativa	Temperatura ambiente		Velocidad del viento
75±7%	Mínima	Máxima	Entre 2 y 8 km/h
	28±2°	35±2°	

**Fuente:** Grupo de tesis.

Todo ello para mediciones de condiciones ambiente hechas en horarios laborales de la construcción.

## **CAPITULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.**

## 5. CAPITULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.

### 5.1. Análisis de resultados de resistencias a compresión de los 4 tratamientos de curado.

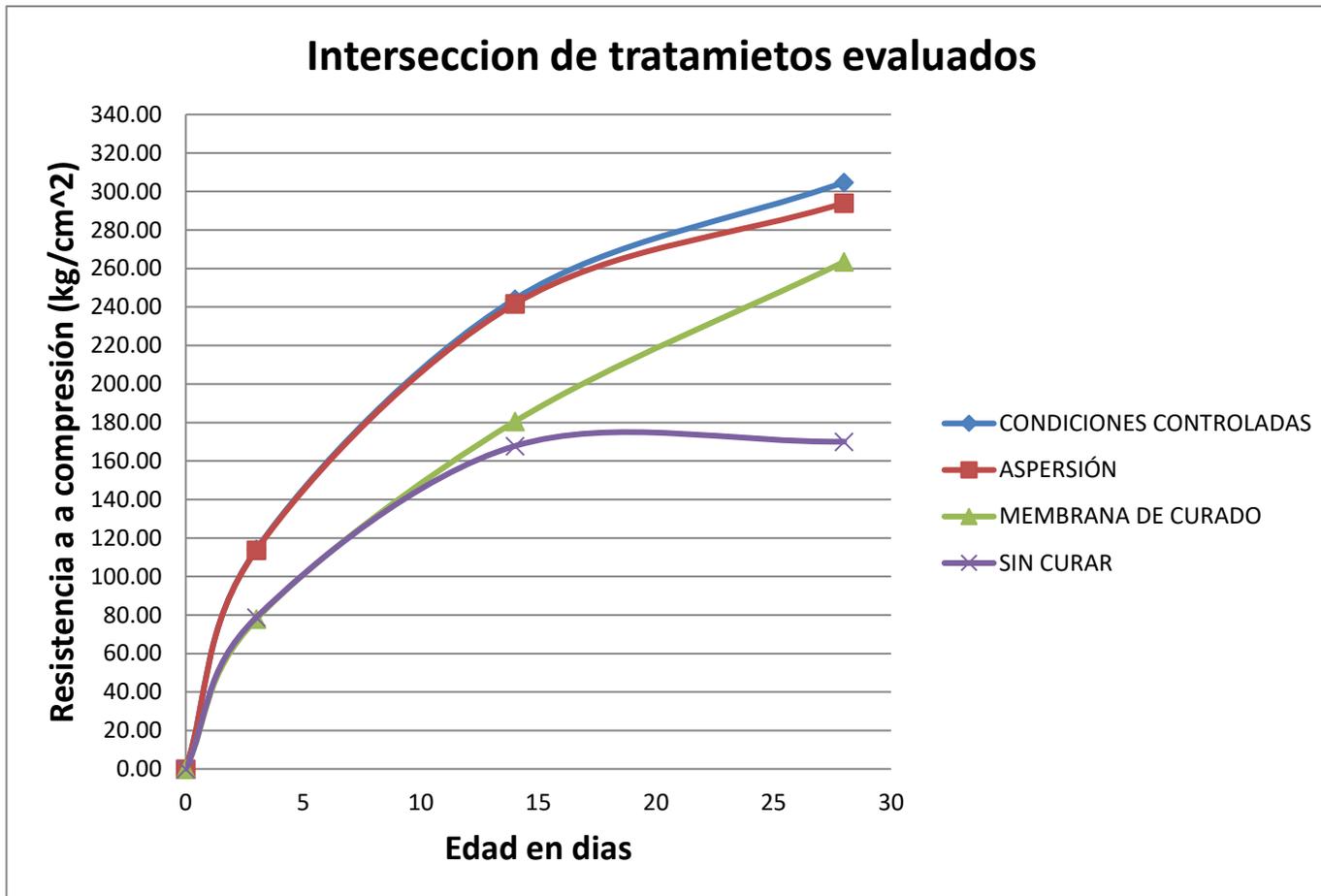
El comportamiento del concreto presento variaciones de diversas magnitudes entre los diferentes tratamientos y con respecto a la resistencia para la cual fue diseñado, esto dependió del tratamiento aplicado en su proceso de endurecimiento. Los cuadros y graficas presentadas a continuación presentan los valores de resistencia alcanzados por cada tratamiento, especificando la edad y el método al que corresponden dichos resultados.

**Tabla 5-1 Resistencia promedios de cada tratamiento a las 3 edades de ensayo.**

EDAD	TRATAMIENTO			
	CONDICIONES CONTROLADAS	ASPERSIÓN	MEMBRANA DE CURADO	SIN CURAR
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	114.15	113.73	77.82	78.76
14	244.15	241.65	180.50	167.78
28	304.80	293.98	263.44	170.04

**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-1 Comportamiento de la ganancia de resistencia del concreto curado con distintos tratamientos**



Fuente: grupo de tesis

Puede observarse como el concreto bajo las condiciones controladas propuestas por el ASTM C192/C192M aumenta exponencialmente su valor de resistencia con respecto al tiempo. El concreto tratado por aspersión presenta básicamente el mismo comportamiento, alcanzando grandes resistencias, separándose muy poco de los resultados obtenidos por el tratamiento en condiciones controladas con 293.98 Kg/cm<sup>2</sup> contra 304.80 Kg/cm<sup>2</sup> mostrando una diferencia de 10.82 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.

El concreto tratado sin curar y mediante membrana de curado presenta resistencias aproximadamente iguales a edades tempranas, sin embargo, al avance del tiempo, la curva del comportamiento del concreto curado mediante membrana se desprende aumentando su valor de resistencia a la compresión sin lograr alcanzar la resistencia obtenida por el concreto tratado por aspersión, pero sobrepasando el valor de 210Kg/cm<sup>2</sup> con un excedente de 53.44 Kg/cm<sup>2</sup> y 41.36 Kg/cm<sup>2</sup> por debajo de la resistencia alcanzada por el concreto curado bajo condiciones controladas.

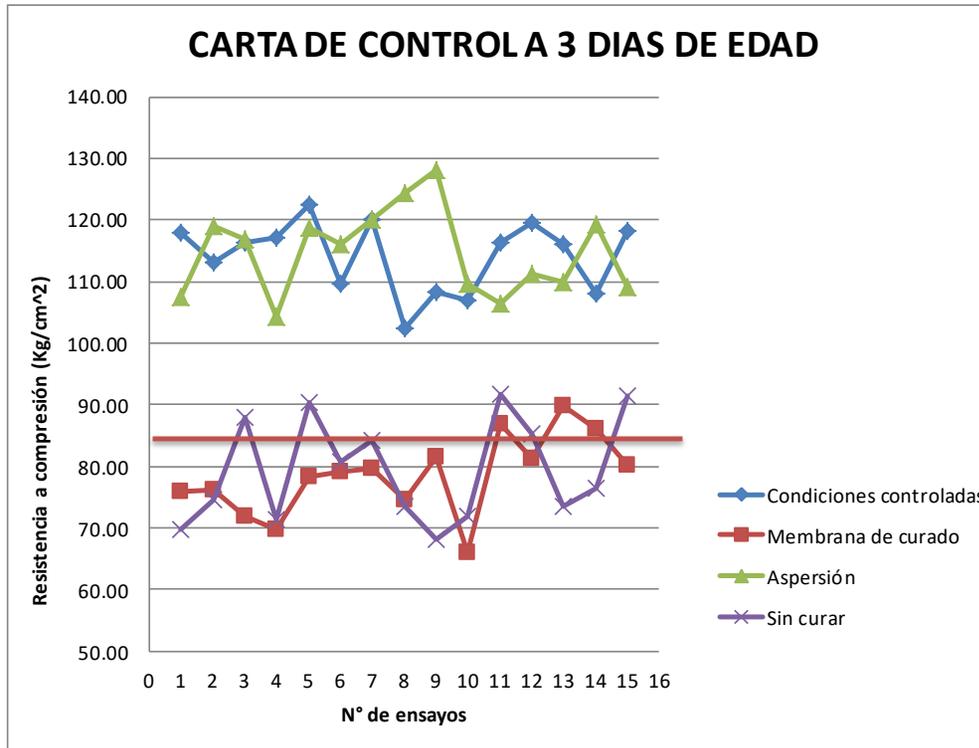
El concreto sin curar presento un comportamiento anormal, logrando resistencias aceptables a la edad de tres días, igualándose con los resultados del tratamiento de membrana de curado , a los catorce días presento una resistencia de 167.78 Kg/cm<sup>2</sup> llegando a los veintiocho días sin un aumento considerable de resistencia, quedando por debajo de la resistencia esperada de 210 Kg/cm<sup>2</sup> con un faltante de 39.96 Kg/cm<sup>2</sup>, y con 134.76 Kg/cm<sup>2</sup> por debajo de la resistencia a compresión alcanzada por el concreto curado bajo condiciones controladas según la ASTM C192/C192M.

## **5.2. Registro del comportamiento de los resultados de resistencias a compresión.**

### **Cartas de control a 3,14 y 28 días**

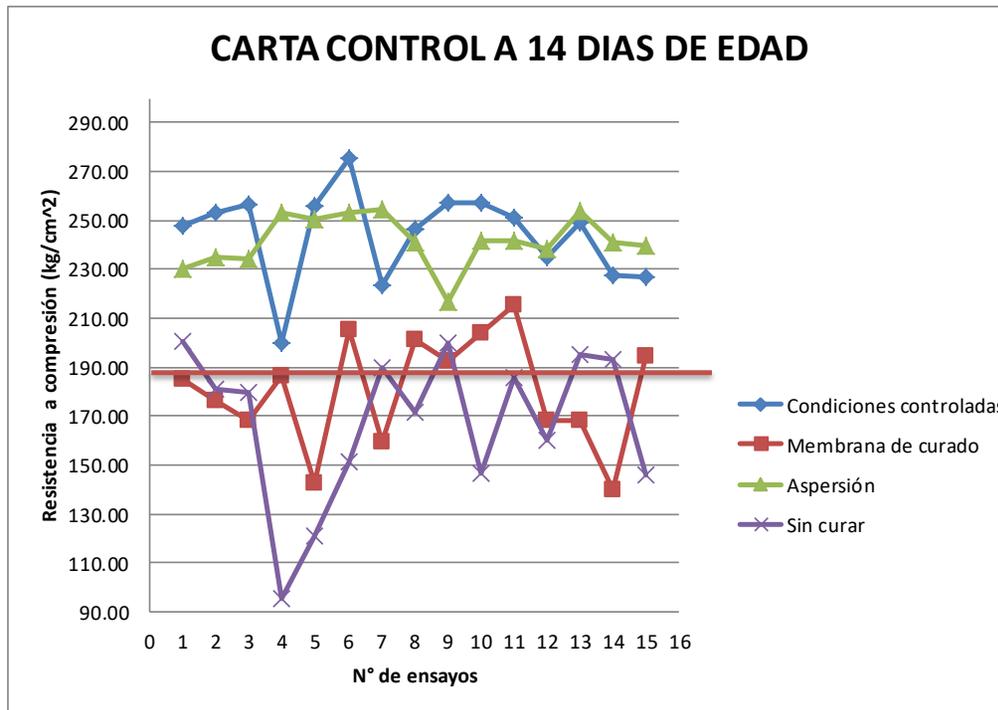
Mediante un gráfico de dispersión en donde se han colocado todos los valores de resistencia obtenidos por los cuatro tratamientos evaluados puede observarse el comportamiento del concreto tratado de diversas maneras, mostrando en que edades se presentan las mayores diferencias. Cabe destacar que deben trazarse líneas constantes que muestran la resistencia esperada la cual está respaldada por la ASTM 1157 donde se establece que para una edad de 3 días se debe tener una resistencia del 40% de la resistencia final esperada, para 14 días debe tenerse el 90% y para 28 días debe tenerse el 100% de la resistencia a compresión.

**Gráfico 5-2 Carta de control de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 3 días.**



**Fuente:** grupo de tesis

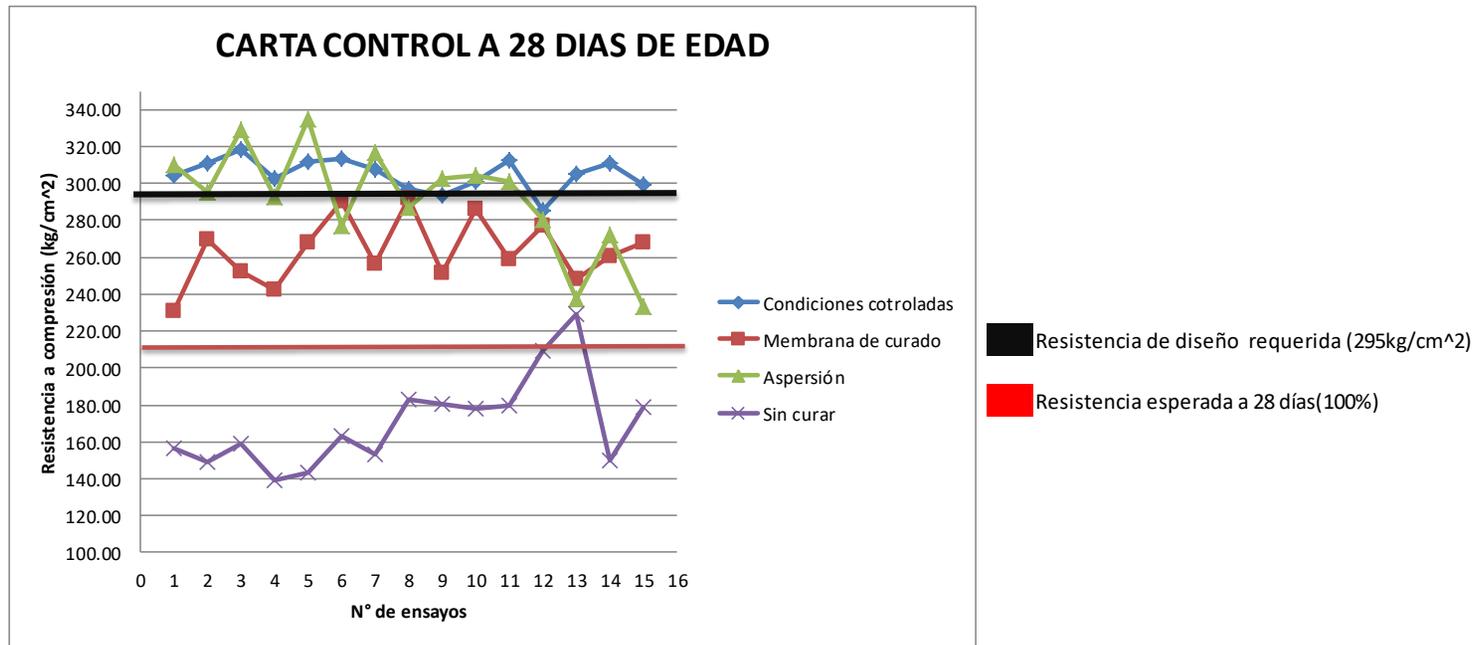
**Grafico 5-3 Carta de control de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 3 días**



■ Resistencia esperada a 14 días(90%)

**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-4 Carta de control de los resultados de resistencia a la compresión a la edad de 3 días**



**Fuente:** grupo de tesis

De estos gráficos puede deducirse que la superioridad en cuanto a resistencia de compresión alcanzada es constante por parte de los tratamientos de aspersión e inmersión bajo condiciones controladas según la ASTM C192/C192M, colocándose siempre por encima del valor de resistencia teórico esperado, siendo ambos tratamientos los que presentan la mayor cercanía entre sí.

El concreto sin curar y el tratado mediante membrana de curado presento comportamientos muy similares a edades tempranas, inclusive fueron muy cercanos a la edad de 14 días, sin embargo, el concreto sin curar dejo de aumentar su resistencia a partir de los 14 días, llegando a los 28 días de edad con una resistencia que no presento un aumento significativo, quedándose así por debajo de la resistencia esperada de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.3. Comparación de resultados de resistencias a compresión obtenidos por ensayos a compresión y esclerometría.

#### Esclerometría de columnas contra resistencia a compresión de cilindros

Como se explicó anteriormente en este documento, el ensayo de esclerometría es útil para estimar la resistencia a compresión de un elemento de concreto, no obstante, siempre es necesario realizar ensayos destructivos que muestren la resistencia real del concreto para poder relacionar así los demás datos obtenidos por los diversos tratamientos y asignar un valor más certero a la lectura de resistencia a compresión obtenida mediante el índice de rebote.

**Tabla 5-2 Comparación de resistencias obtenidas por ensayo a compresión vs esclerometría en cilindros.**

EDAD	SIN CURAR		MEMBRANA CURADORA		ASPERSION	
	COMPRESION	ESCLEROMETRIA	COMPRESION	ESCLEROMETRIA	COMPRESION	ESCLEROMETRIA
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	78.76	105.00	77.82	101.00	113.73	108.00
14	167.78	133.00	180.50	157.00	241.65	142.00
28	170.04	168.00	263.44	194.00	293.98	165.00

**Fuente:** grupo de tesis

En el cuadro anterior se muestran todos los resultados obtenidos para los tratamientos aplicados en campo, a los cuales se realizó el ensayo de esclerometría a las columnas preparadas para ser ensayadas a los 28 días. Puede observarse las diferencias de resistencia obtenidas por el ensayo de esclerometría a columnas y el ensayo de compresión a cilindros, es importante analizar estos resultados ya que permiten observar las diferencias entre el comportamiento de la superficie y el núcleo del mismo elemento de concreto, observando que los valores que presentan más cercanía a los 28 días son los del concreto que no recibió ningún tratamiento. Profundizando en el análisis de este resultado puede deducirse que la poca separación de estos datos tiene que ver directamente con el porcentaje de hidratación logrado por el núcleo del concreto y por la superficie; por lo tanto si este no ha sido curado, el núcleo sufre una pérdida total de humedad al igual que la superficie, es decir, que se muestra mediante estos datos la

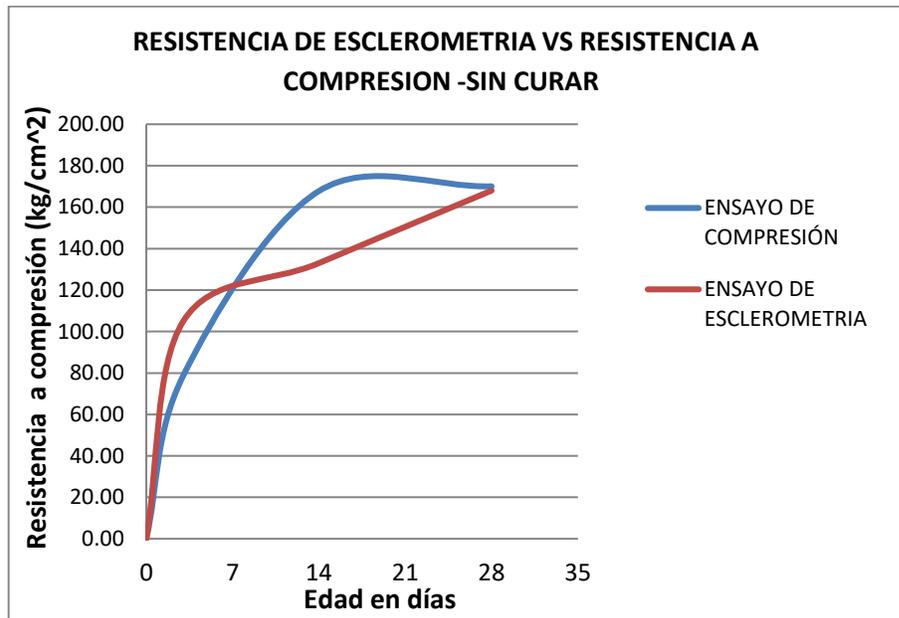
igualdad de las condiciones en la que se encontró el concreto tanto superficial como internamente para el caso en el que no se aplicó ningún tratamiento de curado.

Totalmente contrario es el comportamiento mostrado por el concreto curado mediante aspersión de agua de manera periódica, obteniendo un índice de rebote que se traduce en una resistencia a compresión muy por debajo de la resistencia obtenida por el cilindro sometido al ensayo destructivo. Deduciendo el porqué de esto, puede observarse como la superficie sufría una pérdida muy alta de humedad ya que es el área expuesta a todas las condiciones agresivas presentadas por el ambiente, pero debido a que se aportaba la humedad necesaria realizando riegos de agua de manera periódica, el núcleo del concreto seguía poseyendo la humedad necesaria para continuar su proceso de hidratación de manera eficaz, traduciendo esto en altas resistencias obtenidas mediante un ensayo que evalúa la totalidad del elemento y bajas resistencias mediante un ensayo que evalúa solamente la dureza superficial.

En el tratamiento de membrana de curado se muestra básicamente el mismo comportamiento que los datos mostrados por el tratamiento de aspersión, aunque elevando un poco la resistencia obtenida mediante el ensayo de esclerometría, esto debido a que la membrana de curado proporciona una capa extra que se cristaliza en conjunto con la capa superficial del concreto, aumentando de esta manera la dureza superficial del elemento y por ende aumenta el índice de rebote obtenido en el ensayo de esclerometría.

