

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE
AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
F'C=210 KG/CM2 APLICADO A CONDICIONES
SIMULADAS DE CURADO EN OBRA, EN LA CIUDAD DE
AREQUIPA, CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP**

TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL
BACHILLER:

JUAN MANUEL DURAN MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL

ASESOR:

ING. MARIA DEL CARMEN PONCE MEJÍA

AREQUIPA-2018

DEDICATORIA

“A Dios, por las alegrías y tristezas, por los triunfos y derrotas, en fin:
por estar siempre con nosotros, aún sin merecerlo”

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Bautisto y Primitiva por estar siempre presente en cada instante de mi vida, apoyándome incondicionalmente.

A mi hermano Juan Diego, por su ayuda brindada en la realización de la presente tesis, y por su cariño durante todos estos años.

A mi asesor Ing. Maria del Carmen Ponce, por estar siempre dispuesta a apoyarme y absolver mis dudas durante la presente tesis, por sus consejos y su labor ardua en todos los ámbitos de su vida.

A mi querida casa de estudios: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, quien a través de los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil han cimentado las bases de mi vida profesional.

Al personal administrativo y técnico del Laboratorio de Concreto, quienes me han apoyado y brindado las pautas para la realización de mis ensayos.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA..... | i |
| AGRADECIMIENTO..... | ii |
| ÍNDICE..... | iii |
| LISTA DE TABLAS..... | viii |
| LISTA DE FIGURAS..... | xii |
| RESUMEN..... | xv |
| ABSTRACT..... | xvi |
| CAPÍTULO 1 INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Tipo de investigación..... | 1 |
| 1.3. Problemática actual..... | 2 |
| 1.4. Análisis del problema..... | 2 |
| 1.5. Formulación del problema..... | 2 |
| 1.6. Justificación..... | 5 |
| 1.7. Alcance y limitaciones..... | 6 |
| 1.8. Hipótesis..... | 7 |
| 1.9. Objetivos..... | 7 |
| 1.9.1. Objetivo general..... | 7 |
| 1.9.2. Objetivos específicos..... | 7 |
| CAPÍTULO 2 ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO..... | 8 |
| 2.1. Introducción..... | 8 |
| 2.2. Concreto y sus componentes..... | 9 |
| 2.2.1. Definición..... | 9 |
| 2.2.2. Componentes del concreto..... | 10 |
| 2.2.2.1. Cemento..... | 10 |
| 2.2.2.2. Agregados..... | 12 |
| 2.2.2.2.1. Clasificación..... | 12 |
| 2.2.2.3. Agua..... | 19 |
| 2.2.2.4. Aditivos..... | 22 |
| 2.2.2.4.1. Clasificación..... | 24 |
| 2.2.2.5. Adiciones..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.2.6.Fibra..... | 31 |
| 2.3.Química del cemento | 33 |
| 2.3.1. Aspectos generales | 33 |
| 2.3.2. Principales compuestos del cemento portland..... | 36 |
| 2.3.3. Mecanismo de hidratación del concreto | 38 |
| 2.3.4. Fraguado | 40 |
| 2.4.Propiedades del concreto | 41 |
| 2.4.1. Propiedades principales del concreto fresco..... | 41 |
| 2.4.2. Propiedades principales del concreto endurecido..... | 42 |
| 2.5.Ensayos de laboratorio..... | 43 |
| 2.5.1. Granulometría de los agregados | 44 |
| 2.5.2. Módulo de fineza | 48 |
| 2.5.3. Contenido de humedad | 49 |
| 2.5.4. Peso específico y absorción..... | 50 |
| 2.5.5. Peso unitario suelto..... | 52 |
| 2.5.6. Peso unitario compactado | 54 |
| 2.6.Diseño de mezclas | 55 |
| | |
| CAPÍTULO 3 CURADO Y METODOLOGIAS DE APLICACIÓN | 57 |
| 3.1.Introducción..... | 57 |
| 3.2.Curado del concreto..... | 58 |
| 3.2.1. Definición | 58 |
| 3.3.Influencia del curado en las propiedades mecánicas y la durabilidad..... | 58 |
| 3.3.1. Influencia en las propiedades mecánicas..... | 58 |
| 3.3.2. Influencia en la durabilidad del concreto | 59 |
| 3.4.Influencia de la temperatura, humedad y velocidad del viento en el curado..... | 60 |
| 3.5.Clima en Arequipa..... | 64 |
| 3.5.1. Temperatura..... | 65 |
| 3.5.2. Humedad relativa..... | 66 |
| 3.5.3. Radiación solar | 68 |
| 3.5.4. Precipitaciones pluviales | 69 |
| 3.5.5. Vientos..... | 69 |
| 3.5.6. Asoleamiento | 71 |
| 3.6.Tipos de curado | 72 |