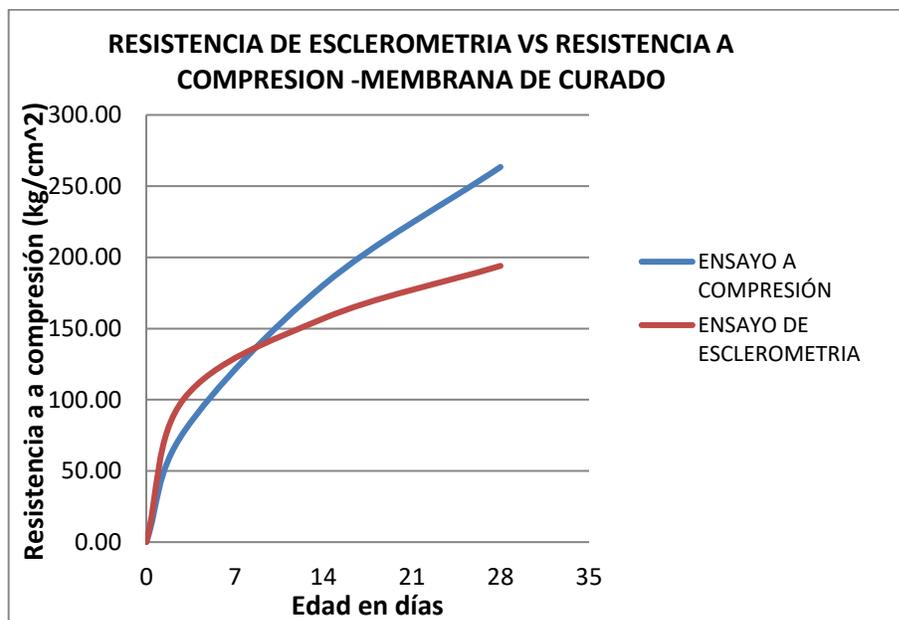
A continuación, se muestran los gráficos de intersección entre la lectura de resistencia obtenida mediante la realización del ensayo de esclerometría a columnas y la lectura de resistencia a compresión obtenida por los cilindros mediante el ensayo de compresión.

**Grafico 5-5 Resistencia a compresión vs resistencia a la compresión de esclerometría- Sin Curar.**



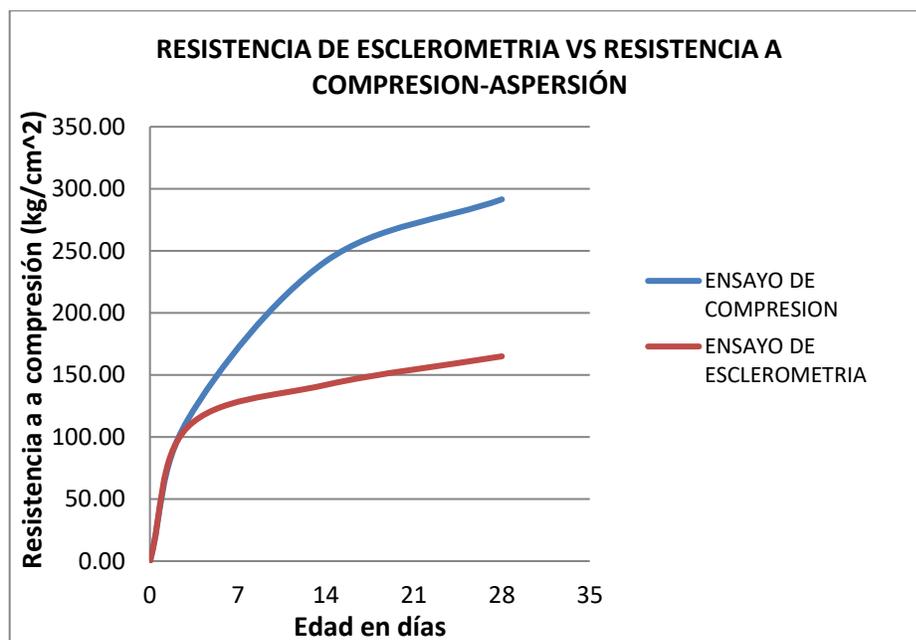
Fuente: grupo de tesis

**Grafico 5-6 Resistencia a compresión vs resistencia a la compresión de esclerometría- Membrana de Curado.**



Fuente: grupo de tesis

**Grafico 5-7 Resistencia a compresión vs resistencia a la compresión de esclerometría- Aspersión.**



**Fuente:** grupo de tesis

Puede observarse las notables diferencias existentes, siendo esto la evaluación de un mismo concreto bajo las mismas condiciones. Para determinar la resistencia real de la columna de una forma más certera se realizó un ensayo de esclerometría a los cilindros provenientes de los tratamientos dispuestos a ser ensayados a los 28 días, con el fin de establecer cuán cercanos podrían ser los datos arrojados por la esclerometría en ambos casos y estableciendo que entre más cercanos fueran los datos de índice de rebote de columnas y de cilindros respectivamente, la resistencia real de la columna correspondería a la resistencia real obtenida por el cilindro mediante el ensayo a compresión en la máquina universal.

Las diferencias presentadas entre los ensayos de esclerometría son mínimas en la mayoría de los casos, no siendo así en el caso de la comparación de la estimación de la resistencia mediante esclerometría y la resistencia a compresión obtenida mediante el

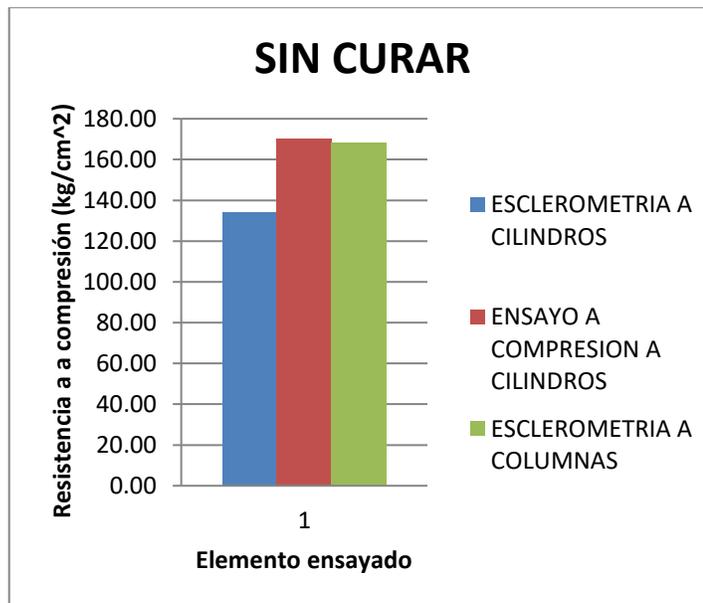
ensayo estándar para lo cual se han graficado las diferencias para una mejor comprensión, relacionando las tres variables en cuestión he interpretar así la relación existente.

**Tabla 5-3 Resistencias promedios en cilindros y columnas con distintos tratamientos de curado**

Método	Elemento	Ensayo de resistencia a compresión	Resistencia( kg/cm <sup>2</sup> )
SIN CURADO	Cilindros	Esclerometria	134.00
	Cilindros	Maquina Univeral	170.04
	Columna	Esclerometria	168.00
Membrana de curado	Cilindros	Esclerometria	164.00
	Cilindros	Maquina Univeral	263.44
	Columna	Esclerometria	194.00
Aspersion	Cilindros	Esclerometria	154.00
	Cilindros	Maquina Univeral	291.49
	Columna	Esclerometria	165.00

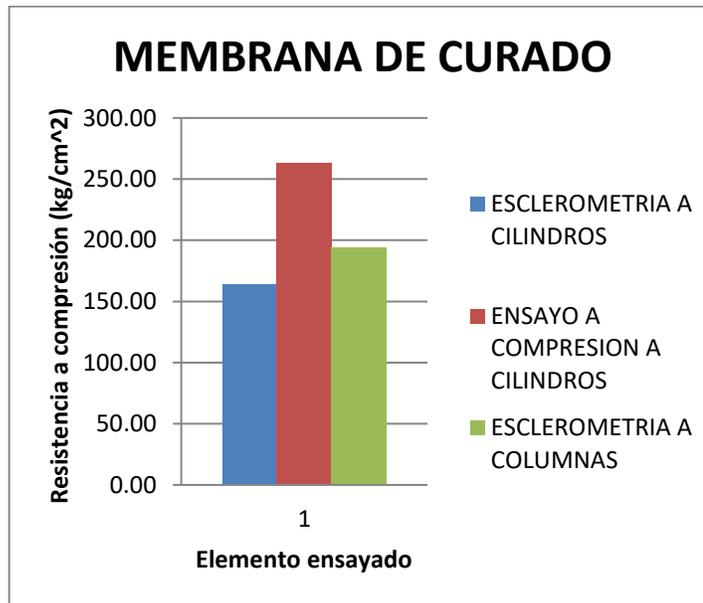
**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-8 Resistencia obtenida en cilindros y columnas por ensayos a compresión y esclerometría-Sin Curar.**



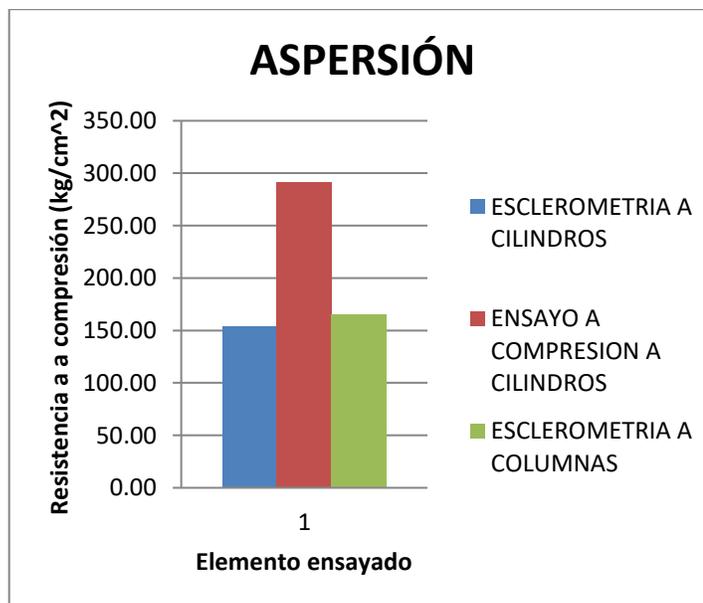
**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-9 Resistencia obtenida en cilindros y columnas por ensayos a compresión y esclerometría-Membrana de Curado.**



Fuente: grupo de tesis

**Grafico 5-10 Resistencia obtenida en cilindros y columnas por ensayos a compresión y esclerometría-Aspersión.**



Fuente: grupo de tesis

#### 5.4. Correlación de resultados de IR de esclerometría de cilindros y columnas.

Para obtener la confiabilidad con que se ha determinado la resistencia a compresión real de la columna se partirá de la condición establecida por la normativa ASTM 805 (NTC 3692) que establece que un dato de índice de rebote obtenido durante el ensayo de esclerometría que se aleje 7 o más unidades de cualquiera de los datos anteriormente tomados se descartara el ensayo ya que la diferencia no es tolerable para dicha práctica, por lo tanto, se tomara esa misma diferencia como máxima entre los promedios de los índices de rebote obtenidos, mediante una relación en donde una diferencia entre promedios de 7 o más unidades representara una confiabilidad del 0%, por ende, entre más pequeña sea la diferencia, mayor será la confiabilidad con que se ha estimado la resistencia a compresión real de la columna. Un valor de confiabilidad del 100% representaría un gráfico en el que las curvas de comportamiento se sobreponen, es decir que ambos concretos tanto el de cilindros como el de columnas se comportó de forma idéntica.

Con ello se busca deducir si realmente la columna obtuvo la resistencia que obtuvieron los cilindros tratados de la misma manera, variando únicamente en el caso de la columna el sistema de elaboración del espécimen el cual respeto los procedimientos comunes en campo para encofrado y colado de una columna.

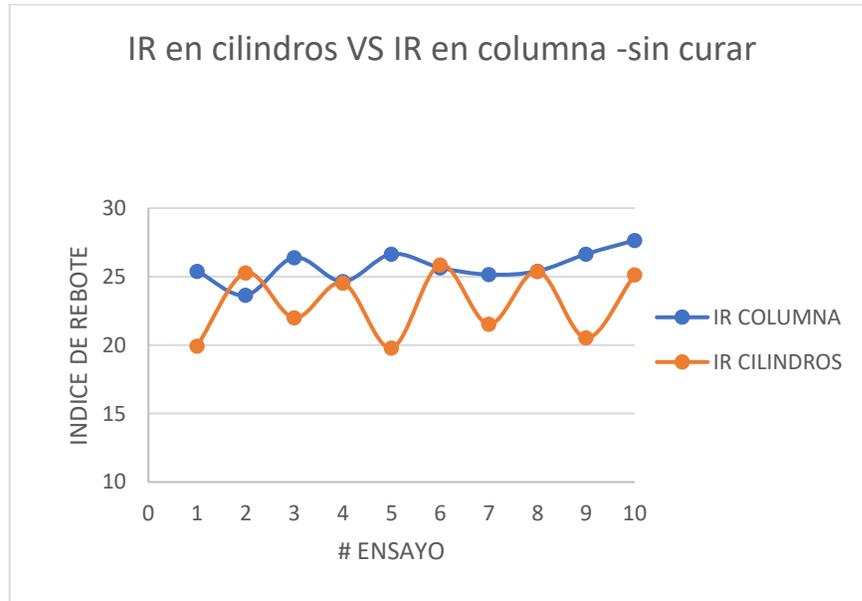
Al graficar los datos provenientes de ambos elementos en un mismo plano, donde X es el número de ensayo y Y es el índice de rebote (IR) alcanzado se obtienen los gráficos siguientes.

**Tabla 5-4 Comparación de IR de cilindros vs columnas-Sin Curar.**

PROMEDIO IR	
COLUMNA	CILINDROS
25.73	23.00
DIFERENCIA IR	2.73
DIFERENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	37.5

**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-11 Comparación de IR de esclerometría en cilindros vs columnas-Sin Curar.**



**Fuente:** grupo de tesis

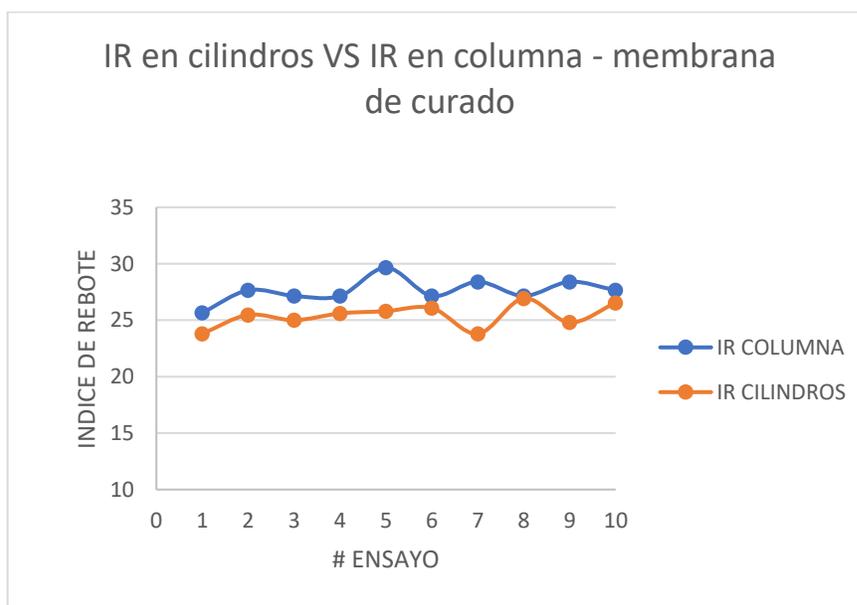
Los resultados promedio obtenidos por ambos ensayos muestran una diferencia de 2.73 unidades en el índice de rebote lo cual se traduce en una diferencia de 37.5 Kg/cm<sup>2</sup> en la lectura de resistencia a compresión, debido a la diferencia y lo establecido anteriormente para la determinación de la confiabilidad con la que se puede asumir que la resistencia real de la columna es la misma que la resistencia real de los cilindros tratados de la misma manera se establece que para este tratamiento se ha logrado una confiabilidad del 61% , siendo esto útil para determinar en qué medida el concreto de la columna sin curar se comportó de manera semejante al concreto de los cilindros tratados de igual manera.

**Tabla 5-5 Comparación de IR de cilindros vs columna-Membrana de Curado**

PROMEDIO IR	
COLUMNA	CILINDROS
27.60	25.38
DIFERENCIA IR	2.22
DIFERENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	30.73

**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-12 Comparación de IR de esclerometría en cilindros vs columnas-Membrana de Curado.**



**Fuente:** grupo de tesis

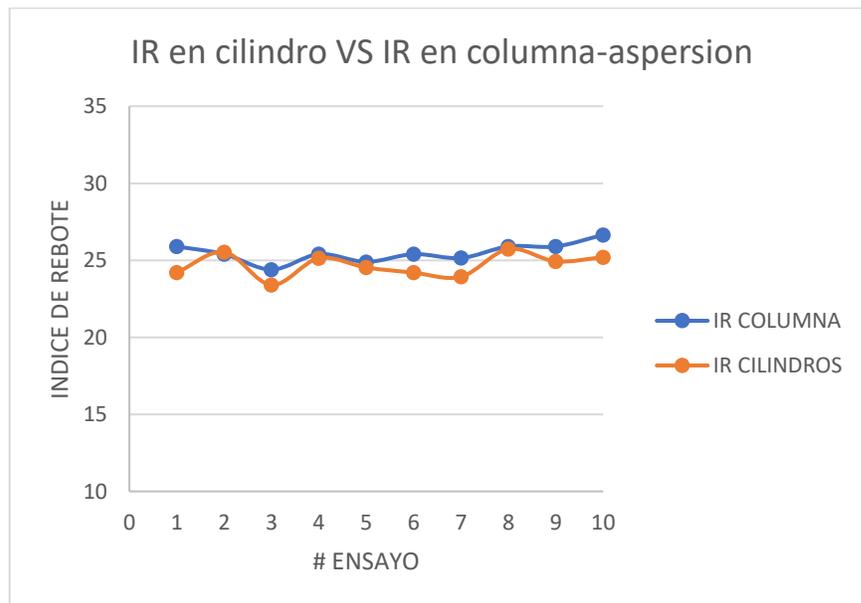
La diferencia en el índice de rebote mostrada por los datos obtenidos del ensayo de esclerometría realizado tanto a cilindros como columnas tratados con membrana de curado es de 2.22 unidades en el índice de rebote lo que representa una diferencia en la lectura de resistencia de 30.73 Kg/cm<sup>2</sup>, estableciendo que la resistencia real de la columna fue de 265.76 Kg/cm<sup>2</sup> con una confiabilidad de 68.29%.

**Tabla 5-6 Comparación de IR de cilindros vs columnas-Aspersión.**

PROMEDIO IR	
COLUMNA	CILINDROS
25.50	24.68
DIFERENCIA IR	0.82
DIFERENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	10.73

**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-13 Comparación de IR de esclerometría en cilindros vs columnas-Aspersión.**



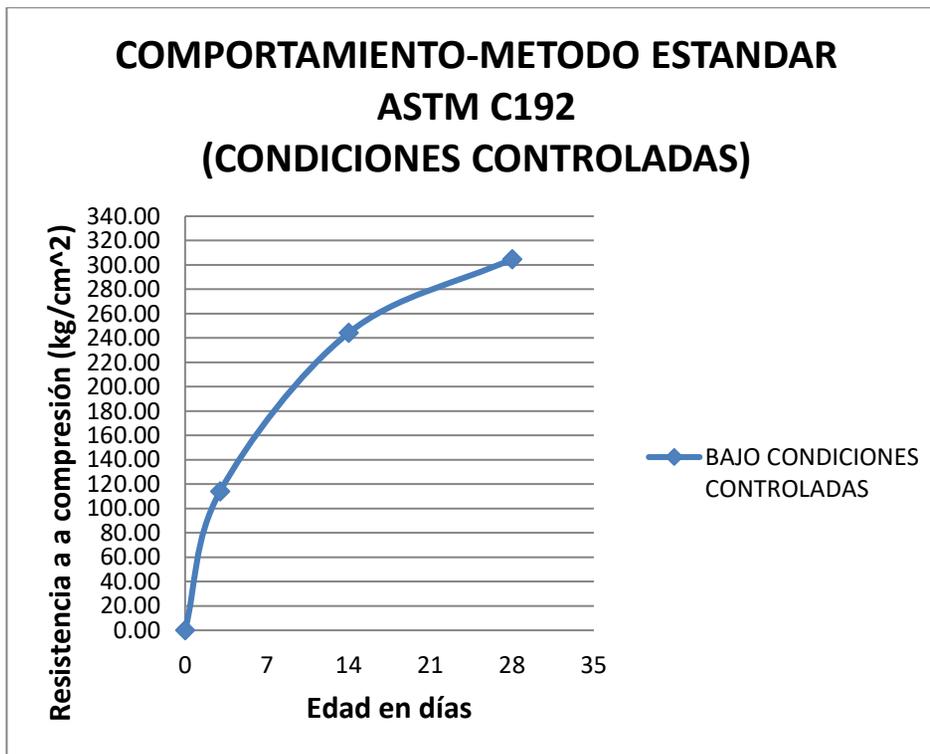
**Fuente:** grupo de tesis

La diferencia entre los datos de esclerometría obtenidos por los cilindros y la columna tratados por aspersión arroja un dato de 0.82 unidades de diferencia entre los promedios de índice de rebote, determinando que para este tratamiento se puede asumir que la resistencia de la columna en campo es la misma que la obtenida por los cilindros mediante el ensayo a compresión tratados de igual forma con una confiabilidad del 88.29% siendo la resistencia real de 293.98 Kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.5. Tendencia de la evolución del concreto ensayado a distintas edades y comparación entre tratamientos.