| | |
|---|-----|
| 3.6.1. Curado con agua | 73 |
| 3.6.2. Curado con membrana..... | 77 |
| | |
| CAPÍTULO 4 DISEÑO DE MEZCLA | 80 |
| 4.1.Introducción..... | 80 |
| 4.1.1. Parámetros básicos de los métodos de diseño de mezclas..... | 81 |
| 4.2.Norma estándar de practica ACI 211.2-98 | 82 |
| 4.2.1. Pasos generales | 83 |
| 4.3.Métodos de diseño de mezcla alternativos | 87 |
| 4.3.1. Métodos basados en curvas teóricas | 87 |
| 4.3.2. Método del módulo de fineza total | 88 |
| 4.4.Análisis de las propiedades de los materiales..... | 89 |
| 4.4.1. Cemento..... | 89 |
| 4.4.2. Agregados | 90 |
| 4.4.3. Agua | 91 |
| 4.5.Descripción de los equipos y herramientas empleadas | 92 |
| 4.6.Aplicación y diseño de mezclas según el método volumétrico del ACI 211.2-98 | 95 |
| 4.7.Elaboración de los elementos verticales de concreto en laboratorio | 98 |
| 4.8.Curado de los elementos verticales endurecidos | 101 |
| 4.8.1. Grupo I: curado húmedo por aspersión | 101 |
| 4.8.2. Grupo II: curado húmedo con membrana de yute | 102 |
| 4.8.3. Grupo III: aplicación con curador químico | 102 |
| 4.8.4. Grupo IV: curado expuesto al ambiente..... | 103 |
| 4.8.5. Grupo V: curado por inmersión..... | 104 |
| 4.9.Extracción de los testigos diamantinos..... | 104 |
| 4.9.1. Extracción..... | 104 |
| 4.9.2. Aserrados de la superficie..... | 105 |
| 4.9.3. Refrentado | 106 |
| 4.10. Ensayo de los testigos diamantinos | 108 |
| 4.10.1. Ensayo de resistencia a la compresión..... | 108 |
| 4.10.2. Ensayo de resistencia a la tracción..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO 5 DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RECOLECCIÓN DE DATOS | 112 |
| 5.1.Generalidades | 112 |
| 5.2.Matriz de ensayos | 114 |
| 5.3.Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el curado patrón por inmersión | 115 |
| 5.4.Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el curado húmedo por aspersión | 116 |
| 5.5.Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el curado húmedo con membrana de yute | 117 |
| 5.6.Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para la aplicación de curador químico | 118 |
| 5.7.Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión sin curado alguno | 119 |
| 5.8.Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado patrón por inmersión | 120 |
| 5.9.Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado húmedo por aspersión | 121 |
| 5.10. Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado húmedo con membrana de yute | 122 |
| 5.11. Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral para la aplicación de curador químico | 123 |
| 5.12. Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral sin curado alguno | 124 |
| CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 125 |
| 6.1.Generalidades | 125 |
| 6.1.1. Datos meteorológicos durante el periodo de curado | 125 |
| 6.1.2. Temperaturas del agua de curado húmedo registrado | 132 |
| 6.2.Análisis comparativo de la resistencia a la compresión | 132 |
| 6.2.1. Comparativo entre las resistencias de rotura f^c | 132 |
| 6.2.2. Comparativo en función a la resistencia promedio a la compresión requerida f^c_{cr} | 134 |
| 6.2.3. Comparativo en función a la resistencia de curado por inmersión | 135 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.4. Comparativo de la variación porcentual de resistencia en función a los testigos sin curado alguno | 137 |
| 6.3. Análisis comparativo de la resistencia a la tracción por compresión diametral | 138 |
| 6.3.1. Comparativo entre resistencias de rotura a la tracción indirecta | 138 |
| 6.3.2. Comparativo en función de la resistencia a la tracción indirecta del curado por inmersión | 140 |
| 6.3.3. Comparativo de la variación porcentual de la resistencia a la tracción indirecta en función a los testigos sin curado alguno | 141 |
| 6.4. Análisis comparativo de costos | 143 |
| 6.4.1. Generalidades | 143 |
| 6.4.2. Análisis de precios unitarios y comparativos | 143 |
| 6.4.2.1. Análisis de precios unitarios: fabricación y colocación de concreto | 143 |
| 6.4.2.2. Análisis de precios unitarios: métodos de curados aplicados | 146 |
| 6.4.2.3. Análisis comparativo costo-producción de la fabricación y colocación de concreto | 150 |
| 6.4.2.4. Análisis comparativo costo-resistencia y costo-producción de los métodos de curados aplicados | 152 |
| CONCLUSIONES | 157 |
| RECOMENDACIONES | 159 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 161 |
| ANEXOS | 164 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1: Matriz de ensayos sometidos a resistencia a la compresión | 4 |
| Tabla 1-2: Matriz de ensayos sometidos a resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral | 5 |
| Tabla 2-1: Clasificación de forma de partículas de la norma BS 812: parte 1:1975 con ejemplos..... | 15 |
| Tabla 2-2: Textura superficial de los agregados (BS 812: parte 1:1975) con ejemplos.. | 16 |
| Tabla 2-3: Límites granulométricos de agregado fino..... | 17 |
| Tabla 2-4: Límites granulométricos de agregado grueso | 18 |
| Tabla 2-5: Contenido máximo de sustancias dañinas presentes en el agua | 21 |
| Tabla 2-6: Composición de los cementos Portland | 34 |
| Tabla 2-7: Finura de los cementos Portland | 36 |
| Tabla 2-8: Granulometría de agregado grueso | 45 |
| Tabla 2-9: Límites de huso granulométrico huso 67 para agregado grueso..... | 45 |
| Tabla 2-10: Granulometría de agregado fino | 47 |
| Tabla 2-11: Límites granulométricos para agregado fino | 47 |
| Tabla 2-12: Módulo de fineza del agregado fino | 49 |
| Tabla 2-13: Cálculo del contenido de humedad agregado grueso y fino | 49 |
| Tabla 2-14: Cálculo del peso específico y absorción del agregado fino | 52 |
| Tabla 2-15: Cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso | 52 |
| Tabla 2-16: Cálculo del peso unitario suelto del agregado fino | 53 |
| Tabla 2-17: Cálculo del peso unitario suelto del agregado grueso..... | 53 |
| Tabla 2-18: Cálculo del peso unitario compactado del agregado fino | 54 |
| Tabla 2-19: Cálculo del peso unitario compactado del agregado grueso | 54 |
| Tabla 2-20: Resumen de las propiedades de los agregados..... | 55 |
| Tabla 3-1: Temperatura máxima promedio mensual Arequipa 2015-2017 | 65 |
| Tabla 3-2: Temperatura mínima promedio mensual Arequipa 2015-2017 | 65 |
| Tabla 3-3: Temperatura promedio mensual Arequipa 2015-2016 | 66 |
| Tabla 3-4: Humedad relativa promedio anual Arequipa 2002-2016..... | 67 |
| Tabla 3-5: Humedad relativa media mensual Arequipa 2015-2016..... | 68 |
| Tabla 3-6: Precipitaciones totales por mes (mm/mes) | 69 |
| Tabla 3-7: Velocidad promedio mensual del viento Arequipa 2016..... | 70 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-8: Dirección promedio mensual del viento Arequipa 2016 | 70 |
| Tabla 3-9: Horas sol año Arequipa 2004-2014 | 71 |
| Tabla 3-10: Horas sol mes Arequipa 2014 | 72 |
| Tabla 4-1: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra..... | 83 |
| Tabla 4-2: Asentamiento recomendados para diversos tipos de construcción | 84 |
| Tabla 4-3: Agua de mezcla aproximada para concretos sin aire incorporado..... | 84 |
| Tabla 4-4: Agua de mezcla aproximada para concretos con aire incorporado..... | 84 |
| Tabla 4-5: Contenido de aire atrapado | 85 |
| Tabla 4-6: Relación agua-cemento | 85 |
| Tabla 4-7: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto | 86 |
| Tabla 4-8: Resumen de las propiedades de los agregados..... | 91 |
| Tabla 4-9: Resumen de las propiedades de los agregados..... | 95 |
| Tabla 4-10: Calculo de volúmenes absolutos | 96 |
| Tabla 4-11: Calculo de volumen absoluto del agregado fino..... | 97 |
| Tabla 4-12: Valores de diseño | 97 |
| Tabla 4-13: Corrección por humedad y absorción | 97 |
| Tabla 4-14: Factor de corrección por L/D | 108 |
| Tabla 5-1: Intervalo de variación permitidos para ensayos..... | 113 |
| Tabla 5-2: Matriz de ensayos para resistencia a la compresión | 114 |
| Tabla 5-3: Matriz de ensayos par resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral | 114 |
| Tabla 5-4: Resultados de resistencia a la compresión para el curado por inmersión | 115 |
| Tabla 5-5: Resultados de resistencia a la compresión para el curado por aspersion..... | 116 |
| Tabla 5-6: Resultados de resistencia a la compresión para el curado con membrana de yute | 117 |
| Tabla 5-7: Resultados de resistencia a la compresión para la aplicación de curador químico..... | 118 |
| Tabla 5-8: Resultados de resistencia a la compresión sin curado alguno..... | 119 |