Gráficos de la evolución de la resistencia a compresión de acuerdo a la edad de ensayo y su respectiva ecuación que representa esa tendencia.

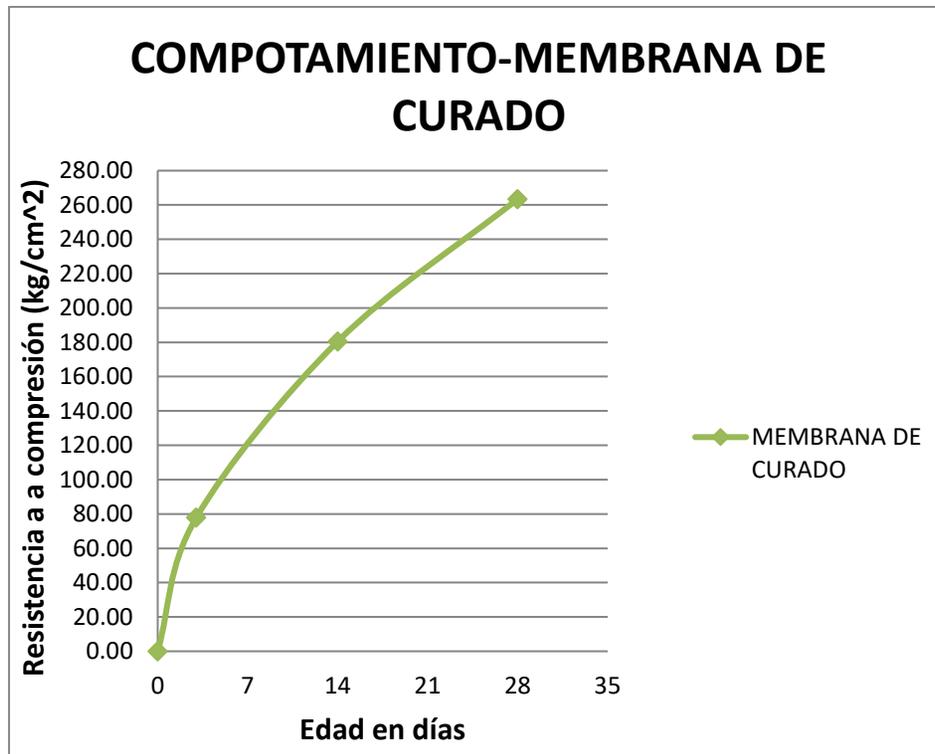
**Grafico 5-14 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo- ASTM C192 (Condiciones controladas)**



$$f'c = -0.4788t^2 + 23.5t + 19.772$$
$$R^2 = 0.9765$$

Fuente: grupo de tesis

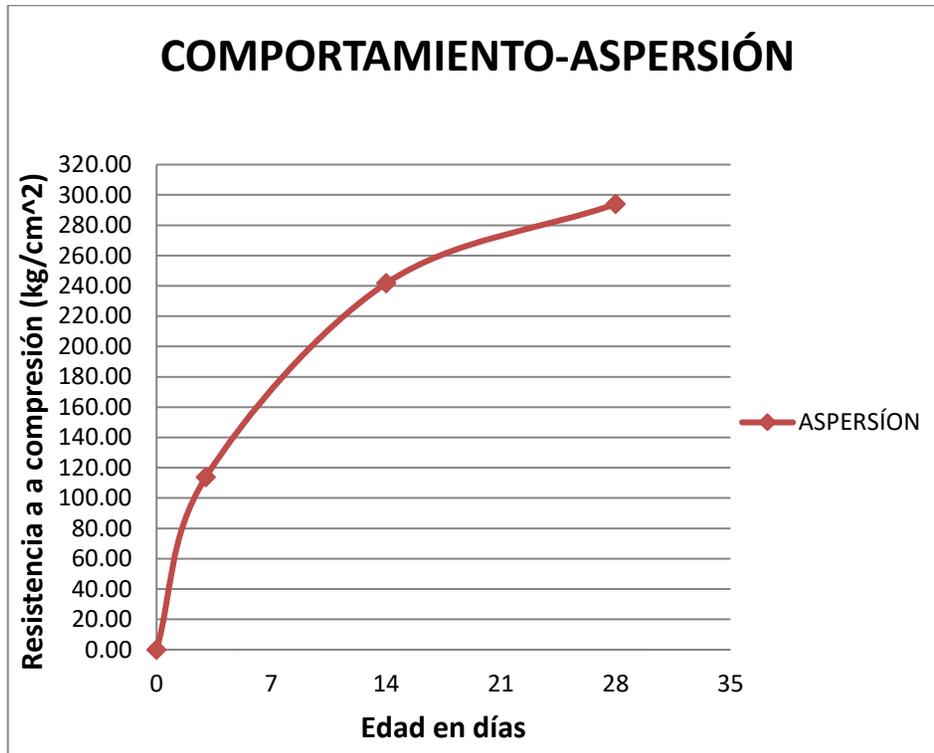
**Grafico 5-15 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo- Membrana de Curado**



$$f'c = -0.256t^2 + 16.048t + 13.184$$
$$R^2 = 0.9855$$

**Fuente:** grupo de tesis

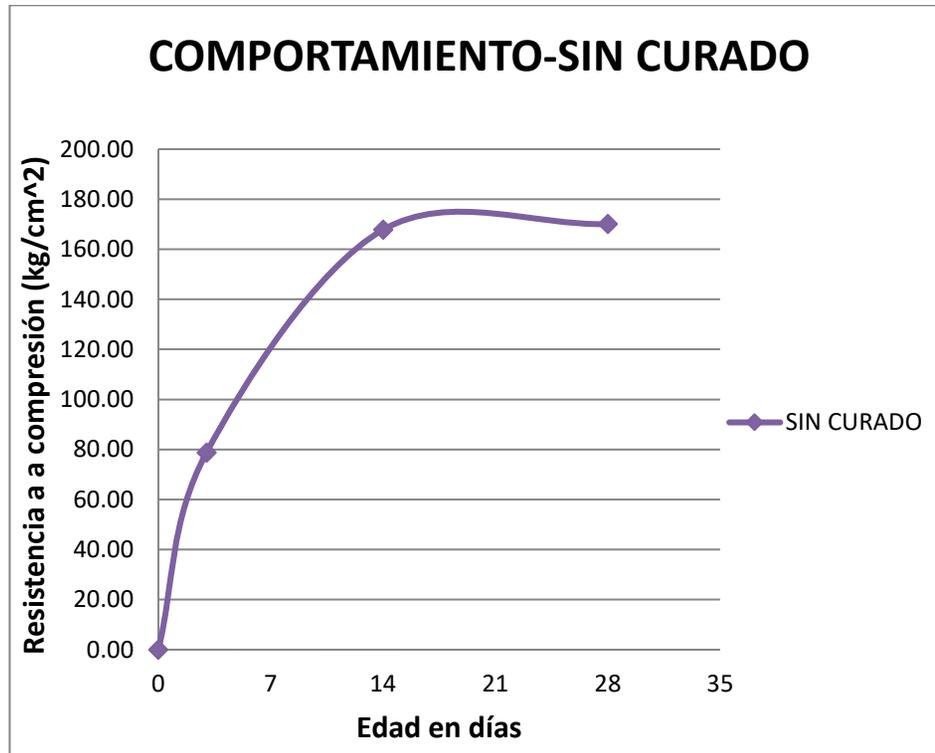
**Grafico 5-16 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo- Aspersión**



$$f'c = -0.4998t^2 + 23.624t + 19.526$$
$$R^2 = 0.9754$$

**Fuente:** grupo de tesis

**Grafico 5-17 Tendencia de aumento de resistencia la compresión vs edad de ensayo- Sin curar**



$$f'c = -0.4289t^2 + 17.589t + 12.306$$
$$R^2 = 0.9745$$

**Fuente:** grupo de tesis

**Tabla 5-7 Cuadro resumen de cruce de diferencias.**

		f'cr 295 kg/cm <sup>2</sup>			f'c 210 kg/cm <sup>2</sup>		
Tratamiento	Resistencia a 28 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	Diferencia %	Diferencia en resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	condicion de comparación	Diferencia %	Diferencia en resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	condicion de comparación
Sin curar	170.04	42.36	124.96	Inferior	19.03	39.96	Inferior
Aspersión	293.98	0.35	1.02	Inferior	39.99	83.98	Superior
Membrana de curado	265.76	9.91	29.24	Inferior	26.55	55.76	Superior
Condiciones controladas	307.41	4.21	12.41	Superior	46.39	97.41	Superior
		Aspersión 293.98 kg/cm <sup>2</sup>			Membrana de curado 265.76 kg/cm <sup>2</sup>		
Tratamiento	Resistencia a 28 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	Diferencia %	Diferencia en resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	condicion de comparación	Diferencia %	Diferencia en resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	condicion de comparación
Sin curar	170.04	42.16	123.94	Inferior	36.02	95.72	Inferior
Aspersión	293.98	0.00	0.00		10.62	28.22	Superior
Membrana de curado	265.76	9.60	28.22	Inferior	0.00	0.00	
Condiciones controladas	307.41	4.57	13.43	Superior	15.67	41.65	Superior
		Condiciones controlada ASTM C192/C192M 307.41 kg/cm <sup>2</sup>			Sin Curar 170.04 kg/cm <sup>2</sup>		
Tratamiento	Resistencia a 28 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	Diferencia %	Diferencia en resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	condicion de comparación	Diferencia %	Diferencia en resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	condicion de comparación
Sin curar	170.04	44.69	137.37	Inferior	0.00	0.00	
Aspersión	293.98	4.37	13.43	Inferior	72.89	123.94	Superior
Membrana de curado	265.76	13.55	41.65	Inferior	56.30	95.72	Superior
Condiciones controladas	307.41	0.00	0.00		80.79	137.37	Superior

Fuente: grupo de tes

### **Propuesta de fórmula para determinar el $f'c$**

Basados en el conocimiento que la ganancia de resistencia del concreto es debido al endurecimiento de la pasta y que su comportamiento está regido por el tipo de cemento utilizado deducimos que el comportamiento de la ganancia de resistencia es independiente de la resistencia de diseño utilizada no obstante si cambia el valor neto de resistencia alcanzado por lo tanto se deduce de las ecuaciones de cada tratamiento la expresión no comprobada

$$\text{Membrana de curado: } f'c = f'cr \left( \frac{-0.256t^2 + 16.048t + 13.184}{295} \right)$$

$$\text{Aspersión: } f'c = f'cr \left( \frac{-0.4998t^2 + 23.624t + 19.526}{295} \right)$$

$$\text{Concreto sin curar: } f'c = f'cr \left( \frac{-0.4289t^2 + 17.589t + 12.306}{295} \right)$$

Se recomienda evaluar estas fórmulas deducida, ya que sería útil para estimar de manera más certera la resistencia de diseño requerida de un concreto tomando en cuenta el tratamiento de curado que habrá de utilizarse, lo cual podría eficiente la cantidad de materiales que se utilizan para la elaboración del concreto. Teniendo en cuenta las condiciones medio ambientales del lugar donde se realizó la elaboración del concreto.

## **5.6. Análisis estadístico de los resultados de resistencias a compresión obtenido por el ensayo de compresión mediante en software SPSS.**

### **5.6.1. Procedimiento.**

Una vez obtenido los datos de la resistencia a compresión de los cilindros ensayados en el laboratorio se procedió a tabular de acuerdo a la edad y método que se presenta en el siguiente orden: método estándar ASTM C 192, Membrana Plástica, Riego Periódico y Sin Curar. Y las edades siguiendo el orden de 3, 14 y 28 días. Para mayor conveniencia se digitalizo en un documento de Excel.

**Tabla 5-8 Presentación de cómo se ordenaron los datos para ingresarse al software SPSS.**

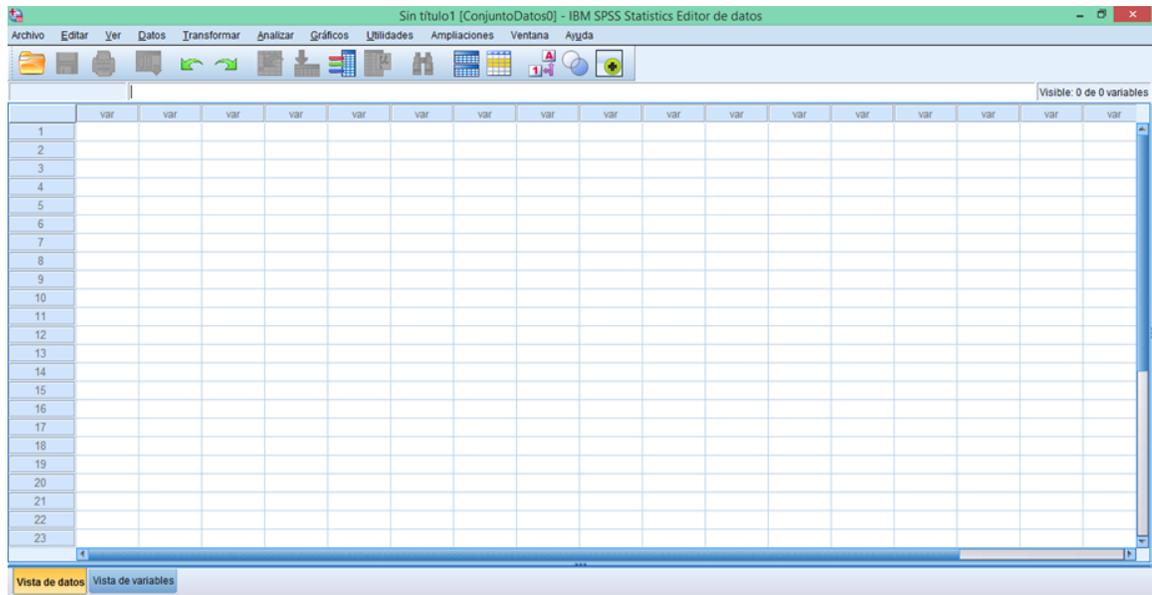
Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia	Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia
ASTM C192/C192 M	1	3	118.00	RIEGO PERIODICO	3	3	108.07
	1	3	113.02		3	3	119.60
	1	3	116.39		3	3	115.82
	1	3	117.15		3	3	104.63
	1	3	122.54		3	3	116.05
	1	3	109.70		3	3	114.91
	1	3	119.96		3	3	122.22
	1	3	102.31		3	3	124.77
	1	3	108.20		3	3	126.82
	1	3	106.84		3	3	107.05
	1	3	116.42		3	3	106.88
	1	3	119.53		3	3	108.73
	1	3	116.02		3	3	107.39
	1	3	107.92		3	3	118.04
1	3	118.23	3	3	109.60		
Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia	Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia
MEMBRANA PLASTICA	2	3	76.11	SIN CURAR	4	3	69.82
	2	3	76.16		4	3	74.75
	2	3	70.95		4	3	86.93
	2	3	69.96		4	3	71.57
	2	3	76.33		4	3	88.20
	2	3	78.15		4	3	79.76
	2	3	80.89		4	3	85.37
	2	3	74.69		4	3	73.58
	2	3	80.58		4	3	67.38
	2	3	64.38		4	3	70.16
	2	3	86.90		4	3	91.86
	2	3	79.19		4	3	83.16
	2	3	87.61		4	3	71.71
	2	3	85.03		4	3	75.48
2	3	80.36	4	3	91.60		

**Fuente:** grupo de tesis

Nota: solo se presenta las resistencias obtenidas para edades de 3 días, véase el anexo N°85, donde se muestran resistencias a edades de 14 y 28 días.

A continuación, se describen el proceso llevado a cabo para el análisis de los resultados de los ensayos de resistencia, utilizando el programa de análisis estadístico SPSS.

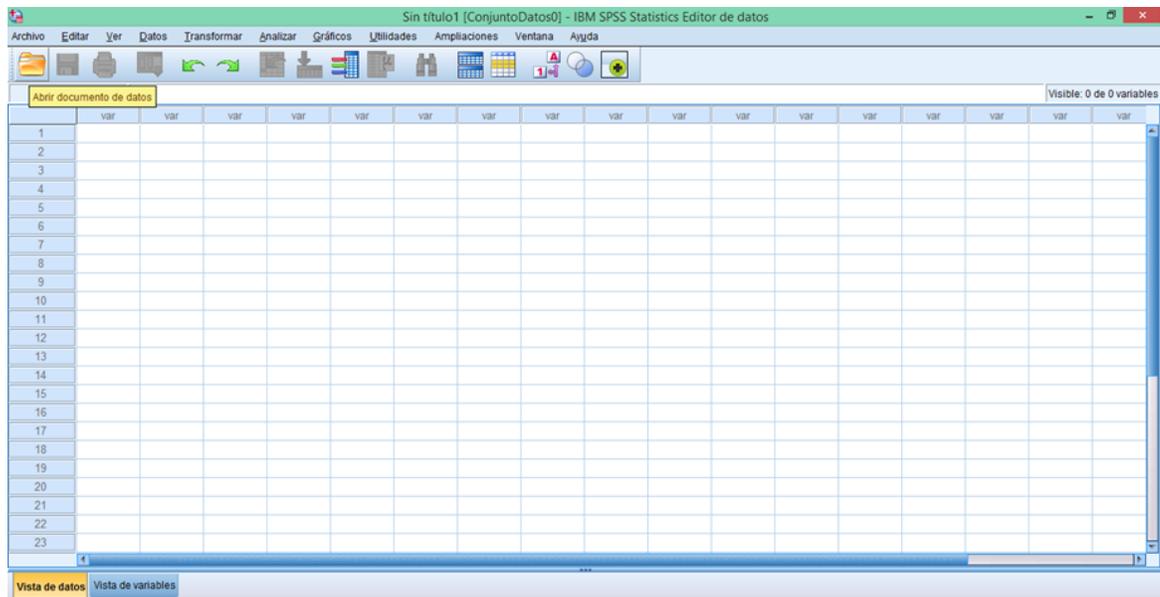
Paso N°1 Abrir SPSS.



**Figura 5-1** Interfaz del software SPSS.

**Fuente:** grupo de tesis

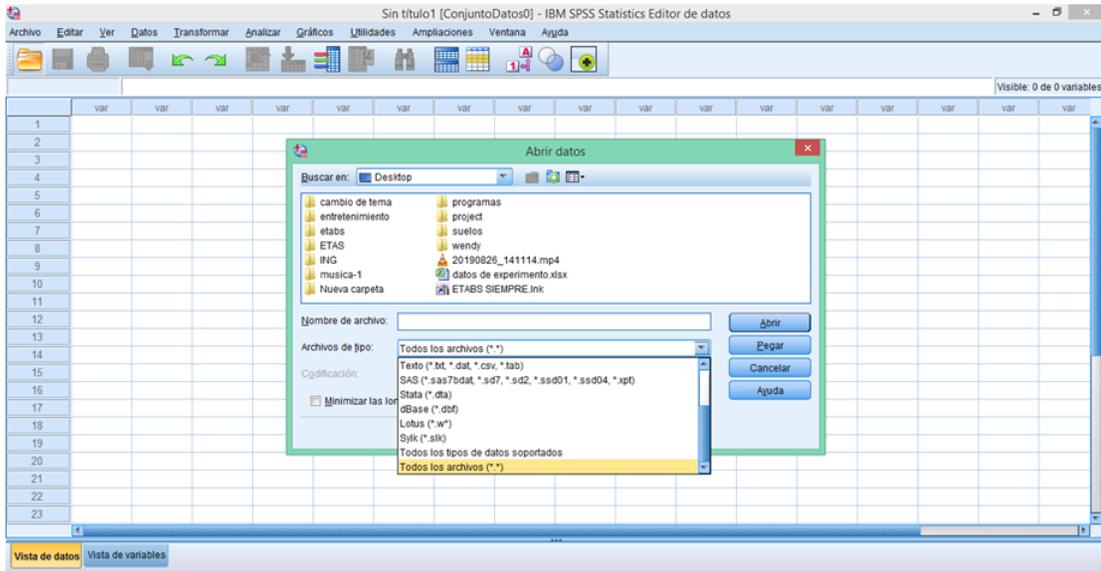
Paso N°2 Colocar el puntero y dar click izquierdo sobre el icono de la carpeta.