| Tabla 5-9: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado patrón por inmersión..... | 120 |
| Tabla 5-10: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado patrón por aspersion..... | 121 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 5-11: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado húmedo con membrana de yute | 122 |
| Tabla 5-12: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para la aplicación de curador químico..... | 123 |
| Tabla 5-13: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral sin curado alguno | 124 |
| Tabla 6-1: Temperatura diaria ambiente-periodo de curado | 126 |
| Tabla 6-2: Humedad relativa diaria-periodo de curado..... | 127 |
| Tabla 6-3: Velocidad del viento diario – periodo de curado | 129 |
| Tabla 6-4: Precipitaciones diarias- periodo de curado | 130 |
| Tabla 6-5: Temperatura de agua de curado para testigos sometidos a compresión | 132 |
| Tabla 6-6: Temperatura de agua de curado para testigos sometidos a tracción indirecta | 132 |
| Tabla 6-7: Comparativo en función a la resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} | 134 |
| Tabla 6-8: Comparativo e función a la resistencia de curado por inmersión | 135 |
| Tabla 6-9: Comparativo de la variación porcentual de resistencia en función a los testigos sin curado alguno..... | 137 |
| Tabla 6-10: Comparativo en función de la resistencia a la tracción indirecta del curado por inmersión..... | 140 |
| Tabla 6-11: Comparativo de la variación porcentual de la resistencia a la tracción indirecta en función a los testigos sin curado alguno | 141 |
| Tabla 6-12: Análisis de precio unitario de fabricación de concreto $f'_{c}=210$ kg/cm ² hecho en obra-columnas..... | 144 |
| Tabla 6-13: Análisis de precio unitario de concreto premezclado $f'_{c}=210$ kg/cm ² – columnas..... | 145 |
| Tabla 6-14: Análisis de precio unitario de curado por aspersion dos aplicaciones diarias-columnas..... | 147 |
| Tabla 6-15: Análisis de precio unitario de curado por aspersion más membrana de yute dos aplicaciones diarias-columnas..... | 148 |
| Tabla 6-16: Análisis de precio unitario de curado con aplicación de Curador químico-columnas..... | 150 |
| Tabla 6-17: Cuadro resumen para fabricación y colocación de cemento..... | 151 |
| Tabla 6-18: Resumen metodologías de curado para elementos tipo columna | 152 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 6-19: Costo total situación practica con curado por aspersión-columnas | 153 |
| Tabla 6-20: Costo total situación practica de curado con yute por aspersión-columnas..... | 153 |
| Tabla 6-21: Costo total situación práctica de aplicación de curador químico -columnas..... | 153 |
| Tabla 6-22: Resumen metodologías de curado para elementos tipo columna-situación practica..... | 154 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2-1: Características técnicas cemento portland tipo IP-Yura..... | 11 |
| Figura 2-2: Comparativo con resistencia a la compresión de normas técnicas..... | 11 |
| Figura 2-3: Rocas y constituyentes en agregados para concreto..... | 13 |
| Figura 2-4: Esquema de la ubicación del agua en la pasta del cemento hidratado..... | 20 |
| Figura 2-5: Curva granulométrica agregado grueso..... | 46 |
| Figura 2-6: Curva granulométrica agregado fino..... | 48 |
| Figura 3-1: Agua absorbida por cemento seco expuesto durante seis meses a diferentes presiones de vapor..... | 61 |
| Figura 3-2: Influencia de la humedad relativa del aire en la pérdida de agua del concreto en las etapas tempranas después del colado (temperatura ambiente 21°C; velocidad del viento 4.5m/s)..... | 62 |
| Figura 3-3: Influencia de la temperatura del ambiente y del concreto en la pérdida del agua del concreto en las etapas tempranas iniciales del colado (humedad relativa ambiental 70 por ciento velocidad del viento 4.5 m/s)..... | 62 |
| Figura 3-4: Influencia de la velocidad del viento en la pérdida de agua del concreto en las etapas iniciales después del colado (humedad relativa ambiental 70 por ciento, temperatura 21°C)..... | 63 |
| Figura 3-5: Influencia de la temperatura del concreto (a una temperatura ambiente de 4.5°C) en la pérdida del agua del concreto en las etapas tempranas después del colado (humedad relativa ambiental 100 por ciento, velocidad del viento 4.5 m/s)..... | 63 |