**Figura 5-2 Interfaz del software SPSS.**

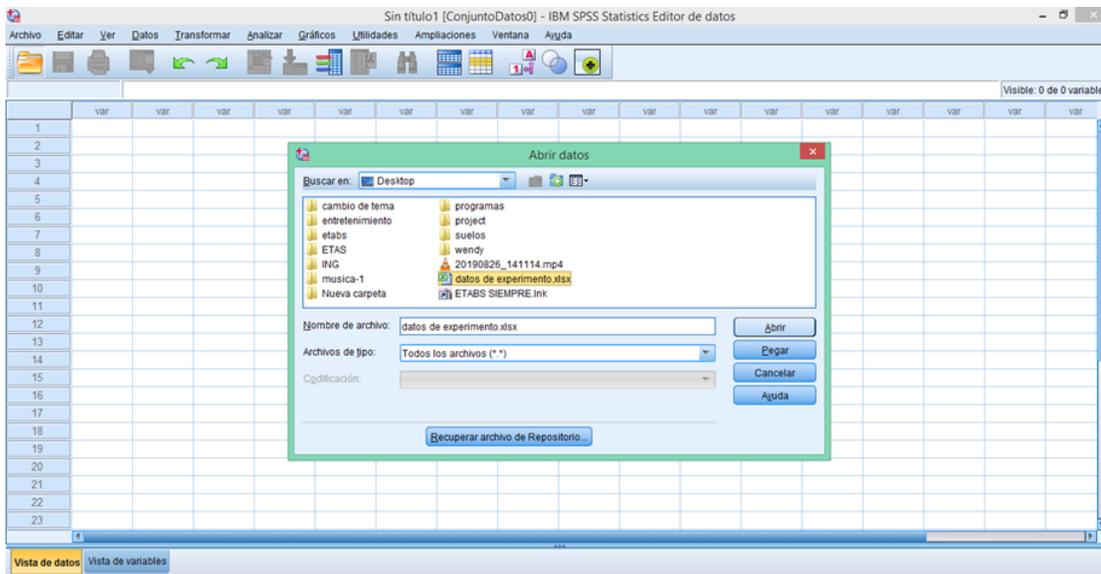
**Fuente:** grupo de tesis

Paso N°3 Una vez desplegado el cuadro de dialogo que permite seleccionar el documento donde se encuentran los datos a analizar, seleccionamos el formato indicado para que el programa reconozca el archivo, desplegando la barra de “archivos de tipo”, para mayor conveniencia se selecciona “todos los archivos (\*.\*)”.



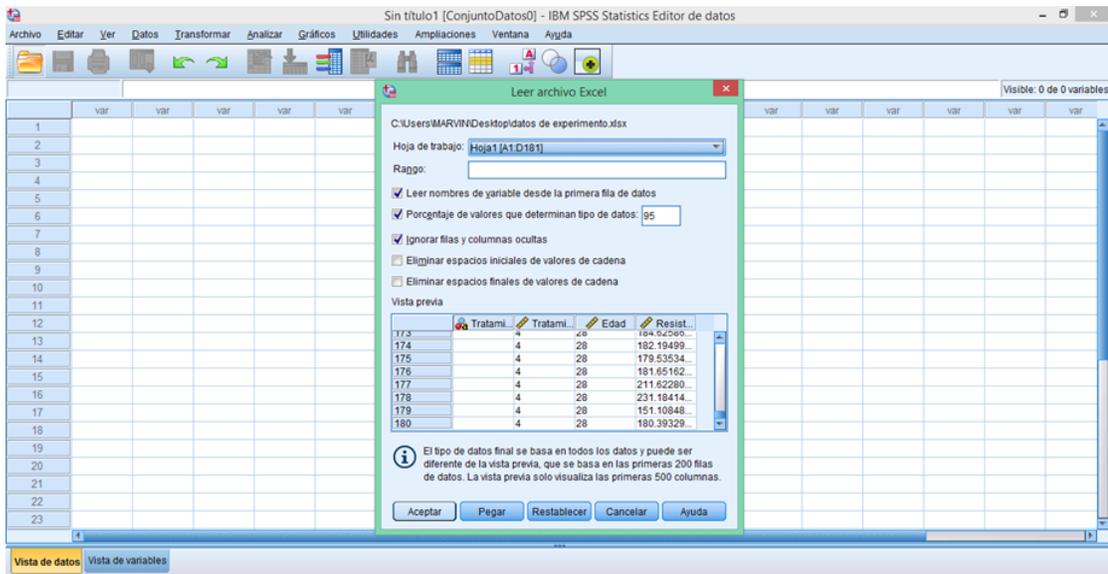
**Figura 5-3** Interfaz del software SPSS.  
Fuente: grupo de tesis

Paso N°4 se selecciona el archivo a analizar y se da click en la opción “abrir”.



**Figura 5-4** Interfaz del software SPSS.  
Fuente: grupo de tesis

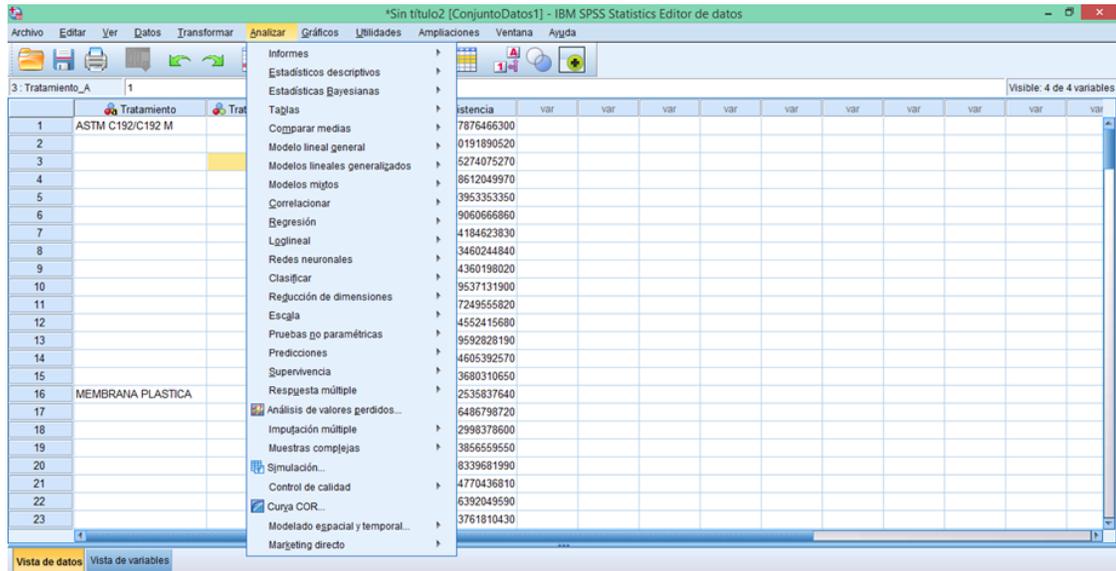
Paso N°5 se presenta un nuevo cuadro de dialogo con el título “leer archivo Excel” el cual permite verificar si los datos están completos, habiendo comprobado que los datos están completos se da click en la opción “Aceptar”.



**Figura 5-5** Interfaz del software SPSS.

**Fuente:** grupo de tesis

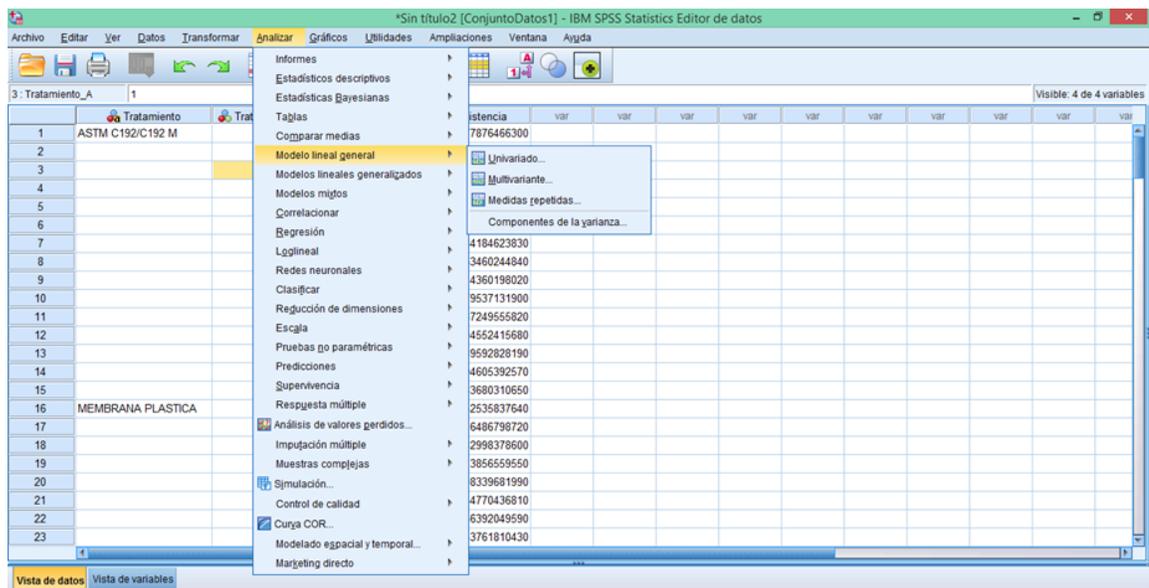
Paso N°6 En la parte superior en la barra de herramienta se selecciona la opción “Analizar”.



**Figura 5-6 Interfaz del software SPSS.**

**Fuente:** grupo de tesis

Paso N°7 Seguido se despliega una serie de opciones para análisis de datos de la cual se selecciona “**Modelo lineal general**” donde se elige la opción “**univariados**”.



**Figura 5-7 Interfaz del software SPSS.**

**Fuente:** grupo de tesis

Paso N°8 se presenta un cuadro de dialogo titulado “Univariados”, en dicho cuadro asignamos la variable dependiente así como los factores fijos.

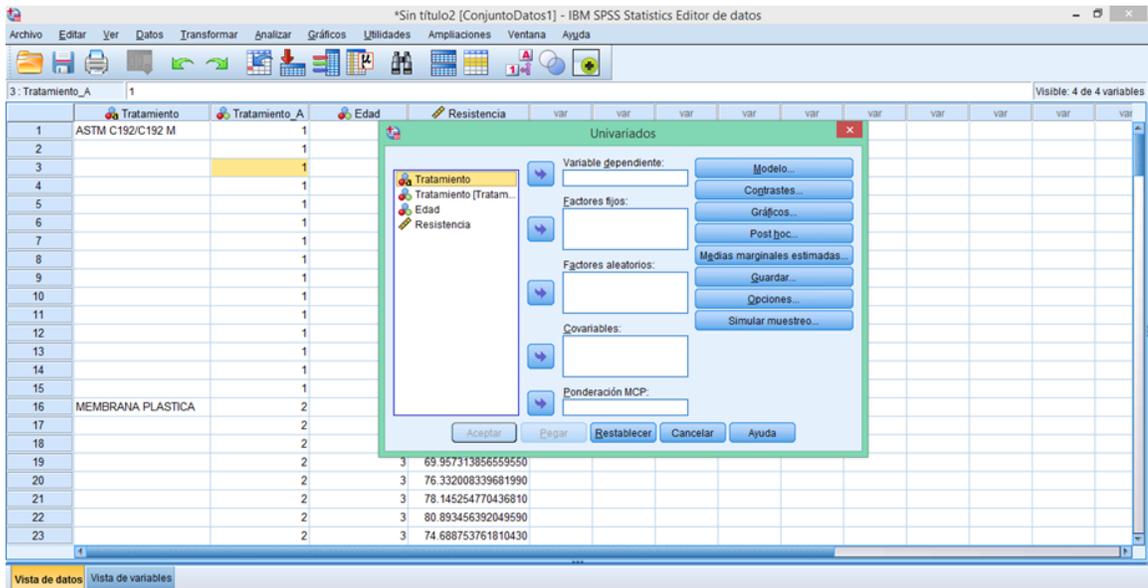


Figura 5-8 Interfaz del software SPSS.

Fuente: grupo de tesis

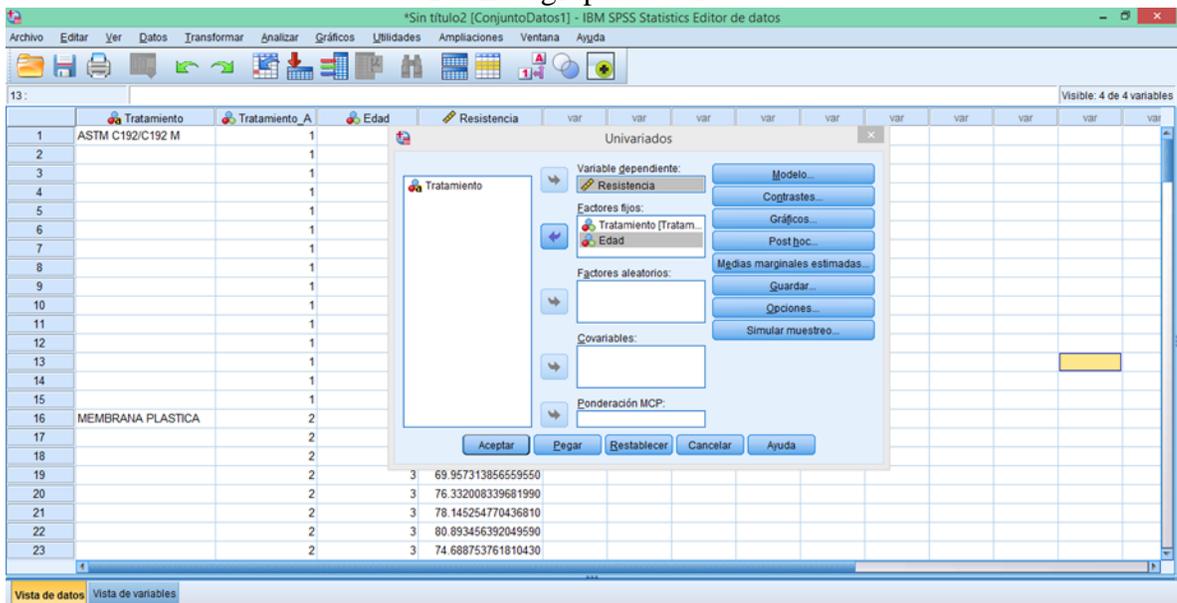
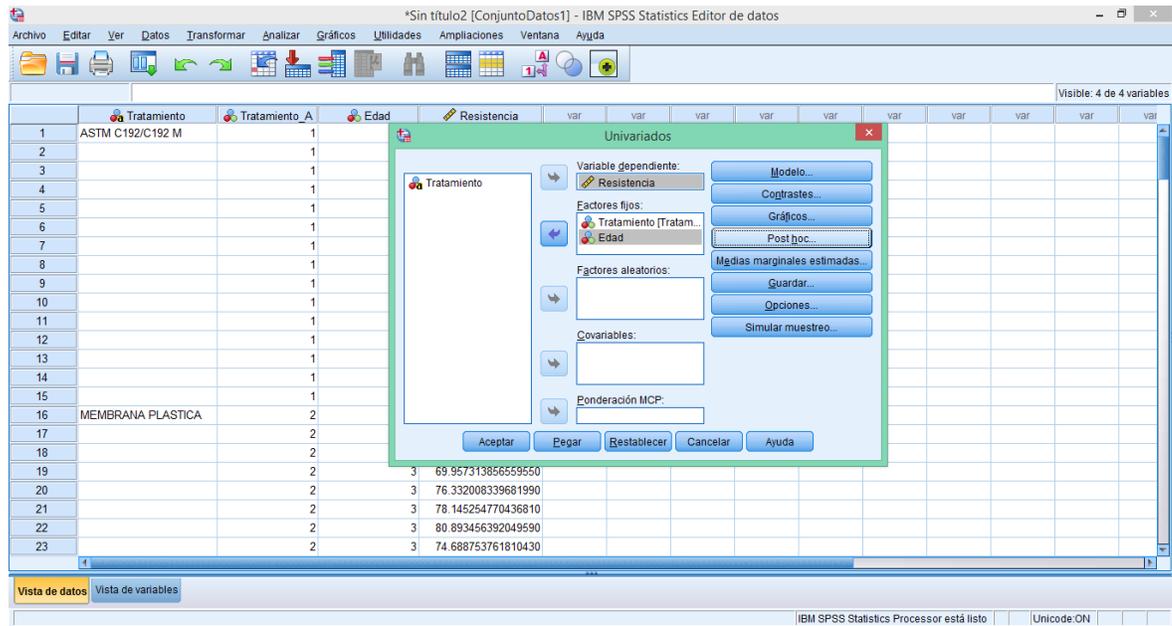


Figura 5-9 Interfaz del software SPSS.

Fuente: grupo de tesis

Paso N°9 En la columna de opciones que se presenta al lado derecho se da click en la opción “**Post Hoc...**”<sup>6</sup>.

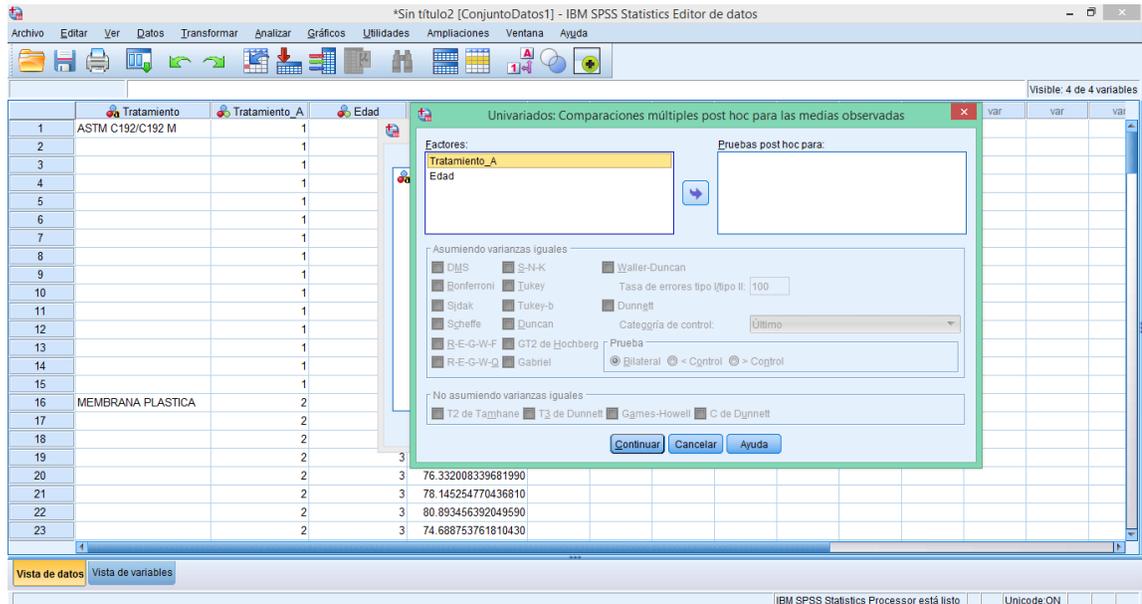


**Figura 5-10 Interfaz del software SPSS.**

Fuente: grupo de tesis

Paso N°10 En el cuadro de dialogo de título “**Univariados: Comparaciones múltiples Post Hoc para medias observadas**” se elige en el recuadro izquierdo la opción de “**Tratamiento\_A**”, seguidamente click en ; posteriormente se observara que la opción seleccionada anteriormente se encuentra en el recuadro del lado derecho, ese mismo proceso se repite para el factor “**edad**” que se encuentra al lado izquierdo.

<sup>6</sup> La prueba de rango post hoc identifica subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí

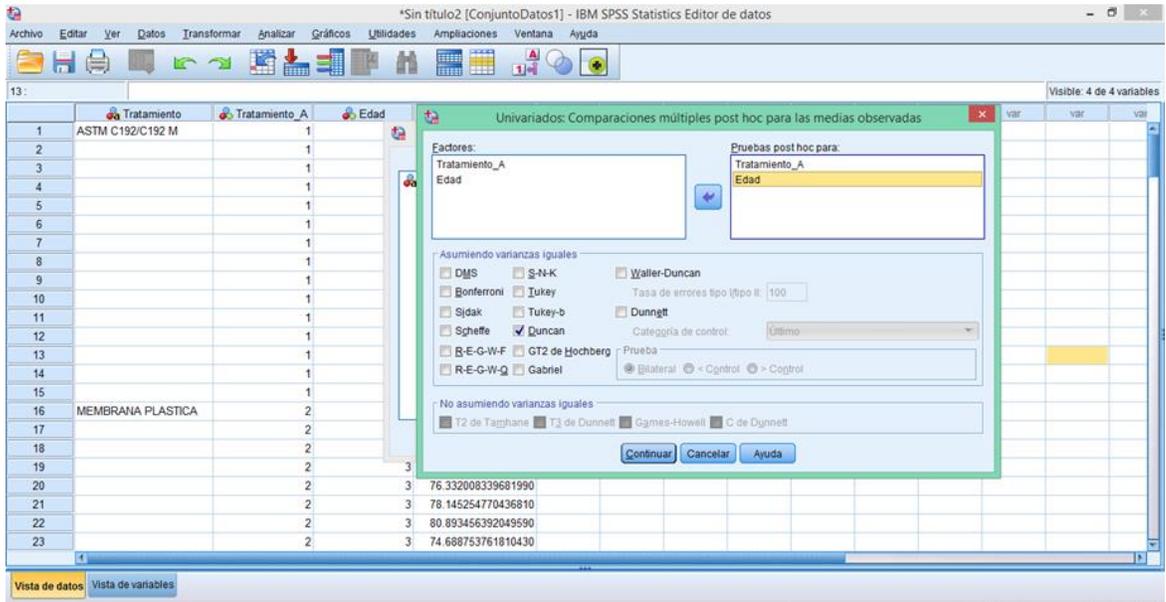


**Figura 5-11** Interfaz del software SPSS.

**Fuente:** grupo de tesis

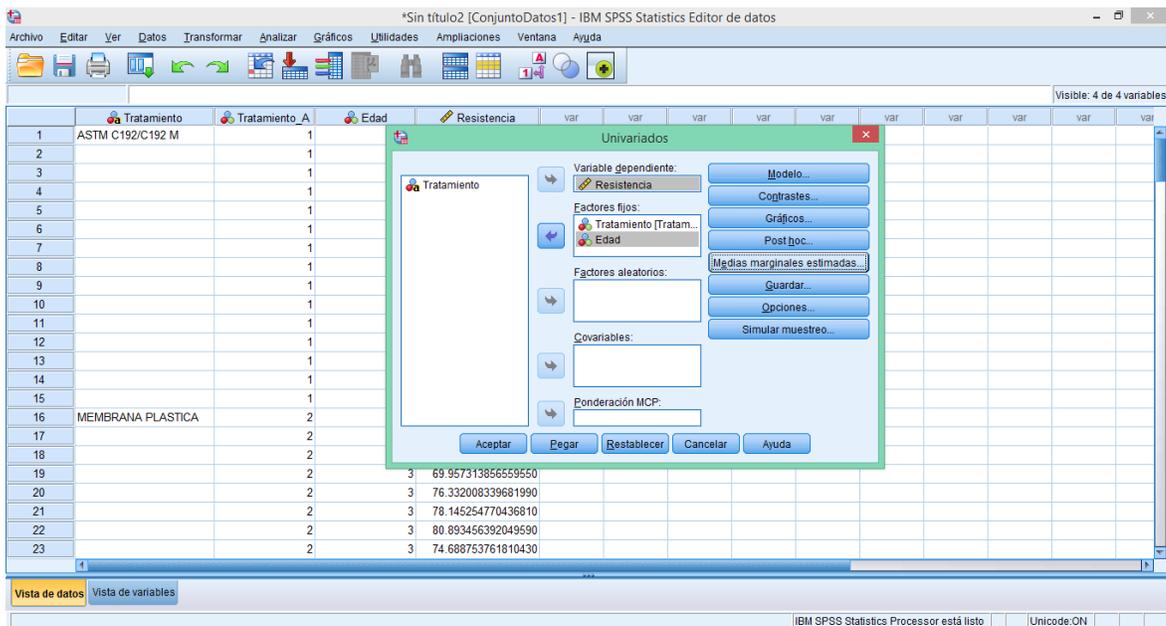
Paso N°11 una vez seleccionada las opciones que se analizaran para la prueba de **Post Hoc**, se libera una serie de opciones de análisis de varianzas que se encuentran en el recuadro “**Asumiendo varianzas iguales**” de la cual se selecciona la opción de nombre “**Duncan**”<sup>7</sup>, luego click en el botón “**Continuar**”.

<sup>7</sup> La prueba del rango múltiple prueba las diferencias entre las medias empezando con la media más grande contra la segunda más grande, y así sucesivamente, comparando en cada caso con un valor crítico obtenido por tablas.



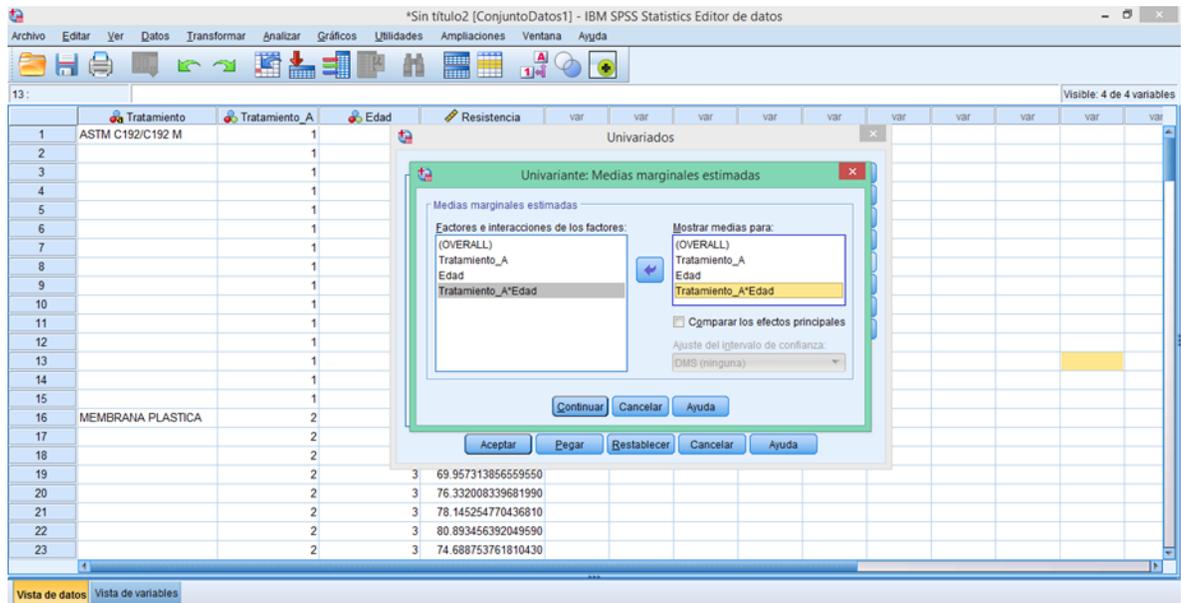
**Figura 5-12** Interfaz del software SPSS.  
Fuente: grupo de tesis

Paso N°12 volviendo al cuadro de “Univariados” se elige de la columna de opciones “Medias Marginales Estimadas”.



**Figura 5-13** Interfaz del software SPSS.  
Fuente: grupo de tesis

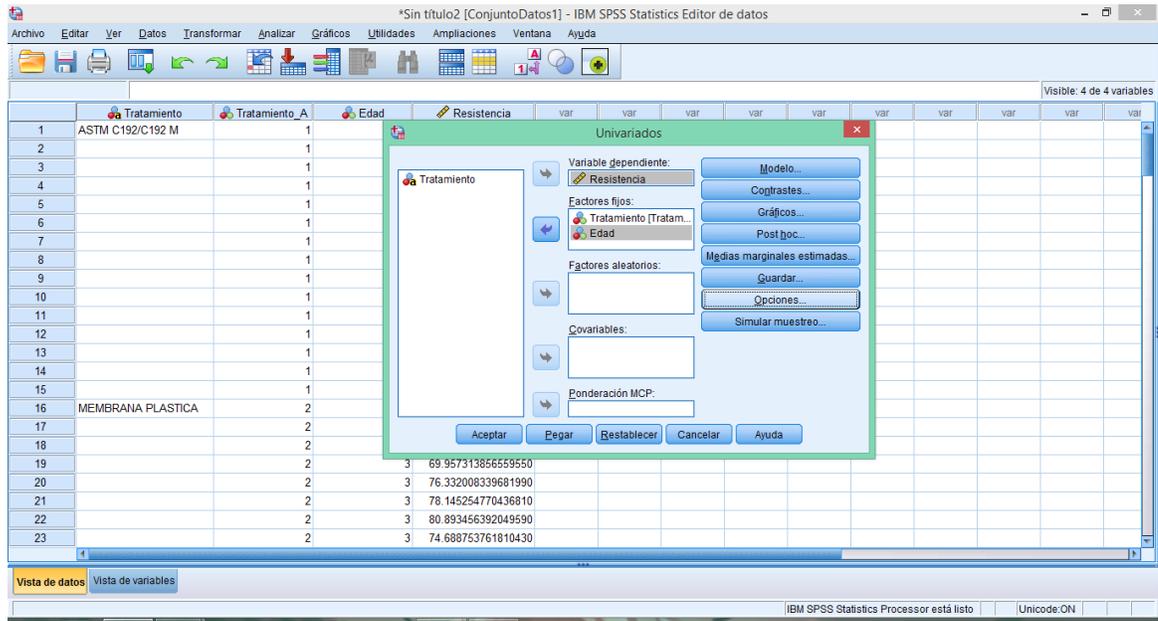
Paso N°13 Se presentará un cuadro de dialogo de título “**Univariados: Medias Marginales Estimadas**”, del recuadro de lado izquierdo se selecciona una a una las opciones que luego aparecerán en el recuadro del lado derecho.



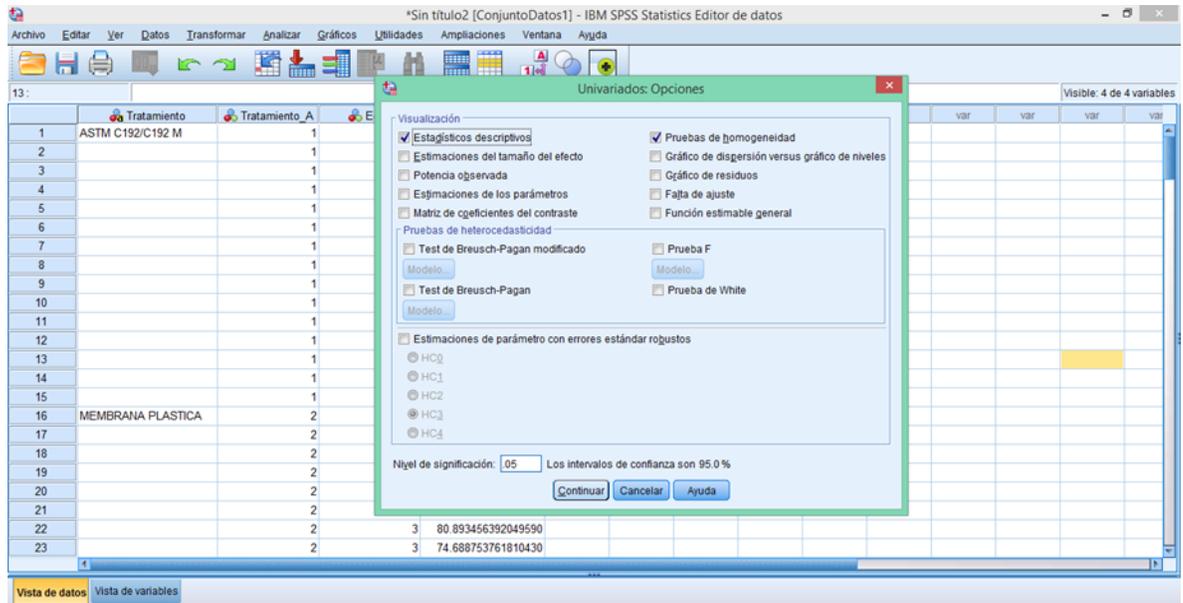
**Figura 5-14 Interfaz del software SPSS.**

**Fuente:** grupo de tesis

Paso N°14 Volviendo al cuadro de dialogo “**Univariados**” seleccionamos la opción de la columna derecha “**opciones**”, posteriormente se presenta un cuadro de dialogo de nombre “**Univariados: opciones**” donde se seleccionan las opciones de estadística descriptiva y pruebas de homogeneidad, damos click sobre el botón “**Continuar**”.



**Figura 5-15** Interfaz del software SPSS.  
Fuente: grupo de tesis



**Figura 5-16** Interfaz del software SPSS.  
Fuente: grupo de tesis

Paso N° 15 Una vez realizado los pasos descritos anteriormente, se abre nuevamente el cuadro de “**Univariados**” y se selecciona el botón “**Aceptar**”. Luego se presenta una ventana con el procedimiento del análisis de datos de un análisis factorial 4x3.

### 5.6.2 Resultado del análisis estadístico.

Habiendo realizado todos los procedimientos antes descritos se obtuvieron los siguientes resultados tabulados y clasificados como método 1, 2,3 y 4 los cuales corresponden a:

**Tabla 5-9 Descripción de simbólico que corresponde a cada tratamiento en SPSS.**

Tratamiento	Numero asignado
Condiciones controladas-ASTM C192/C192M	1
Membrana de curado	2
Curado por aspersión	3
Sin curar	4

**Fuente:** grupo de tesis

**Tabla 5-10 Resumen de distribución de las muestras en tratamiento y edades**

Factores inter-sujetos		
		N
TRATAMIENTO	1	45
	2	45
	3	45
	4	45
Edad	3	60
	14	60
	28	60

**Fuente:** grupo de tesis

En el recuadro anterior se presenta la cantidad de datos sujetos a las variables analizadas, las cuales fueron la edad y el tratamiento aplicado.

**Tabla 5-11 Resultado de promedios y de desviación estándar para cada edad de cada tratamiento**

<b>Estadísticos descriptivos</b>				
Variable dependiente: Resistencia				
METODO	Edad	Media	Desviación típica	N
1	3	114.15	5.83	15
	14	244.15	18.63	15
	28	304.80	8.67	15
	Total	221.03	81.33	45
2	3	77.82	6.34	15
	14	180.50	22.73	15
	28	265.76	19.13	15
	Total	174.69	79.57	45
3	3	114.04	7.16	15
	14	241.65	10.38	15
	28	291.49	28.94	15
	Total	215.73	77.64	45
4	3	78.76	8.43	15
	14	167.78	30.86	15
	28	171.64	25.28	15
	Total	139.39	49.11	45
Total	3	96.19	19.31	60
	14	208.52	40.99	60
	28	258.42	56.64	60
	Total	187.71	79.77	180

**Fuente:** grupo de tesis

Se presenta un análisis total de datos, obteniendo la media por cada y por cada método en todos los tiempos estudiados, así mismo la desviación típica de los 60 datos arrojados por cada tratamiento, obteniendo un promedio de todos los datos obtenido a tres, catorce y veintiocho días en todo el experimento siendo estos un total de 180 datos.

Para realizar el análisis factorial se introdujo en el programa una significancia de 0.05, siendo este el dato principal que describiría si existía una diferencia estadística entre

cada tratamiento analizado; un valor de significancia menor a 0.05 representa que, si existe diferencia entre un método y los demás en comparación, caso contrario cuando la significancia el mayor a 0.05, lo cual represente que no existe una diferencia estadística significativa entre un método y los demás analizados.

Para este caso los cuatro tratamientos analizados presentan significancias menores a 0.05 demostrando que existen diferencias estadísticas significativas entre los datos arrojados por los diversos métodos.

**Tabla 5-12 Cuadro de resultado de procedimiento factorial en el software SPSS**

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Resistencia					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	1082446.003	11	98404.182	292.448	.000
Intersección	6342443.723	1	6342443.723	18849.173	.000
METODO	197977.694	3	65992.565	196.124	.000
Edad	828574.403	2	414287.202	1231.224	.000
METODO * Edad	55893.906	6	9315.651	27.685	.000
Error	56529.299	168	336.484		
Total	7481419.024	180			
Total corregida	1138975.301	179			

**Fuente:** grupo de tesis

Mostrando en recuadro de “METODOD\*EDAD” de manera más específica todas las diferencias presentadas en el experimento, determinando los limites superiores e inferiores de cada método a los tiempos evaluados.

**Tabla 5-13 Cuadro de resultado de procedimiento factorial en el software SPSS**

4. METODO * Edad					
Variable dependiente: Resistencia					
METODO	Edad	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
1	3	114.148	4.736	104.797	123.498
	14	244.153	4.736	234.803	253.503
	28	304.803	4.736	295.453	314.153
2	3	77.818	4.736	68.468	87.169
	14	180.497	4.736	171.147	189.848
	28	265.765	4.736	256.415	275.115
3	3	114.039	4.736	104.689	123.389
	14	241.651	4.736	232.301	251.001
	28	291.493	4.736	282.142	300.843
4	3	78.755	4.736	69.405	88.106
	14	167.784	4.736	158.434	177.134
	28	171.638	4.736	162.288	180.989

**Fuente:** grupo de tesis

### Pruebas post hoc

Mediante las pruebas post hoc se clasifican los tratamientos en subconjuntos mediante el promedio total de las resistencias obtenidas, clasificándolos en columnas que representan un mismo suceso, es decir que estadísticamente no poseen diferencias significativas entre los demás sucesos que puedan clasificarse en la misma columna.

Para los resultados obtenidos mediante la interpretación de esta tabla se deduce que entre el método 1 que son los resultados del concreto tratado bajo condiciones controladas según la ASTM C192/C192M y el tratamiento 3 que es el método de curado por aspersion no poseen una diferencia estadística significativa, siendo estos clasificados como sucesos semejantes con una significancia de 0.172 puede destacarse la efectividad del método de curado mediante aspersion ya que logro resistencias similares a las logradas por el concreto curado bajo condiciones controladas aun teniendo este las adversidades presentadas por el ambiente en San Miguel.

El método de membrana de curado fue clasificado en un subconjunto intermedio demostrando que no pudo lograr la misma ganancia de resistencia que el concreto curado bajo condiciones controladas y el método de curado de aspersión.

Por último, el concreto sin curar quedó clasificado como un suceso completamente diferente a los demás analizados y mediante el promedio calculado puede observarse la inferioridad de los resultados obtenidos y la innegable afectación que tuvo sobre las características mecánicas del concreto al haber omitido la tarea del curado.

## TRATAMIENTO

### Subconjuntos homogéneos

**Tabla 5-14 Resultados que determinan que tratamiento es más eficaz según sus resistencias obtenidas.**

Resistencia				
Duncan <sup>a,b</sup>				
METOD O	N	Subconjunto		
		1	2	3
4	45	139.392514		
2	45		174.693597	
3	45			215.727471
1	45			221.034457
Sig.		1.000	1.000	.172

**Fuente:** grupo de tesis

## Edad

### Subconjuntos homogéneos

**Tabla 5-15 Resultados resistencias promedio según sus edades de ensayo**

Resistencia				
Duncan <sup>a,b</sup>				
Eda d	N	Subconjunto		
		1	2	3
3	60	96.190081		
14	60		208.521238	
28	60			258.424709
Sig.		1.000	1.000	1.000

**Fuente:** grupo de tesis

El cuadro de subconjuntos homogéneos basados en la edad se muestra el promedio de resistencia de los 60 datos tomados a esa edad, los cuales son la sumatoria de los 15 valores de resistencia arrojados por cada método, de este recuadro solamente se puede inferir que la ganancia de resistencia en forma general fue proporcional al tiempo, es decir que a mayor edad mayor fue la resistencia alcanzada en el experimento en general.

**5.7 Comparación de Costo/Beneficio de los tratamientos de Aspersión y Membrana de Curado.**

**Tabla 5-16 Comparación de tratamientos de curado por su costo global y resistencia compresión final obtenida.**

Tratamiento	Costo Global	Beneficio( Resistencia a compresión alcanzada)
Membrana de Curado	\$ 10.90	265.76 kg/cm <sup>2</sup>
Aspersión	\$ 13.80	293.98 kg/cm <sup>2</sup>
Aspersión ( no se compra agua)	\$ 9.50	293.98 kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** grupo de tesis

**Tabla 5-17 Comparación de tratamientos de curado por su costo unitario**

Tratamiento	Costo Unitario Por m <sup>2</sup>
Membrana de Curado	\$ 1.33
Aspersión	\$ 1.68
Aspersión ( no se compra agua)	\$ 1.03

**Fuente:** grupo de tesis

## **CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## 6. CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1. Conclusiones.

- El método de curado del concreto mediante aspersion de agua aplicado durante 7 días, tres veces al dia, logra brindar las condiciones para que el concreto realice el proceso de hidratación de manera efectiva, logrando sobrepasar la resistencia esperada de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días con un resultado final de resistencia de  $293.98 \text{ kg/cm}^2$ , obteniendo el 99.62% de la resistencia requerida de diseño la cual fue de  $295 \text{ kg/cm}^2$  por lo tanto se determina que este de método de curado es efectivo para curar concreto permanente en condiciones de campo en San Miguel.
- El método de membrana de curado para concreto estructural es efectivo habiendo sobrepasado la resistencia esperada de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días con un resultado final de resistencia de  $263.44 \text{ Kg/cm}^2$  lo cual representa un 89.3% de la resistencia requerida de diseño la cual fue de  $295 \text{ Kg/cm}^2$ , por consiguiente, se establece que dicho método de curado es efectivo para curar concreto colado en las condiciones ambientales de San Miguel.
- La tarea del curado no puede ser omitida bajo ninguna circunstancia en las condiciones ambientales de San Miguel debido a las altas temperaturas registradas, lo cual es la principal razón de la perdida de agua del concreto determinando mediante esta investigación que al omitir esta tarea, la resistencia del concreto se redujo un 42.16% con respecto a la resistencia final del concreto que si fue curado mediante el método de aspersion aun permaneciendo estos bajo las mismas condiciones ambientales y quedando por debajo de la resistencia esperada de  $210 \text{ Kg/cm}^2$ . Por lo tanto, se determina que el omitir la tarea del curado si puede reducir la resistencia potencial del concreto entre un 25% y un 50%.
- El concreto en probetas cilíndricas y el concreto colado en columnas mediante el proceso constructivo seguido comúnmente en obra se comportó de maneras

semejantes, determinando que las columnas elaboradas siguieron el mismo patrón de ganancia de resistencia de los cilindros que permanecían bajo el mismo tratamiento aplicado a dicho elemento.

- El concreto curado bajo condiciones controladas según la normativa ASTM C192/C192M no presentó diferencias estadísticas significativas con respecto al concreto que fue curado en condiciones de obra mediante el método de aspersión. Pero si se mostró aritméticamente superior a todos los tratamientos evaluados.