| Figura 3-6: Temperatura máxima y mínima promedio mensual..... | 66 |
| Figura 3-7: Perú: humedad relativa promedio anual según departamento,2015..... | 67 |
| Figura 3-8: Humedad relativa media mensual Arequipa 2015-2016..... | 68 |
| Figura 3-9: Precipitaciones totales por mes (mm/mes)..... | 69 |
| Figura 3-10: Velocidad promedio mensual del viento Arequipa 2016..... | 70 |
| Figura 3-11: Comparativo de velocidad del viento para un día promedio anual 2000-2001..... | 71 |
| Figura 3-12: Horas sol día promedio Arequipa 2014..... | 72 |
| Figura 3-13: Curado por inmersión..... | 74 |
| Figura 3-14: Curado por aspersion..... | 74 |
| Figura 3-15: Curado por estancamiento..... | 75 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3-16: Curado con tejidos de yute | 76 |
| Figura 3-17: Curado con aserrín | 76 |
| Figura 3-18: Curado con láminas de polietileno | 77 |
| Figura 3-19: Curado con papel impermeable | 78 |
| Figura 3-20: Curado con compuesto líquidos | 79 |
| Figura 4-1: Curvas granulométricas teóricas | 87 |
| Figura 4-2: Modulo de fineza total óptimos para mezclas de arena y piedra por Walter y Bartel | 88 |
| Figura 4-3: Agregado fino | 90 |
| Figura 4-4: Agregado grueso | 91 |
| Figura 4-5: Taladro diamantino | 92 |
| Figura 4-6: Broca diamantina 3” | 93 |
| Figura 4-7: Mesa cortadora circular de concreto | 93 |
| Figura 4-8: Olla eléctrica para fundir azufre | 94 |
| Figura 4-9: Prensa de concreto SOILTEST | 94 |
| Figura 4-10: Slump hallado | 99 |
| Figura 4-11: Mezcladora de concreto empleado con capacidad de ½ bolsa | 99 |
| Figura 4-12: Colocación del concreto en moldes metálicos | 100 |
| Figura 4-13: Enrasado de superficie | 100 |
| Figura 4-14: Curado por método de aspersion | 101 |
| Figura 4-15: Curado húmedo con membrana de yute | 102 |
| Figura 4-16: Aplicación de curador químico | 103 |
| Figura 4-17: Curado expuesto al ambiente | 104 |
| Figura 4-18: Extracción de testigos diamantinos | 105 |
| Figura 4-19: Testigos extraídos | 105 |
| Figura 4-20: Aserrado de las bases del testigo diamantino | 106 |
| Figura 4-21: Refrentado de testigos diamantinos | 107 |
| Figura 4-22: Testigos diamantino refrentados con azufre | 107 |
| Figura 4-23: Ensayo de resistencia a la compresión | 109 |
| Figura 4-24: Ensayo de resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral .. | 111 |
| Figura 6-1: Temperatura diaria ambiente –periodo de curado | 127 |
| Figura 6-2: Humedad relativa diaria –periodo de curado | 128 |
| Figura 6-3: Velocidad del viento diaria – periodo de curado | 130 |
| Figura 6-4: Precipitación diaria-periodo de curado | 131 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6-5: Comparativo entre las resistencias de rotura f^c | 132 |
| Figura 6-6: Curva de resistencias a la compresión $f^c=210$ kg/cm ² | 133 |
| Figura 6-7: Comparación grafica porcentual de la resistencia a la compresión f^c en función a la resistencia f^c_{cr} | 135 |
| Figura 6-8: Comparación grafica porcentual de la resistencia a la compresión $f^c=210$ kg/cm ² en función a la resistencia alcanzado por el curado con inmersión | 136 |
| Figura 6-9: Comparación grafica de la variación porcentual de resistencia en función al curado expuesto al medio ambiente (sin curado) | 138 |
| Figura 6-10: Comparativo entre resistencia de rotura a la tracción indirecta..... | 138 |
| Figura 6-11: Curvas de resistencia a la tracción indirecta..... | 139 |
| Figura 6-12: Comparación grafica porcentual de la resistencia a la tracción indirecta en función a la resistencia alcanzado por el curado con inmersión..... | 141 |
| Figura 6-13: Comparación grafica de la variación porcentual de resistencia a la tracción indirecta en función al curado expuesto al ambiente (sin curado) | 142 |
| Figura 6-14: Comparativo costos unitarios y comparativo de producción..... | 151 |
| Figura 6-15: Análisis costo-producción: concreto hecho en obra vs premezclado | 151 |
| Figura 6-16: Comparativo de producción de métodos de curado-columnas | 154 |
| Figura 6-17: Comparativo de costo total de métodos de curado-columnas | 155 |
| Figura 6-18: Análisis costo total - producción de métodos de curado-columnas..... | 155 |
| Figura 6-19: Análisis costo total – resistencia de métodos de curado-columnas | 156 |