## 6.2. Recomendaciones

- Cuando se realice un proceso de curado mediante aspersión se recomienda siempre curar durante 7 días, tres veces al día, si esto no es posible, se recomienda optar por el método de membrana de curado ya que proporciona las condiciones para que se realice el proceso de hidratación del cemento de manera óptima mediante una sola aplicación.
- Se recomienda realizar una investigación que profundice en la afectación que tendría sobre la resistencia a compresión del concreto el reducir la cantidad de días de curado mediante aspersión para determinar el mínimo de días que podría curarse un concreto colado en las condiciones presentadas en San Miguel durante la época de verano.
- Evaluar para las condiciones ambientales presentadas en San Miguel otros procedimientos de curado, asimismo evaluar en otras zonas geográficas del territorio salvadoreño los mismos métodos de curado estudiados en esta investigación.
- No debe omitirse la tarea del curado aun teniendo humedades relativas altas, ya que esta no representa un valor estable de la cantidad de agua contenida en el aire debido que depende totalmente de la temperatura. Es decir que el mismo valor de humedad relativa puede representar diferentes cantidades de agua en el aire dependiendo de la temperatura ambiente a la que se obtenga ese valor.
- Estudiar el comportamiento de un concreto diseñado para  $f'c$  mayor a 210 Kg/cm<sup>3</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

- Asociación, P. C. (1991). *Proyectos y Control de Mezclas*. Mexico: Limusa, S.A de C.V.
- Cuellar, L. J. (24 de Abril de 2017). *Repositorio.utea.edu.pe*. Obtenido de Influencia del curado en la resistencia a la compresión del concreto preparado con cemento Portland Tipo I y Cemento Puzolanico Tipo IP en la Ciudad de Abancay-Apurimac:  
<http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/106>
- García Hernández, Á. (Noviembre de 2007). *tesisenred.net*. Obtenido de Desarrollo y análisis de pavimentos industriales desde el punto de vista del acabado superficial :  
<https://www.tesisenred.net/handle/10803/10710#>
- Gutierrez de Lopez, L. (2003). *El Concreto y Otros Materiales para la Construcción*. Marizales: Centro Publicaciones de Universidad Nacional de Colombia.
- Mendoza, J. M. (25 de Junio de 2019). *Repositorio.unsa.edu*. Obtenido de Estudio de las Propiedades del Concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> Aplicado a Condiciones Simuladas de curado:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/unsa/6120>
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología del Concreto*. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Rodríguez, P. A. (22 de Marzo de 2018). *tesis.ucsm.edu*. Obtenido de Analisis y Comparación de Diferentes Métodos de Curado para Elaborar Concreto con Resistencia  $f'c=210$  kg/CM<sup>2</sup> en Arequipa:  
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/ucsm/7591>
- Torrent, R. (25 de Julio de 2018). *Youtube*. Obtenido de Curar o No Curar:  
<https://www.youtube.com/watch?v=hL7GtaSP0pM&t=10s>

## **REGLAMENTOS**

- ACI 308(1992). Practica Estándar Para El Curado Del Concreto.
- ACI 211 (1991). Practica Estándar Para Seleccionar Proporciones Para Concreto Normal, Pesada Y Masiva.
- ACI 214RS-11. (2011). Practica Recomendada Para La Evaluación De Resultados De Ensayos A Compresión Del Concreto En El Campo.
- ASTM C192/192M. Practica Normalizada Para Preparación Y Curado De Especímenes De Concreto Para Ensayo En Laboratorio.
- ASTM C33. Especificación Normalizada Para Agregado Para Concreto.
- ASTM C39. Método De Ensayo Normalizado Para Resistencia A La Compresión De Especímenes Cilíndricos De Concreto.
- ASTM C31. Practica Normalizada Para Preparación Y Curado De Especímenes De Ensayo De Concreto En La Obra.
- ASTM C805- NTC 3692. Método De Ensayo Para Medir El Numero De Rebote De Concreto Endurecido.
- ASTM C127. Método De Ensayo Normalizado Para Determinar La Densidad, Densidad Relativa (Densidad Especifica), Y La Absorción De Agregado Grueso.
- ASTM C128. Método De Ensayo Normalizado Para Determinar La Densidad, Densidad Relativa (Densidad Especifica), Y La Absorción De Agregado Fino.
- ASTM C702. Reducción De Las Muestras De Agregado A Tamaño De Prueba.
- NSO 91.13.05:03 Especificaciones por Desempeño Para Cemento Hidráulico.

## ANEXO

### Anaxo N°1 Manual Técnico de Sika Antisol.

# Sika® Antisol® S

Compuesto líquido para el curado de concreto

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Antisol® S es una emulsión líquida que cuando es aplicada con un pulverizador sobre concreto fresco desarrolla una película impermeable y sellante de naturaleza micro cristalina. Asegura una protección perfecta al concreto después que el cemento ha reaccionado positivamente. de gran adherencia y resistencia mecánica para anclajes estructurales.

#### USOS

Sika® Antisol® S ofrece una protección durable y consistente del concreto fresco contra una evaporación demasiado rápida debido a la acción del sol y viento, por lo tanto previene el desarrollo de fisuras superficiales en la mezcla de cemento en proceso de endurecimiento.

Es especialmente apropiado para el tratamiento de superficies verticales donde la previsión es realizada para la posterior protección de la estructura sin efectos negativos.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Si el Sika® Antisol® S es aplicado correctamente no mancha las superficies. Hace las superficies muy resistentes y compactas debido a que el residuo cristalino del producto cierra todos los poros superficiales del concreto incorporándose en éste. Además, la película no impide la adherencia de tratamientos posteriores o pinturas.

Adicionalmente, se puede caminar (tráfico ligero) sobre las áreas tratadas sólo después de 24 horas.

#### NORMA

Cumple con la Norma U.N.I. 8656 bajo la clase tipo 1.

#### DATOS BÁSICOS

##### FORMA

##### ASPECTO

Líquido

##### COLORES

Transparente

##### PRESENTACIÓN

<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> Sika® Antisol® S puede ser almacenado en un sitio libre de congelamiento a temperaturas sobre los +5 °C durante 2 años.
-----------------------	---

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD</b> 1.11 kg/L ± 0.01
-----------------------	-------------------------------------

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b> El consumo de Sika® Antisol® S es de 162 cm <sup>3</sup> – 180 cm <sup>3</sup> de producto por m <sup>2</sup> de superficie. Haciendo uso de un equipo pulverizador operado por una sola persona, se puede aplicar alrededor de 1000 m <sup>2</sup> de superficie en una jornada de 8 horas.
-------------------------------	--

<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>MODO DE APLICACIÓN</b> Sika® Antisol® S debe ser aplicado puro mediante un equipo pulverizador a una presión aproximada de 1 atmósfera de presión, pulverizándolo directamente en una sola pasada sobre el concreto fresco. La aplicación debe ser realizada después de colocado y acabado el concreto inmediatamente después que el agua superficial haya desaparecido, teniendo cuidado de lograr una película de protección continua y consistente. En el caso de superficies verticales, inmediatamente después de retirar el encofrado las superficies deben ser lavadas con agua limpia y luego el producto debe ser pulverizado en forma uniforme sobre la superficie.  <b>DESECHO</b> No arrojar el producto a ríos, canales o al suelo. No arrojar los envases vacíos en el medio ambiente El producto no es tóxico ni inflamable
-----------------------------	--

## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

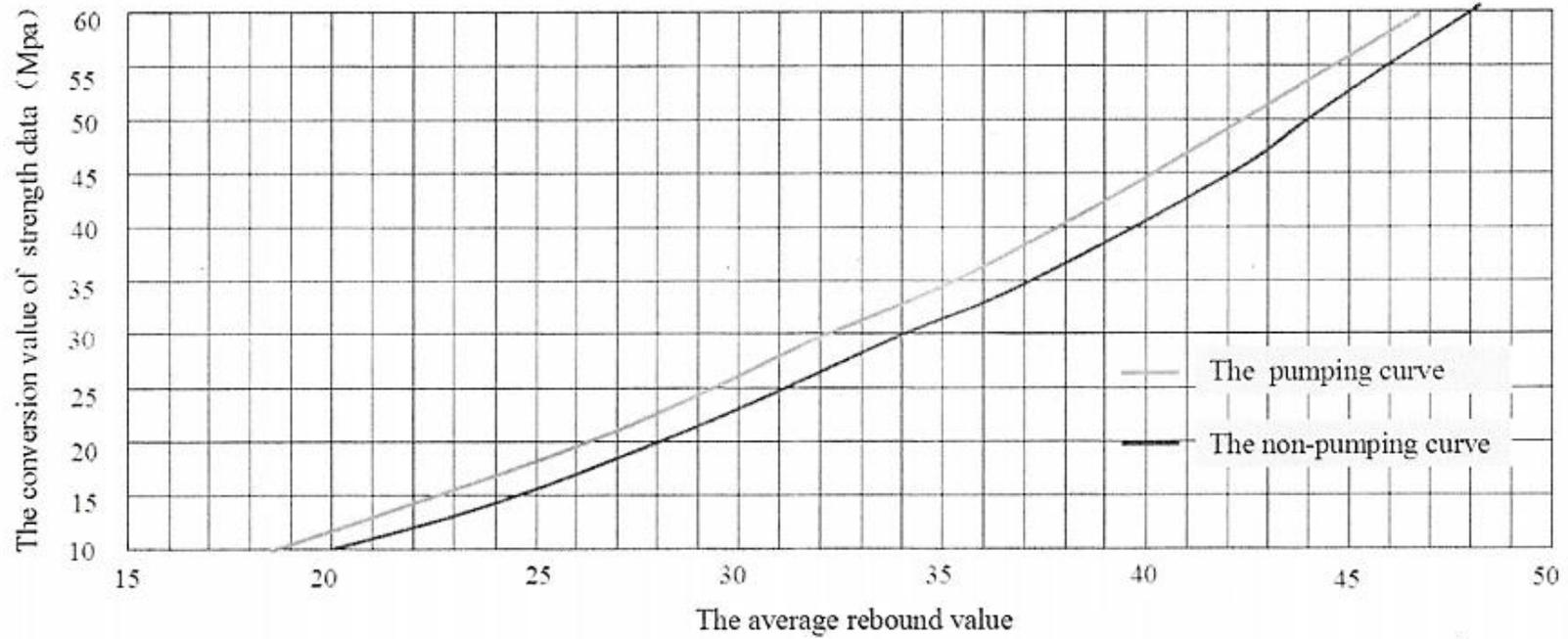
<b>PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN</b>	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
-------------------------------------	--

<b>OBSERVACIONES</b>	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a>
----------------------	--

<b>NOTAS LEGALES</b>	La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a> .
----------------------	---

**Anexo N°2 Curva de interseccion de Indice de Rebote contra Resistencia a compresión.**

The uniform curve of compressive strength of concrete when horizontal flip and carbonation depth is 0



## **Anaxo N°3 Manual de esclerometro empleado en la investigación.**

### **Manual del usuario para el martillo de prueba de concreto**

Es un instrumento de prueba tradicional no destructivo que se utiliza para determinar la resistencia a la compresión o la dureza de hormigón endurecido o roca. Proporciona una prueba de instalación rápida y fácil para obtener una indicación inmediata

#### **1. Cómo operar**

Durante la prueba, mantenga el martillo perpendicular a la superficie de prueba. Procedimientos de operación de la siguiente manera:

**Paso 1.** Generalmente, el martillo de prueba se bloqueó durante el almacenamiento, debemos desbloquearlo antes de una prueba. Saque el martillo de prueba, manteniendo el polo de rebote perpendicular a una superficie (cualquier duro). Al presionar lentamente el martillo de prueba en la cubierta del extremo, el martillo se desbloqueará y el botón saldrá, dejará de presionar. Retirando el martillo de prueba de la superficie, el polo de rebote se extenderá, y al mismo tiempo el martillo de rebote se enganchará debido al empuje del resorte de compresión, ahora está listo para una prueba.

**Paso 2.** Apunte al punto de prueba, mantenga perpendicular, empuje lentamente el polo de rebote se empujará en el martillo de prueba, al mismo tiempo, el resorte de compresión se comprime, pero el resorte de tensión se estira y se endereza, siga presionando hasta que el martillo de rebote se desenganche, El martillo de rebote impactará en el poste de rebote al tirar del resorte de tensión. Después del impacto con el polo de rebote, el martillo de rebote rebotará y tomará el puntero hacia arriba. El puntero se detendrá en la posición más alta, y podemos conocer la posición por el calibre, cada posición contra un valor que es el valor de rebote. Tenga en cuenta que antes de registrar el valor de rebote NO pierda su mano, o el puntero se establecerá en CERO automáticamente al empujar desde el resorte de compresión.

**Nota:** si es difícil ver la lectura en las condiciones especificadas en el martillo de bloqueo del Paso 2, PULSE EL BOTÓN SOLAMENTE DESPUÉS DEL IMPACTO y retire el dispositivo en un lugar conveniente para leer el medidor. Y desbloquearlo a paso I después de leer para otra prueba.

**Pasó 3.** Continúe la prueba en otros puntos de prueba.

**Pasó 4.** Finalización de la prueba, empuje el polo de rebote nuevamente dentro del martillo de prueba, como en el procedimiento de prueba anterior. Después del impacto del martillo de rebote, presione el botón y el martillo de prueba se bloqueará. Luego quítalo y devuelve la maleta.

**Observaciones:**

A. Cuando realice pruebas en superficies no verticales y, por lo tanto, no sostenga el instrumento horizontalmente; es esencial tener en cuenta el factor de gravedad que actúa sobre el choque de impacto, y la profundidad de la carbonatación es otro factor que debe tenerse en cuenta si es necesario; el fabricante ha proporcionado una hoja de conversión precisa.

B. Tenga en cuenta que una operación cuidadosa es útil para la precisión, y evita que el instrumento se caiga, caiga agua, caiga, y otros daños.

C. La prueba debe realizarse en una superficie lisa y uniforme obtenida de piezas de fundición. Evite superficies irregulares y porosas, grumos de grava y juntas en el concreto. Las pruebas en secciones delgadas o zonas de menos de 10 cm, de ancho requieren un cuidado especial en la interpretación de los resultados, debido a la distorsión debida a la elasticidad de la sección. Si es posible, la parte posterior de la sección debe mantenerse rígida por algún medio.

D. Es recomendable tomar más de 10 lecturas para obtener un valor promedio confiable  $R_m$ . El intervalo entre cada punto de prueba debe ser de 2 o 3 cm.

Nota: la resistencia a la compresión Mpa contra la Rm (valores de rebote promedio), consulte el capítulo siete

## **2. Martillo de prueba de dos calibraciones.**

Cada instrumento necesita calibración o ajuste después de un uso prolongado. De acuerdo con el reglamento estándar, podemos calibrar el martillo de prueba mediante un yunque de acero de calibración estándar. El yunque de acero de calibración para el martillo de prueba debe con una dureza de HRC58-62.

La calibración es simple pero importante e indispensable.

Circunstancia de calibración: seco y temperatura ambiente 5-35°C

Procedimiento: Calibración del martillo de prueba como si fuera una prueba, pero el analito es el yunque de acero. Haga funcionar el martillo de prueba en el yunque de acero e inspeccione el valor de rebote; un martillo de prueba calificado puede obtener un valor de  $Rm-80 \pm 2$ . Los valores de calibración son diferentes según los diferentes martillos de prueba.

## **3. Rectificación del martillo de prueba**

El dispositivo no requiere un mantenimiento especial. Evite que el polvo se acumule en el polo de rebote y penetre en el interior del dispositivo. Además, **TENGA CUIDADO** de que el polo de rebote y el martillo se ensucien con el aceite o el polvo de la superficie de contacto, ya que esto podría crear errores en el impacto del rebote.

Para mantener la confiabilidad y la buena precisión del martillo de prueba, debemos rectificar el martillo en general y periódicamente.

El martillo de prueba HT-225 se operó cada 2000 veces o, dudando de la precisión de los datos de prueba, debemos calibrarlo en el modelo de acero GZ16. Pero, solo por el yunque de acero para juzgar que el martillo de prueba esté en el estado estándar no es suficiente, se recomiendan las siguientes inspecciones para una doble confirmación

1. Al probar la fricción estática máxima entre el deslizador del puntero y el eje en el instrumento, debe caer en el alcance. de 0.5-0.8N. O ajuste el control deslizante hasta cumplir con la solicitud. 2. Verifique la longitud de trabajo efectiva del resorte de tensión para ver si es de 61.5mm, generalmente ajustando el orificio en el que el resorte puede obtener la longitud adecuada. 3. Verifique la distancia de carrera del martillo de percusión (martillo de rebote). Esto significa que el resorte se estirará hasta 75 mm. 75 mm debe ser la longitud en estado de trabajo en que se estira el resorte más largo, pero es difícil para nosotros verificar la longitud en el martillo de prueba. Sin embargo, podemos verificar indirectamente la longitud mediante el siguiente método:

Coloque el martillo en el centro de la máquina, enganche el martillo de percusión en el gancho, empuje el resorte de tensión por la base del resorte hasta que aparezca el lado de contacto del lado izquierdo. Midiendo la distancia entre dos lados de ataque, si el rebote es de la longitud en el alcance de 76.1mm-75.7mm, está bien, o necesita ajuste. ¿Por qué la longitud no es de 75 mm en el método? Esto se debe a que deberíamos considerar un valor de rectificación de la compresión del resorte de amortiguación

4. Al final de la rectificación, necesitamos calibrar el martillo de prueba en los procedimientos. En general, antes de los procedimientos anteriores, debemos limpiar el núcleo de la máquina y considerar un valor de rectificación de la compresión del resorte amortiguador. En comparación con el yunque de acero, el valor de prueba debe ser  $Rm-80 + 2$  en gasolina o alcohol. El polo central debe limpiarse con poco aceite de reloj.

#### **4. Mantenimiento**

Para mantener una buena precisión, debemos tener cuidado en la operación y el almacenamiento. El mantenimiento diario es muy recomendable.

1. Antes de volver a colocar el martillo de prueba en la maleta después de cada trabajo de prueba, debemos limpiarlo; demasiada suciedad influirá en la precisión, incluso hará que el instrumento quede sin trabajo.

2. No juegue al martillo de prueba por diversión, ni pruebe objetos metálicos poco claros.

3. En general, limpiar el núcleo de la máquina es definitivamente bueno después de un uso prolongado o después de usarse en un lugar sucio. Límpielo con gasolina o alcohol, y limpie el aceite del reloj en el polo central; al final, calibre el yunque de acero. Durante un gran número de pruebas, debemos mantener un mantenimiento regular.

### **5. Separar y ensamblar**

Realice la prueba del martillo contra el lugar duro, presione la tapa del extremo hasta que se suelte el botón, deje de presionar y deje que la barra de rebote salga del dispositivo lentamente. Quite la cubierta del extremo y saque el resorte de compresión, quite la tapa de la cubierta, separe el corchete semicircular. Mantenga el dispositivo en posición vertical (el polo de rebote hacia abajo), mueva el componente central a la cola, sostenga el gancho y desenganche el martillo de rebote, saque el componente central. Tenga en cuenta que debe desconectarse primero cuando lo saque o, por rebote, el búfer lo restablecerá. Separe el componente del núcleo, golpee ligeramente el eje del rebote de impacto, el polo de rebote saldrá de la barra central, no coloque los tres componentes, el martillo de rebote, la tensión no debe desprenderse, en caso de que el resorte del resorte de tensión. En una situación general, la primavera y la base de transformación se separan del polo del puntero. Será desde el extremo del polo puntero o desde el fijador delantero, manteniendo el polo atornillador separado del deslizador del puntero. En general, no tenemos que separar el calibre. Los anteriores son procedimientos de separación, procedimientos de montaje contra lo anterior. Por supuesto, la calibración en yunque de acero es indispensable para toda rectificación y montaje, los valores de prueba deben ser  $R_m = 80 \pm 2$

Información de referencia

Especificaciones técnicas

Rangos de medición: 10-70MPa

Energía de impacto:  $2.207 \pm 0.1J$  (0.225Kgf.m)

Longitud del tramo de resorte:  $75 \pm 0.3mm$

La fricción estática del deslizador del puntero: 0.65N- 0.15N

Radio de la punta esférica:  $25 mm \pm 1 mm$

Los valores promedio de rebote en el yunque de acero:  $80 \pm 2$

Dimensiones de la carcasa:  $\varnothing 54 * 280 mm$

Peso: 1Kg Preséntese al estándar de la industria "JGJ / T23-2001 <Especificación técnica para inspección de concreto compresivo Resumen de la fuerza por el método de rebote.