RESUMEN

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.

Las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido se evaluarán a través de ensayos de resistencia a la compresión simple y ensayos de tracción indirecta por compresión diametral.

Palabras clave: estudio comparativo, simulación, concreto, curado, obra, curador químico, Arequipa, cemento Portland tipo IP

ABSTRACT

In the present thesis a comparative study will be realized, of the methodologies of curing with major incident applied in construction work in Arequipa's city, across simulations on column prismatic specimens of dimensions 0.15x0.15x0.50 m.

On the above mentioned specimens, the different methodologies will be applied of curing, later to proceed with the extraction of the testing drilled cores to 7,14 and 28 days.

The purpose of the present thesis is to determine which of the methodologies of curing, specifically for Arequipa's city in March, is the most efficient in terms of his mechanical properties, cost and time.

The mechanical properties of the concrete in hardened condition will be evaluated across of test for simple compressive strength and tests for splitting indirect tensile strength by diametrical compression.

Keywords: comparative study, simulation, concrete, curing, construction work, chemical curing, Arequipa, cement Portland type IP

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

El tema de curado de los elementos de concreto, empezó a estudiarse desde inicios del siglo XX, con la finalidad de solucionar los problemas que afectaban entonces en mayor escala al concreto durante su etapa de fragua y posteriormente en su estado endurecido (secado rápido).

Ya durante la primera mitad del siglo se pudo verificar que el principal problema por el cual el concreto no alcanza las resistencias de diseño deseado, o sufría procesos de fisuración severos se debía a la pérdida de humedad excesiva.

En el año de 1928, Gonnerman y Shuman realizaron estudios experimentales en los cuales tuvieron como variables el tiempo de saturación en días que pasaron los testigos, en comparación a la resistencia a la compresión, de este estudio se pudo concluir que para el caso de probetas que estuvieron en condiciones ambientales sin método de curado alguno y aquellas que se saturaron durante un periodo de 28 días, se alcanzó el doble de resistencia para el segundo caso. Este estudio plasmado en una gráfica es citado actualmente en la norma ACI 308R-01,2002 “Guía para el curado del hormigón” En la publicación de la norma ACI 318, durante los años 40 se incluyó como tema lo referente al curado.

En 1992 se publicó la norma ACI 308-92 “Práctica estándar para curado del hormigón”, la cual abarca en todo su contenido el tema del Curado como tal.

Actualmente, contamos con las normas ACI 308R-01 “Guía para el curado del hormigón” y la ACI 308.1-98 “Especificaciones estándar para el curado del hormigón”.

1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente Investigación es de carácter Experimental – Aplicativa

1.3. PROBLEMÁTICA ACTUAL

Arequipa está posicionada como el segundo departamento más competitivo del Perú, generando una demanda considerable en el sector construcción, e incluso se estima una expansión en el sector del 10% para el presente año.

Este panorama conlleva a pensar en todas las edificaciones que se levantarán, reconstruirán o remodelarán durante esta etapa, y a su vez de forma transversal nos lleva a recapacitar sobre la carga social que llevamos, tanto diseñadores como constructores, acerca de la calidad de las edificaciones que albergarán a millones de peruanos.

1.4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Acerca del proceso de curado que garantiza la calidad de los elementos de concreto en obra, se viene observando que, debido al:

- 1) Ritmo acelerado de la construcción visto en gran cantidad de obras, el curado con agua recomendado por un mínimo de 7 días, se viene dando en forma precaria a lo mucho por un lapso esporádico de hasta tres días en la mayoría de obras, e incluso en ocasiones es nula.
- 2) Pensar en curar un elemento constantemente, especialmente los de forma vertical por un lapso de 7 días, terminaría en pérdida de tiempo o merma de producción de las demás actividades que se realizaran en paralelo lo cual finalmente se ve reflejado en costo, por tal motivo se opta por curar hasta por 3 días con agua en la mayoría de casos, o realizar la aplicación de curadores químicos.
- 3) Existen obras sin generalizar a todas, en las cuales la supervisión es esporádica, o incluso los mismos constructores dejan de lado aspectos de importancia como este.
- 4) La humedad relativa propia del clima de Arequipa, con un valor de 50% nos posiciona como el departamento con el valor más bajo, parámetro de igual importancia es la temperatura y la radiación solar, que determinan cuan satisfactorio será la metodología de curado.

Son estos problemas identificados los que nos llevan a plantearnos la inquietud sobre la correcta aplicación del curado de elementos de concreto en obra en la ciudad de Arequipa

1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Arequipa está situada actualmente como el segundo departamento más competitivo del Perú, constituyéndose asimismo como una gran urbe con gran potencial de desarrollo,

siendo un lugar con grandes expectativas para los negocios e inversiones en los diversos sectores: minería, construcción, turismo, comercio, entre otras.

Para que todos estos sectores tomen realce e importancia como tal, es necesario en primera instancia la creación de las infraestructuras que las acogerán, y es justamente en esta etapa en que la demanda de concreto es casi siempre imprescindible en la mayoría de edificaciones.

Para el diseño de los elementos que conformarán el casco gris (estructural) de los diferentes tipos de edificaciones se asume el valor de la resistencia a la compresión (f'_c) como la propiedad mecánica de mayor relevancia en el concreto.