**Anexo N°4 Tablas de límites para granulometría para agregado según ASTM C-33**

Tamaño de malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

Número de tamaño	Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas), por ciento en peso											
		(100 mm) 4 pulg	(90 mm) 3.5 pulg	(75 mm) 3 pulg	(63 mm) 2.5 pulg	(50 mm) 2 pulg	(37.5 mm) 1.5 pulg	(25 mm) 1 pulg	(19.0 mm) 3/4 pulg	(12.5 mm) 1/2 pulg	(9.5 mm) 3/8 pulg	(4.75 mm) No. 4	(2.36 mm) No. 8
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5				
2	63 a 37.5 mm			100	90 a 100	35 a 70	1 a 15		0 a 5				
3	50 a 25.0 mm				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5			
3.57	50 a 4.75 mm				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5	
4	37.5 a 19 mm					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
4.67	37.5 a 4.75 mm					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5	
5	25 a 12.5 mm						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5		
5.6	25 a 9.5 mm						100	91 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	
5.7	25 a 4.75 mm						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5

## Anexo N° 5 Resultado individuales de ensayos a compresión en cilindros

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

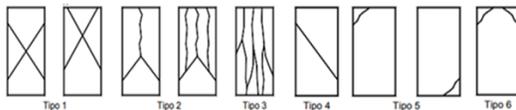
Fecha de elaboración: 02/05/2019

Tratamiento : ASTM C 192/C192 M (Condiciones controladas)

Revenimiento: 3.75 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	05/05/2019	3	12.12	30	15.00	176.71	20825	117.85	6	56.12
2	05/05/2019	3	12.14	30	15.00	176.71	19945	112.87	6	53.75
3	05/05/2019	3	12.10	30	14.90	174.37	20540	117.80	6	56.09
4	05/05/2019	3	12.10	30	15.00	176.71	20675	117.00	6	55.71
5	05/05/2019	3	12.13	30	14.80	172.03	21625	125.70	6	59.86
6	05/05/2019	3	12.05	30	14.90	174.37	19360	111.03	6	52.87
7	05/05/2019	3	12.17	30	15.10	179.08	21170	118.22	6	56.29
8	05/05/2019	3	12.24	30	15.00	176.71	18055	102.17	6	48.65
9	05/05/2019	3	12.10	30	14.90	174.37	19095	109.51	6	52.15
10	05/05/2019	3	12.15	30	14.80	172.03	18855	109.60	6	52.19
11	05/05/2019	3	12.12	30	15.00	176.71	20545	116.26	6	55.36
12	05/05/2019	3	12.10	30	14.80	172.03	21095	122.62	6	58.39
13	05/05/2019	3	12.08	30	14.80	172.03	20475	119.02	6	56.67
14	05/05/2019	3	12.10	30	14.90	174.37	19045	109.22	6	52.01
15	05/05/2019	3	12.16	30	15.00	176.71	20865	118.07	6	56.22

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	115.13
	% Resistencia a la compresion	54.82

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

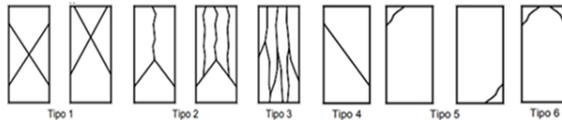
Fecha de elaboración: 13/05/2019

Tratamiento : ASTM C 192/C192 M (Condiciones controladas)

Revenimiento: 4.40 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210 kg/cm<sup>2</sup>

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	27/05/2019	14	12.12	30	15.00	176.71	43710.85	247.35	5	117.79
2	27/05/2019	14	12.07	30	15.00	176.71	44675.85	252.81	6	120.39
3	27/05/2019	14	12.05	30	14.90	174.37	45330.85	259.97	6	123.80
4	27/05/2019	14	12.09	30	15.00	176.71	35295.85	199.73	6	95.11
5	27/05/2019	14	12.08	30	14.80	172.03	45180.85	262.63	6	125.06
6	27/05/2019	14	12.09	30	14.90	174.37	48615.85	278.81	6	132.77
7	27/05/2019	14	12.03	30	15.10	179.08	39385.85	219.94	6	104.73
8	27/05/2019	14	12.00	30	15.00	176.71	43500.85	246.16	2	117.22
9	27/05/2019	14	12.12	30	14.90	174.37	45340.85	260.03	6	123.82
10	27/05/2019	14	12.13	30	14.80	172.03	45385.85	263.82	6	125.63
11	27/05/2019	14	12.06	30	15.00	176.71	44370.85	251.09	6	119.57
12	27/05/2019	14	12.07	30	14.80	172.03	41415.85	240.74	6	114.64
13	27/05/2019	14	12.15	30	14.80	172.03	43985.85	255.68	6	121.75
14	27/05/2019	14	12.05	30	14.90	174.37	40135.85	230.18	6	109.61
15	27/05/2019	14	12.04	30	15.00	176.71	39985.85	226.27	6	107.75

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	246.35
	% Resistencia a la compresion	117.31

LafargeHolcim, San Miguel

Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

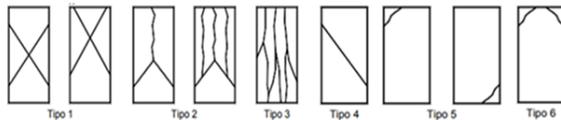
Fecha de elaboración: 27/05/2019

Tratamiento : ASTM C 192/C192 M (Condiciones controladas)

Revenimiento: 4.50 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	24/06/2019	28	12.09	30.00	15.00	176.71	53635	303.51	6	144.53
2	24/06/2019	28	12.17	30.00	15.00	176.71	54835	310.30	6	147.76
3	24/06/2019	28	12.19	30.00	14.90	174.37	56135	321.94	6	153.30
4	24/06/2019	28	12.17	30.00	15.00	176.71	53450	302.47	6	144.03
5	24/06/2019	28	12.22	30.00	14.80	172.03	55065	320.08	6	152.42
6	24/06/2019	28	12.19	30.00	14.90	174.37	55235	316.78	6	150.85
7	24/06/2019	28	12.14	30.00	15.10	179.08	54285	303.13	6	144.35
8	24/06/2019	28	12.12	30.00	15.00	176.71	52345	296.21	6	141.05
9	24/06/2019	28	12.22	30.00	14.90	174.37	51800	297.08	6	141.46
10	24/06/2019	28	12.18	30.00	14.80	172.03	53160	309.01	6	147.15
11	24/06/2019	28	12.23	30.00	15.00	176.71	55105	311.83	6	148.49
12	24/06/2019	28	12.22	30.00	14.80	172.03	50365	292.76	6	139.41
13	24/06/2019	28	12.30	30.00	14.80	172.03	53845	312.99	6	149.04
14	24/06/2019	28	12.20	30.00	14.90	174.37	54840	314.51	6	149.77
15	24/06/2019	28	12.22	30.00	15.00	176.71	52770	298.62	6	142.20

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	307.41
	% Resistencia a la compresion	146.39

LafargeHolcim, San Miguel

Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

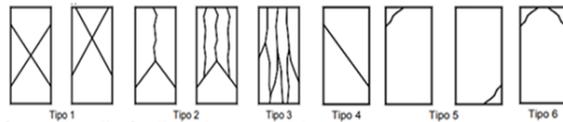
Fecha de elaboración: 22/05/2019

Tratamiento : Membrana de curado

Revenimiento: 3.50 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	25/05/2019	3	12.05	30.1	15.00	176.71	13431	76.00	5	36.19
2	25/05/2019	3	12.03	30.1	15.00	176.71	13441	76.06	5	36.22
3	25/05/2019	3	12.01	30.1	14.90	174.37	12521	71.81	6	34.19
4	25/05/2019	3	11.98	30.1	15.00	176.71	12346	69.86	6	33.27
5	25/05/2019	3	11.93	30.1	14.80	172.03	13471	78.30	5	37.29
6	25/05/2019	3	12.05	30.1	14.90	174.37	13791	79.09	6	37.66
7	25/05/2019	3	12.02	30.1	15.10	179.08	14276	79.72	6	37.96
8	25/05/2019	3	12.04	30.1	15.00	176.71	13181	74.59	5	35.52
9	25/05/2019	3	12.00	30.1	14.90	174.37	14221	81.56	6	38.84
10	25/05/2019	3	12.06	30.1	14.80	172.03	11361	66.04	6	31.45
11	25/05/2019	3	11.95	30.1	15.00	176.71	15336	86.78	5	41.33
12	25/05/2019	3	12.10	30.1	14.80	172.03	13976	81.24	6	38.69
13	25/05/2019	3	11.99	30.1	14.80	172.03	15461	89.87	6	42.80
14	25/05/2019	3	12.12	30.1	14.90	174.37	15006	86.06	6	40.98
15	25/05/2019	3	12.03	30.1	15.00	176.71	14181	80.25	6	38.21

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	78.48
	% Resistencia a la compresion	37.37

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

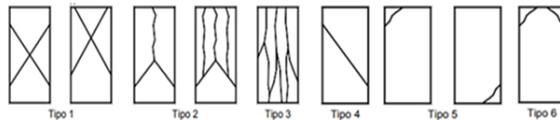
Fecha de elaboración: 21/05/2019

Tratamiento : Membrana de curado

Revenimiento: 3.50 pulga  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	04/06/2019	14	11.72	30.00	15.00	176.71	32631	184.65	6	87.93
2	04/06/2019	14	11.67	30.00	15.00	176.71	31141	176.22	6	83.92
3	04/06/2019	14	11.71	30.00	14.90	174.37	29656	170.08	6	80.99
4	04/06/2019	14	11.73	30.00	15.00	176.71	32936	186.38	6	88.75
5	04/06/2019	14	11.77	30.00	14.80	172.03	25156	146.23	6	69.63
6	04/06/2019	14	11.82	30.00	14.90	174.37	36231	207.79	6	98.95
7	04/06/2019	14	11.73	30.00	15.10	179.08	28186	157.39	6	74.95
8	04/06/2019	14	11.72	30.00	15.00	176.71	35501	200.89	6	95.66
9	04/06/2019	14	11.76	30.00	14.90	174.37	33981	194.88	6	92.80
10	04/06/2019	14	11.73	30.00	14.80	172.03	36026	209.41	6	99.72
11	04/06/2019	14	11.78	30.00	15.00	176.71	38021	215.15	6	102.45
12	04/06/2019	14	11.76	30.00	14.80	172.03	29676	172.50	6	82.14
13	04/06/2019	14	11.65	30.00	14.80	172.03	29731	172.82	6	82.30
14	04/06/2019	14	11.77	30.00	14.90	174.37	24631	141.26	6	67.27
15	04/06/2019	14	11.75	30.00	15.00	176.71	34306	194.13	6	92.44

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	181.99
	% Resistencia a la compresion	86.66

LafargeHolcim, San Miguel

Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

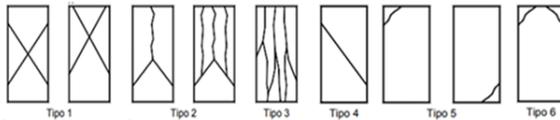
Fecha de elaboración: 16/05/2019

Tratamiento : Membrana de curado

Revenimiento: 4.40 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	13/06/2019	28	11.75	30.00	15.00	176.71	40671	230.15	6	109.60
2	13/06/2019	28	11.83	30.00	15.00	176.71	47566	269.17	6	128.18
3	13/06/2019	28	11.86	30.00	14.90	174.37	44516	255.30	6	121.57
4	13/06/2019	28	11.81	30.00	15.00	176.71	42776	242.06	6	115.27
5	13/06/2019	28	11.81	30.00	14.80	172.03	47296	274.92	6	130.92
6	13/06/2019	28	11.85	30.00	14.90	174.37	51246	293.90	6	139.95
7	13/06/2019	28	11.72	30.00	15.10	179.08	45246	252.66	6	120.31
8	13/06/2019	28	11.88	30.00	15.00	176.71	51536	291.63	6	138.87
9	13/06/2019	28	11.75	30.00	14.90	174.37	44346	254.33	6	121.11
10	13/06/2019	28	11.9	30.00	14.80	172.03	50551	293.84	6	139.93
11	13/06/2019	28	11.78	30.00	15.00	176.71	45646	258.30	6	123.00
12	13/06/2019	28	11.84	30.00	14.80	172.03	48906	284.28	6	135.37
13	13/06/2019	28	11.78	30.00	14.80	172.03	43766	254.40	6	121.14
14	13/06/2019	28	11.87	30.00	14.90	174.37	46001	263.82	6	125.63
15	13/06/2019	28	11.8	30.00	15.00	176.71	47306	267.70	6	127.47

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	265.76
	% Resistencia a la compresion	126.55

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

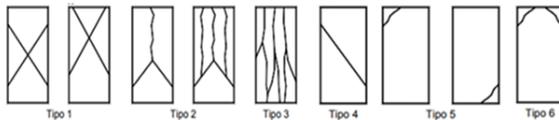
Fecha de elaboración: 28/05/2019

Tratamiento : Aspercion

Revenimiento: 3.75 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	31/05/2019	3	12.18	30.00	15.00	176.71	19021	107.64	2	51.26
2	31/05/2019	3	12.21	30.00	15.00	176.71	21051	119.12	6	56.73
3	31/05/2019	3	12.15	30.00	14.90	174.37	20386	116.91	6	55.67
4	31/05/2019	3	12.09	30.00	15.00	176.71	18416	104.21	5	49.63
5	31/05/2019	3	12.17	30.00	14.80	172.03	20426	118.73	5	56.54
6	31/05/2019	3	12.2	30.00	14.90	174.37	20226	116.00	6	55.24
7	31/05/2019	3	12.2	30.00	15.10	179.08	21511	120.12	5	57.20
8	31/05/2019	3	12.23	30.00	15.00	176.71	21961	124.27	3	59.18
9	31/05/2019	3	12.18	30.00	14.90	174.37	22321	128.01	5	60.96
10	31/05/2019	3	12.2	30.00	14.80	172.03	18841	109.52	5	52.15
11	31/05/2019	3	12.24	30.00	15.00	176.71	18811	106.45	6	50.69
12	31/05/2019	3	12.22	30.00	14.80	172.03	19138	111.25	5	52.97
13	31/05/2019	3	12.17	30.00	14.80	172.03	18901	109.87	6	52.32
14	31/05/2019	3	12.15	30.00	14.90	174.37	20776	119.15	6	56.74
15	31/05/2019	3	12.15	30.00	15.00	176.71	19291	109.16	3	51.98

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	114.69
	% Resistencia a la compresion	54.62

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

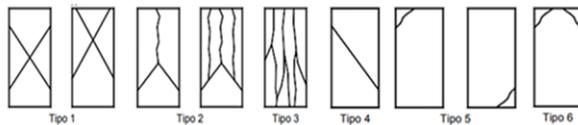
Fecha de elaboración: 28/05/2019

Tratamiento : Aspersión

Revenimiento: 4.25 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	12/06/2019	14	11.98	30.00	15.00	176.71	40646	230.01	6	109.53
2	12/06/2019	14	11.9	30.00	15.00	176.71	41456	234.59	6	111.71
3	12/06/2019	14	11.94	30.00	14.90	174.37	41361	237.21	6	112.96
4	12/06/2019	14	12.06	30.00	15.00	176.71	44646	252.64	6	120.31
5	12/06/2019	14	11.86	30.00	14.80	172.03	44206	256.96	6	122.36
6	12/06/2019	14	11.88	30.00	14.90	174.37	44651	256.08	6	121.94
7	12/06/2019	14	11.94	30.00	15.10	179.08	44951	251.01	6	119.53
8	12/06/2019	14	11.88	30.00	15.00	176.71	42516	240.59	6	114.57
9	12/06/2019	14	11.96	30.00	14.90	174.37	38271	219.49	6	104.52
10	12/06/2019	14	11.95	30.00	14.80	172.03	42686	248.13	6	118.16
11	12/06/2019	14	11.91	30.00	15.00	176.71	42641	241.30	6	114.90
12	12/06/2019	14	11.88	30.00	14.80	172.03	42061	244.49	6	116.43
13	12/06/2019	14	11.96	30.00	14.80	172.03	44766	260.22	6	123.91
14	12/06/2019	14	11.95	30.00	14.90	174.37	42546	244.00	6	116.19
15	12/06/2019	14	11.92	30.00	15.00	176.71	42291	239.32	6	113.96

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	243.74
	% Resistencia a la compresion	116.06

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

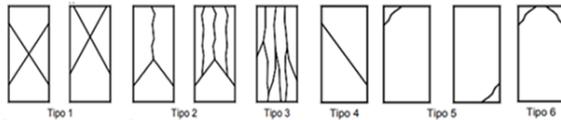
Fecha de elaboración: 23/05/2019

Tratamiento : Aspercion

Revenimiento: 3.60 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	20/06/2019	28	11.83	30.00	15.00	176.71	54741	309.77	6	147.51
2	20/06/2019	28	11.85	30.00	15.00	176.71	52041	294.49	6	140.23
3	20/06/2019	28	11.88	30.00	14.90	174.37	58131	333.38	6	158.75
4	20/06/2019	28	11.81	30.00	15.00	176.71	51646	292.26	6	139.17
5	20/06/2019	28	11.82	30.00	14.80	172.03	59021	343.08	6	163.37
6	20/06/2019	28	11.78	30.00	14.90	174.37	48951	280.74	6	133.68
7	20/06/2019	28	11.86	30.00	15.10	179.08	55811	311.66	6	148.41
8	20/06/2019	28	11.81	30.00	15.00	176.71	50636	286.54	6	136.45
9	20/06/2019	28	11.83	30.00	14.90	174.37	53341	305.91	6	145.67
10	20/06/2019	28	11.85	30.00	14.80	172.03	53701	312.15	6	148.64
11	20/06/2019	28	11.88	30.00	15.00	176.71	53156	300.80	6	143.24
12	20/06/2019	28	11.89	30.00	14.80	172.03	49451	287.45	6	136.88
13	20/06/2019	28	11.76	30.00	14.80	172.03	41841	243.21	6	115.82
14	20/06/2019	28	11.87	30.00	14.90	174.37	48036	275.49	6	131.19
15	20/06/2019	28	11.55	30.00	15.00	176.71	41131	232.75	6	110.84

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	293.98
	% Resistencia a la compresion	139.99

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

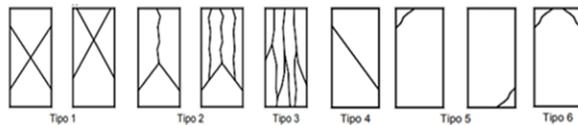
Fecha de elaboración: 20/05/2019

Tratamiento : Sin Curar

Revenimiento: 4.00 pulg  
 $f'_c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	23/05/2019	3	11.73	30.00	15.00	176.71	12321	69.72	6	33.20
2	23/05/2019	3	11.81	30.00	15.00	176.71	13191	74.65	6	35.55
3	23/05/2019	3	11.85	30.00	14.90	174.37	15341	87.98	6	41.90
4	23/05/2019	3	11.80	30.00	15.00	176.71	12631	71.48	6	34.04
5	23/05/2019	3	11.78	30.00	14.80	172.03	15566	90.48	6	43.09
6	23/05/2019	3	11.79	30.00	14.90	174.37	14076	80.73	6	38.44
7	23/05/2019	3	11.83	30.00	15.10	179.08	15066	84.13	6	40.06
8	23/05/2019	3	11.89	30.00	15.00	176.71	12986	73.49	6	34.99
9	23/05/2019	3	11.81	30.00	14.90	174.37	11891	68.20	6	32.47
10	23/05/2019	3	11.90	30.00	14.80	172.03	12381	71.97	6	34.27
11	23/05/2019	3	11.87	30.00	15.00	176.71	16211	91.74	6	43.68
12	23/05/2019	3	11.87	30.00	14.80	172.03	14676	85.31	6	40.62
13	23/05/2019	3	11.80	30.00	14.80	172.03	12656	73.57	6	35.03
14	23/05/2019	3	11.92	30.00	14.90	174.37	13321	76.40	6	36.38
15	23/05/2019	3	11.85	30.00	15.00	176.71	16166	91.48	6	43.56

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	79.42
	% Resistencia a la compresion	37.82

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMBPOY LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

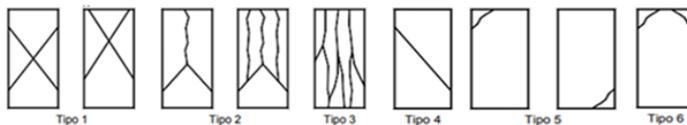
Fecha de elaboración: 15/05/2019

Tratamiento : Sin Curar

Revenimiento: 4.50 pulg  
 $f'_c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area ( $\text{cm}^2$ )	Fuerza (kg)	Resistencia ( $\text{kg/cm}^2$ )	Tipo de falla	% de resistencia
1	29/05/2019	14	11.87	30	15.00	176.71	35376	200.19	5	95.33
2	29/05/2019	14	11.87	30	15.00	176.71	31996	181.06	6	86.22
3	29/05/2019	14	11.80	30	14.90	174.37	31751	182.09	6	86.71
4	29/05/2019	14	11.83	30	15.00	176.71	16791	95.02	6	45.25
5	29/05/2019	14	11.84	30	14.80	172.03	21366	124.20	6	59.14
6	29/05/2019	14	11.79	30	14.90	174.37	26686	153.05	6	72.88
7	29/05/2019	14	11.94	30	15.10	179.08	33496	187.05	5	89.07
8	29/05/2019	14	11.86	30	15.00	176.71	30321	171.58	6	81.71
9	29/05/2019	14	11.91	30	14.90	174.37	35221	201.99	6	96.19
10	29/05/2019	14	11.79	30	14.80	172.03	25911	150.62	6	71.72
11	29/05/2019	14	11.82	30	15.00	176.71	32776	185.47	6	88.32
12	29/05/2019	14	11.81	30	14.80	172.03	28291	164.45	6	78.31
13	29/05/2019	14	11.79	30	14.80	172.03	34411	200.02	6	95.25
14	29/05/2019	14	11.84	30	14.90	174.37	34071	195.40	6	93.05
15	29/05/2019	14	11.76	30	15.00	176.71	25691	145.38	6	69.23

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	169.17
	% Resistencia a la compresion	80.56

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresió

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

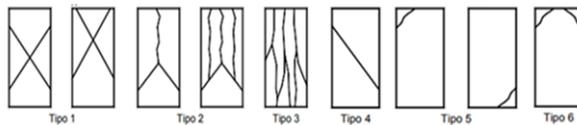
Fecha de elaboración: 14/05/2019

Tratamiento : Sin Curar

Revenimiento: 4.50 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

Codigo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	% de resistencia
1	11/06/2019	28	11.58	30.00	15.00	176.71	27684	156.66	6	74.60
2	11/06/2019	28	11.56	30.00	15.00	176.71	26249	148.54	6	70.73
3	11/06/2019	28	11.62	30.00	14.90	174.37	28019	160.69	6	76.52
4	11/06/2019	28	11.61	30.00	15.00	176.71	24489	138.58	6	65.99
5	11/06/2019	28	11.62	30.00	14.80	172.03	25214	146.56	6	69.79
6	11/06/2019	28	11.66	30.00	14.90	174.37	28829	165.34	6	78.73
7	11/06/2019	28	11.62	30.00	15.10	179.08	26984	150.68	6	71.75
8	11/06/2019	28	11.72	30.00	15.00	176.71	32279	182.66	6	86.98
9	11/06/2019	28	11.64	30.00	14.90	174.37	31854	182.68	6	86.99
10	11/06/2019	28	11.65	30.00	14.80	172.03	31389	182.46	6	86.89
11	11/06/2019	28	11.66	30.00	15.00	176.71	31759	179.72	6	85.58
12	11/06/2019	28	11.61	30.00	14.80	172.03	36999	215.07	6	102.41
13	11/06/2019	28	11.74	30.00	14.80	172.03	40419	234.95	6	111.88
14	11/06/2019	28	11.52	30.00	14.90	174.37	26419	151.51	6	72.15
15	11/06/2019	28	11.66	30.00	15.00	176.71	31539	178.47	6	84.99

Tipos de fallas



Promedio	Resistencia a la compresion	171.64
	% Resistencia a la compresion	81.73

LafargeHolcim, San Miguel  
 Lugar de ensayo de Resistencia a la compresión

## Anexo 6 Resultado individuales de ensayos por esclerometría en cilindros

COMPARACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTO APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla Fecha de elaboración: 16/05/2019

Tratamiento : Membrana de curado Revenimiento: 4.40 pulg  
 $f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

### ESCLEROMETRIA DE CILINDROS

Tratamiento: Membrana de curado		edad: 28 días									fecha: 13/06/19	
# cilindro	IR										IR PROM	F'c
1	24	27	22	26	25	23	23	31	25	25	25.1	160.21
2	24	25	28	26	24	27	26	26	23	30	25.9	170.86
3	21	31	26	26	24	26	24	26	25	25	25.4	164.16
4	21	25	29	26	24	26	25	25	22	28	25.1	160.21
5	23	23	25	26	27	28	24	21	31	24	25.2	161.52
6	22	24	23	29	31	27	22	30	25	29	26.2	174.94
7	22	24	23	20	24	28	23	32	22	25	24.3	149.91
8	26	25	23	25	28	27	23	26	26	24	25.3	162.84
9	27	29	28	28	34	25	24	25	24	29	27.3	190.32
10	29	26	25	26	25	21	23	30	23	26	25.4	164.16
11	23	29	22	26	22	26	26	26	30	27	25.7	168.16
12	23	23	26	24	24	30	24	26	24	25	24.9	157.60
13	23	26	24	26	22	27	24	26	22	28	24.8	156.31
14	25	26	23	25	25	25	23	29	24	29	25.4	164.16
15	24	19	28	25	28	25	23	25	26	24	24.7	155.02
											F'c final	164.03

COMPARACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTO APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

23/05/2019

Tratamiento : Aspersión

Revenimiento: 3.60 pulg

$f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE CILINDROS

Tratamiento:Aspersión			edad: 28 días								fecha: 20/06/19	
# cilindro	IR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	IR PROM	F'c
1	22	24	21	28	20	22	21	29	21	25	23.3	137.52
2	25	25	22	23	26	25	23	27	23	26	24.5	152.45
3	25	24	22	24	26	25	25	25	23	27	24.6	153.73
4	24	27	24	22	25	22	22	24	24	24	23.8	143.65
5	23	24	21	24	24	23	21	23	24	26	23.3	137.52
6	28	29	23	28	24	24	24	22	27	25	25.4	164.16
7	29	23	20	31	27	26	26	31	25	25	26.3	176.31
8	25	25	23	25	23	21	28	29	24	25	24.8	156.31
9	22	24	23	22	25	31	25	25	23	23	24.3	149.91
10	21	25	24	20	26	26	29	24	23	27	24.5	152.45
11	23	25	24	25	25	23	24	22	29	22	24.2	148.65
12	26	27	24	23	20	22	23	27	30	27	24.9	157.60
13	22	24	26	26	22	24	22	26	30	25	24.7	155.02
14	23	27	28	29	29	26	22	26	24	30	26.4	177.69
15	25	30	26	27	26	23	24	26	24	21	25.2	161.52
											F'c final	154.97

COMPARACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTO APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración: 14/05/2019

Tratamiento : Sin Curar

Revenimiento: 4.50 pulg

$f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE CILINDROS

Tratamiento: Sin Curar			edad: 28 dias								fecha: 11/06/19	
# cilindro	IR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	IR PROM	F'c
1	18	24	28	25	19	29	21	27	18	25	23.4	138.73
2	18	24	21	17	24	22	22	26	23	25	22.2	124.50
3	19	25	21	22	22	24	20	25	18	24	22	122.21
4	20	25	18	23	17	27	18	23	26	26	22.3	125.66
5	20	24	24	27	19	27	30	26	21	25	24.3	149.91
6	18	26	22	26	19	24	24	28	19	25	23.1	135.10
7	21	27	29	24	21	31	23	27	22	24	24.9	157.60
8	20	24	22	24	17	25	21	25	18	25	22.1	123.35
9	18	24	19	27	23	25	19	25	22	28	23	133.90
10	24	25	18	24	21	23	21	26	20	27	22.9	132.71
11	20	24	21	25	17	27	19	24	22	25	22.4	126.82
12	21	27	25	26	20	27	19	26	19	27	23.7	142.41
13	20	27	24	25	20	27	23	25	21	26	23.8	143.65
14	25	27	19	28	19	26	24	24	19	23	23.4	138.73
15	17	26	19	25	19	24	19	24	20	22	21.5	116.56
											F'c final	134.12

## Anexo 7 Resultado individuales de ensayos por esclerometría en columnas

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

16/05/2019

Revenimiento: 4.50 pulg

Tratamiento : Membrana de curado

$f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS						
Tratamiento: Membrana de curado			Edad: 3 dias	FECHA: 19/05/19		
CARA #1			CARA#3			
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c	
1	27	SUMA DE IR	1	22	SUMA DE IR	
2	26	240	2	22	215	
3	23	PROMEDIO	3	17	PROMEDIO	
4	27	24	4	26	21.5	
5	22	REDUCCION DEL	5	22	REDUCCION DEL	
6	25		2.1	6		25
7	21		21.9	7		21
8	21	F'c	8	21	19.4	
9	24	118.56	9	20	F'c	
10	24		10	19	93.46	
CARA #2			CARA #4			
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c	
1	22	SUMA DE IR	1	21	SUMA DE IR	
2	23	216	2	23	217	
3	20	PROMEDIO	3	21	PROMEDIO	
4	20	21.6	4	23	21.7	
5	23	REDUCCION DEL	5	23	REDUCCION DEL	
6	22		2.1	6		23
7	26		19.5	7		23
8	20	F'c	8	21	19.6	
9	21	94.46	9	20	F'c	
10	19		10	19	95.48	
IR PROMEDIO	80.40	PROMEDIO	20.10	$f'c=$	101.47	

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor:        ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

16/05/2019

Revenimiento:    4.50 pulg

Tratamiento :    Membrana de curado

$f'c$  de diseño:        210     $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento: Membrana de curado			Edad: 14 días	FECHA: 30/05/19	
CARA #1			CARA#3		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	27	SUMA DE IR	1	31	SUMA DE IR
2	27	271	2	27	280
3	27	PROMEDIO	3	27	PROMEDIO
4	24	27.1	4	27	28
5	27	REDUCCION DEL 2.1	5	31	REDUCCION DEL 2.1
6	28		6	28	
7	29		7	28	
8	28	25	8	26	25.9
9	29	F'c	9	29	F'c
10	25	156.21	10	26	169.99
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	23	SUMA DE IR	1	26	SUMA DE IR
2	26	248	2	29	281
3	27	PROMEDIO	3	32	PROMEDIO
4	23	24.8	4	30	28.1
5	25	REDUCCION DEL 2.1	5	28	REDUCCION DEL 2.1
6	26		6	25	
7	17		7	29	
8	24	22.7	8	27	26
9	32	F'c	9	28	F'c
10	25	129.48	10	27	171.35
IR PROMEDIO	99.60	PROMEDIO	24.90	$f'c=$	157.60

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$**

Asesor:        ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

16/05/2019

Revenimiento:    4.50 pulg

Tratamiento :    Membrana de curado

$f'c$  de diseño:    210     $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS						
Tratamiento: Membrana de curado			Edad: 28 días	FECHA: 13/06/19		
CARA #1			CARA#3			
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c	
1	27	SUMA DE IR	1	30	SUMA DE IR	
2	32	285	2	30	329	
3	31	PROMEDIO	3	30	PROMEDIO	
4	27	28.5	4	35	32.9	
5	30	REDUCCION DEL	5	39	REDUCCION DEL	
6	27		2.1	6		32
7	28		26.4	7		34
8	27		26.4	8		33
9	27	F'c	9	31	F'c	
10	29	174.95	10	35	242.72	
CARA #2			CARA #4			
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c	
1	27	SUMA DE IR	1	27	SUMA DE IR	
2	31	302	2	26	272	
3	28	PROMEDIO	3	28	PROMEDIO	
4	28	30.2	4	27	27.2	
5	30	REDUCCION DEL	5	28	REDUCCION DEL	
6	33		2.1	6		25
7	33		28.1	7		27
8	29		28.1	8		28
9	35	F'c	9	29	F'c	
10	28	201.05	10	27	159.35	
IR PROMEDIO	110.40	PROMEDIO	27.60	$f'c=$	194.62	

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$**

Asesor:        ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

23/05/2019

Revenimiento:    4.50 pulg

Tratamiento :    Aspersión

$f'c$  de diseño:        210     $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento: Aspersión			Edad: 3 días	FECHA: 26/05/19	
CARA #1			CARA#3		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	26	SUMA DE IR	1	19	SUMA DE IR
2	29	247	2	23	212
3	22	PROMEDIO	3	22	PROMEDIO
4	24	24.7	4	24	21.2
5	24	REDUCCION DEL	5	23	REDUCCION DEL
6	19	2.1	6	19	2.1
7	29	22.6	7	19	19.1
8	26	F'c	8	19	F'c
9	22	126.60	9	21	90.48
10	26	126.60	10	23	90.48
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	25	SUMA DE IR	1	23	SUMA DE IR
2	23	234	2	21	220
3	19	PROMEDIO	3	22	PROMEDIO
4	23	23.4	4	21	22
5	25	REDUCCION DEL	5	20	REDUCCION DEL
6	25	2.1	6	21	2.1
7	27	21.3	7	24	19.9
8	22	F'c	8	23	F'c
9	23	113.48	9	23	98.54
10	22	113.48	10	22	98.54
IR PROMEDIO	82.90	PROMEDIO	20.73	$f'c=$	108.08

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
 DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
 CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

23/05/2019

Revenimiento: 4.50 pulg

Tratamiento : Aspersión

$f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento: Aspersión			Edad: 14 días	FECHA: 06/06/19	
CARA #1			CARA#3		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	23	SUMA DE IR	1	24	SUMA DE IR
2	25	268	2	26	260
3	25	PROMEDIO	3	25	PROMEDIO
4	26	26.8	4	26	26
5	28	REDUCCION DEL 2.1	5	25	REDUCCION DEL 2.1
6	28		6	26	
7	29		7	26	
8	28	24.7	8	29	23.9
9	29	F'c	9	26	F'c
10	27	152.34	10	27	144.02
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	23	SUMA DE IR	1	25	SUMA DE IR
2	23	238	2	24	265
3	22	PROMEDIO	3	25	PROMEDIO
4	24	23.8	4	26	26.5
5	23	REDUCCION DEL 2.1	5	30	REDUCCION DEL 2.1
6	24		6	25	
7	29		7	25	
8	22	21.7	8	29	24.4
9	27	F'c	9	29	F'c
10	21	117.94	10	27	150.32
IR PROMEDIO	94.70	PROMEDIO	23.68	$f'c=$	142.10

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
 DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
 CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Asesor: ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

17/05/2019

Revenimiento: 4.50 pulg

Tratamiento : Aspersión

$f'c$  de diseño: 210  $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento: Aspersión			Edad: 28días	FECHA: 20/06/19	
CARA #1			CARA#3		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	23	SUMA DE IR	1	29	SUMA DE IR
2	29	264	2	26	270
3	25	PROMEDIO	3	23	PROMEDIO
4	26	26.4	4	28	27
5	27	REDUCCION DEL 2.1	5	25	REDUCCION DEL 2.1
6	29		6	28	
7	26		7	26	
8	25	24.3	8	29	24.9
9	27	F'c	9	29	F'c
10	27	147.25	10	27	156.74
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	30	SUMA DE IR	1	30	SUMA DE IR
2	28	290	2	27	280
3	30	PROMEDIO	3	28	PROMEDIO
4	31	29	4	25	28
5	28	REDUCCION DEL 2.1	5	28	REDUCCION DEL 2.1
6	29		6	24	
7	27		7	30	
8	29	26.9	8	29	25.9
9	26	F'c	9	30	F'c
10	32	183.79	10	29	169.99
IR PROMEDIO	102.00	PROMEDIO	25.50	$f'c=$	165.49

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$**

Asesor:        ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

14/05/2019

Revenimiento:    4.40 pulg

Tratamiento :    sin curar

$f'c$  de diseño:        210     $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento: sin curar			Edad: 3 dias	FECHA: 17/05/19	
CARA #1			CARA#3		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	22	SUMA DE IR	1	21	SUMA DE IR
2	19	218	2	19	228
3	22	PROMEDIO	3	25	PROMEDIO
4	27	21.8	4	25	22.8
5	21	REDUCCION DEL	5	24	REDUCCION DEL
6	23	2.1	6	26	2.1
7	20	REDUCCION DEL	7	23	REDUCCION DEL
8	22	19.7	8	21	20.7
9	21	F'c	9	20	F'c
10	21	95.04	10	24	106.95
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	23	SUMA DE IR	1	22	SUMA DE IR
2	20	229	2	20	229
3	23	PROMEDIO	3	19	PROMEDIO
4	25	22.9	4	25	22.9
5	21	REDUCCION DEL	5	22	REDUCCION DEL
6	21	2.1	6	24	2.1
7	27	REDUCCION DEL	7	22	REDUCCION DEL
8	20	20.8	8	24	20.8
9	26	F'c	9	26	F'c
10	23	108.02	10	25	108.02
IR PROMEDIO	82.00	PROMEDIO	20.50	f'c=	105.68

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$**

Asesor:        ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

14/05/2019

Revenimiento:    4.40 pulg

Tratamiento :     sin curar

$f'c$  de diseño:        210       $\text{kg/cm}^2$

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento: sin curar			Edad: 14 dias	FECHA: 28/05/19	
CARA #1			CARA#3		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	25	SUMA DE IR	1	21	SUMA DE IR
2	25	254	2	26	243
3	27	PROMEDIO	3	25	PROMEDIO
4	25	25.4	4	23	24.3
5	24	REDUCCION DEL	5	27	REDUCCION DEL
6	25	2.1	6	27	2.1
7	25	REDUCCION DEL	7	24	REDUCCION DEL
8	26	23.3	8	23	22.2
9	25	F'c	9	23	F'c
10	27	134.91	10	24	123.64
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	26	SUMA DE IR	1	27	SUMA DE IR
2	22	239	2	26	265
3	22	PROMEDIO	3	27	PROMEDIO
4	24	23.9	4	30	26.5
5	24	REDUCCION DEL	5	25	REDUCCION DEL
6	27	2.1	6	25	2.1
7	24	REDUCCION DEL	7	26	REDUCCION DEL
8	24	21.8	8	27	24.4
9	25	F'c	9	25	F'c
10	21	119.07	10	27	150.32
IR PROMEDIO	91.70	PROMEDIO	22.93	$f'c=$	133.01

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDA MEDIANTE  
DIVERSOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL PROCESO DE CURADO EN  
CAMPO Y LA NORMA ASTM C 192 PARA UN CONCRETO DE  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>**

Asesor:       ING. Manuel Dolores Quintanilla

Fecha de elaboración:

14/05/2019

Revenimiento:    4.40 pulg

Tratamiento :    sin curar

$f'c$  de diseño:    210 kg/cm<sup>2</sup>

ESCLEROMETRIA DE COLUMNAS					
Tratamiento: sin curar			Edad: 28 dias	FECHA: 11/06/19	
CARA #1			CARA#3		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	27	SUMA DE IR 265	1	30	SUMA DE IR 288
2	25		2	26	
3	25	PROMEDIO 26.5	3	32	PROMEDIO 28.8
4	25		4	26	
5	29	REDUCCION DEL 2.1	5	31	REDUCCION DEL 2.1
6	26		6	30	
7	26		7	25	
8	27		8	29	
9	26	F'c 148.51	9	29	F'c 180.99
10	29		10	30	
CARA #2			CARA #4		
medicion	IR	F'c	medicion	IR	F'c
1	25	SUMA DE IR 280	1	28	SUMA DE IR 280
2	25		2	27	
3	27	PROMEDIO 28	3	30	PROMEDIO 28
4	28		4	28	
5	28	REDUCCION DEL 2.1	5	27	REDUCCION DEL 2.1
6	28		6	27	
7	29		7	29	
8	27		8	27	
9	29	F'c 169.99	9	31	F'c 169.99
10	34		10	26	
IR PROMEDIO	102.90	PROMEDIO	25.73	$f'c=$	168.50

**Anexo N°8. Ordenamiento de datos para ingresar en el software SPSS.**

Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia
ASTM C192/C192 M	1	14	247.68
	1	14	253.15
	1	14	256.86
	1	14	200.00
	1	14	256.01
	1	14	275.48
	1	14	223.18
	1	14	246.49
	1	14	256.92
	1	14	257.17
	1	14	251.42
	1	14	234.68
	1	14	249.24
	1	14	227.43
	1	14	226.58
MEMBRANA PLASTICA	2	14	184.90
	2	14	176.46
	2	14	168.04
	2	14	186.63
	2	14	142.54
	2	14	205.30
	2	14	159.71
	2	14	201.16
	2	14	192.55
	2	14	204.14
	2	14	215.44
	2	14	168.16
	2	14	168.47
	2	14	139.57
	2	14	194.39

Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia
RIEGO PERIODICO	3	14	230.32
	3	14	234.91
	3	14	234.37
	3	14	252.98
	3	14	250.49
	3	14	253.01
	3	14	254.71
	3	14	240.91
	3	14	216.86
	3	14	241.88
	3	14	241.62
	3	14	238.33
	3	14	253.66
	3	14	241.08
	3	14	239.64
SIN CURAR	4	14	200.45
	4	14	181.30
	4	14	179.91
	4	14	95.14
	4	14	121.07
	4	14	151.21
	4	14	189.80
	4	14	171.81
	4	14	199.58
	4	14	146.82
	4	14	185.72
	4	14	160.31
	4	14	194.99
	4	14	193.06
	4	14	145.58

Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia
ASTM C192/C192 M	1	28	303.92
	1	28	310.72
	1	28	318.08
	1	28	302.87
	1	28	312.02
	1	28	312.98
	1	28	307.60
	1	28	296.61
	1	28	293.52
	1	28	301.23
	1	28	312.25
	1	28	285.39
	1	28	305.11
	1	28	310.75
	1	28	299.02
MEMBRANA PLASTICA	2	28	230.15
	2	28	269.17
	2	28	255.30
	2	28	242.06
	2	28	274.92
	2	28	293.90
	2	28	252.66
	2	28	291.63
	2	28	254.33
	2	28	293.84
	2	28	258.30
	2	28	284.28
	2	28	254.40
	2	28	263.82
	2	28	267.70

Tratamiento	Tratamiento	Edad	Resistencia
RIEGO PERIODICO	3	28	310.18
	3	28	294.88
	3	28	329.39
	3	28	292.65
	3	28	334.44
	3	28	277.38
	3	28	316.25
	3	28	286.92
	3	28	302.25
	3	28	304.29
	3	28	301.20
	3	28	280.21
	3	28	237.09
	3	28	272.19
	3	28	233.06
SIN CURAR	4	28	158.34
	4	28	150.14
	4	28	160.26
	4	28	140.07
	4	28	144.22
	4	28	164.89
	4	28	154.34
	4	28	184.63
	4	28	182.19
	4	28	179.54
	4	28	181.65
	4	28	211.62
	4	28	231.18
	4	28	151.11
	4	28	180.39