Siempre y cuando este valor (f'_c) que figurará en planos y/o especificaciones técnicas del proyecto sea mayor o igual que los valores reales en campo (es decir: producto del curado con agua a través de métodos de aspersión o membranas de yute hasta por tres días, caso real en gran cantidad de obras en la cuales la supervisión es esporádica, o con aplicación de curadores químicos o en su defecto con la nula aplicación de algún método de curado) y no necesariamente a los obtenidos en condiciones ideales a través de ensayos en laboratorio con pozas de curado por el método de inmersión durante 28 días; podremos asegurar entonces con mayor predictibilidad el comportamiento deseado de las estructuras durante los eventos sísmicos; dando así culmen al diseño realizado.

Por tal motivo es necesario investigar experimentalmente si la metodología de curado del concreto empleado en las obras, específicamente en la ciudad de Arequipa; es el adecuado, asegurando así uno de los parámetros más relevantes de diseño como lo es la Resistencia a la compresión.

En la presente tesis se realizará el estudio comparativo sobre las propiedades del concreto en estado endurecido: Resistencia a la compresión y Resistencia a la Tracción por compresión diametral (Método Brasileño), dichas pruebas serán aplicadas a testigos diamantinos buscando obtener el ratio ideal L/D igual a 2, los cuales serán extraídos de elementos verticales tipo columna de dimensiones 0.15x0.15x0.50 metros.

Cabe resaltar que el curado se aplicará sobre dichos elementos verticales, a través de las siguientes metodologías:

- Curado por inmersión en poza (Probetas sólo para el modelo patrón)
- Curado con colocación de membrana de yute con agua durante 3 día (dos aplicaciones diarias: a las 10:00 y 15:00 horas respectivamente)

- Curado por aspersión con agua durante 3 días (dos aplicaciones diarias: a las 10:00 y 15:00 horas respectivamente)
- Curado con una sola aplicación de Curador químico (simulación de caso real en obras)
- Sin curado alguno, expuesto al medio ambiente

A continuación, se detalla el cuadro de ensayo de testigos diamantinos de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Tabla 1-1: Matriz de ensayos sometidos a resistencia a la compresión

| METODOLOGÍA DE CURADO | | | | | |
|------------------------------|---------------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------|
| EDAD | INMERSIÓN(MODELO PATRÓN) | CUBIERTO CON YUTE APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | ASPERSIÓN APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | CURADOR QUÍMICO | EXPOSICION AL AMBIENTE |
| 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 14 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 28 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| PARCIAL | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| TOTAL | 45 | | | | |

(Fuente: Propia)

Tabla 1-2: Matriz de ensayos sometidos a resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral

| METODOLOGÍA DE CURADO | | | | | |
|------------------------------|---------------------------------|---|---|------------------------|-------------------------------|
| EDAD | INMERSIÓN(MODELO PATRÓN) | CUBIERTO CON YUTE APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | ASPERSIÓN APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | CURADOR QUÍMICO | EXPOSICION AL AMBIENTE |
| 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 28 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| PARCIAL | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| TOTAL | 30 | | | | |

(Fuente: Propia)

1.6. JUSTIFICACIÓN

Para poder asegurar con mayor predictibilidad el comportamiento deseado de nuestras edificaciones de concreto armado ante los eventos sísmicos, es necesario dar fe de que los parámetros asumidos en el diseño de los elementos que conforman su estructuración, serán los mismos que se ejecutarán a través de los diversos procesos constructivos en obra.

Desde el punto de vista del diseño ingenieril, existen valores asumidos intrínsecos a las propiedades mecánicas del concreto en su estado endurecido, los cuales han sido empleado en los cálculos de diseño que finalmente se verán plasmados en una geometría determinada y cuantía de acero de cada elemento estructural.

Siendo considerada relevantes estas propiedades para alcanzar el comportamiento sísmico deseado, es necesario asegurarnos que el concreto en su estado endurecido alcance sus propios valores de diseño.

Y es justamente, a través del proceso de curado realizado en obra, que nosotros logramos alcanzar las propiedades del concreto deseadas en su estado endurecido.

Se debe además señalar que Arequipa es la ciudad con menor porcentaje de Humedad Relativa en todo el Perú 50% HR 2002-2015 (Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI).

Por tal motivo, y siendo conocedores además de la realidad en nuestras obras, es fundamental investigar a través de la metodología de comparación si el curado realizado a pie de obra, el cual generalmente se da por el lapso esporádico de hasta 3 días con agua a través de métodos de aspersion o membranas de yute, o en otros casos con la aplicación de una sola mano de curador químico o en su defecto con la nula aplicación de alguna forma de curado, es el suficiente para alcanzar las propiedades deseadas en concreto, y así poder plantear las recomendaciones y conclusiones al respecto.

Se hará la evaluación y comparación de las siguientes propiedades en su estado endurecido: Resistencia a la compresión y Resistencia a la tracción por compresión diametral.

Asimismo, se realizará los ensayos tomando las condiciones meteorológicas propias de los meses de febrero y marzo en el Laboratorio de Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNSA.

Se ha planteado realizar una de las comparaciones con el curador químico el cual es uno de los de mayor demanda comercial en las obras que se están ejecutando actualmente en la ciudad de Arequipa, asimismo se tomará como modelo patrón a probetas curadas por método de inmersión en pozas; el nombre del curador y su ficha técnica se detalla en los anexos.

1.7. ALCANCE Y LIMITACIONES

Se realizará la presente investigación sobre elementos de geometría similar al de las columnas a escala reducida, ya que elementos a escala real implica costos y tiempo mucho mayores.

Los resultados que se hallaran en la presente tesis son solo válidos para el clima y condiciones meteorológicas de la ciudad de Arequipa, durante el mes de marzo.

Los resultados que se determinarán a través de la presente investigación pueden ser tomados como referencia para los curados empleados en obra, empero, puede no representar fidedignamente el comportamiento de los elementos columna a escala real.

Se experimentará solo con los cinco métodos de curado anteriormente detallados.

Solo se realizará los ensayos de resistencia a la compresión y tracción indirecta.

1.8. HIPÓTESIS

- El curado con agua para los métodos de aspersión y membrana de yute durante 3 días (dos aplicaciones diarias) y asimismo la nula aplicación de algún método de curado, da valores no aceptables para alcanzar las propiedades mecánicas del concreto en su estado endurecido aplicado al clima de Arequipa (muestra representativa: CAMPUS UNSA)
- El curado con una sola aplicación de curador químico, da los valores requeridos que garantizan alcanzar las propiedades mecánicas del concreto en su estado endurecido aplicado al clima de Arequipa (muestra representativa: CAMPUS UNSA)
- La eficiencia del curador químico, nos asegura que el concreto alcance los valores requeridos en cuanto a sus propiedades mecánicas

1.9. OBJETIVOS

1.9.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar cuál de las formas de curado aplicadas en situaciones reales de obra, es la más adecuada y garantiza alcanzar las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido.

1.9.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar los datos obtenidos a través de los ensayos realizados para cuantificar numéricamente los valores de sus propiedades.
- Determinar los valores de las propiedades mecánicas de los testigos curados por el método de inmersión en pozas de curado.
- Determinar los valores de las propiedades mecánicas, para los métodos de aspersión y membrana de yute, de los testigos diamantinos curados con agua durante 3 días (dos aplicaciones diarias a las 10:00 y 15:00 horas respectivamente).
- Determinar los valores de las propiedades mecánicas de los testigos diamantinos con aplicación del curador químico (simulación de caso real en obras).
- Determinar los valores de las propiedades mecánicas de los testigos diamantinos sin curado alguno expuesto al medio ambiente.
- Verificar la efectividad del curador químico empleada en el presente estudio.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO

2.1. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material de gran aceptación en nuestra sociedad y en gran parte del mundo por las diferentes ventajas que brinda la misma, entre ellas tenemos, por ejemplo:

- “Es relativamente fácil de conseguir o transportar los materiales necesarios para su fabricación (cemento, agregados, agua) aun en sitios remotos (*Ottazzi,2011*).
- “Es económico comparado con otros materiales. Esta ser una consideración muy importante cuando se escoge el material de construcción predominante en una obra” (*Ottazzi,2011*).
- Es un material versátil (moldeable), ya que adopta la forma del encofrado que la contiene en su estado fresco.
- “Es un material de construcción con una buena durabilidad y bajo costo de mantenimiento. Las estructuras de concreto requieren menos mantenimiento que por ejemplo las estructuras de acero o madera” (*Ottazzi,2011*).
- No es necesario contar con mano altamente especializada para su elaboración, como sucede con otros materiales.

Claro está que debemos dar alcance de las desventajas o puntos débiles que este posee como son: su baja resistencia en tracción y flexión.

Todas estas características descritas anteriormente hacen del concreto un material con amplio campo de utilización en los sectores de construcción y minería con influencia en otros.

2.2. CONCRETO Y SUS COMPONENTES

2.2.1. DEFINICIÓN

“El concreto es una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua, y agregados fino y grueso. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones, y fibra. En casos muy especiales se le puede incorporar intencionalmente aire para incrementar su durabilidad en bajas temperaturas.” (Rivva,2010)

Se debe tener en cuentas las siguientes características del concreto:

1. Trabajabilidad:

Es el grado de facilidad para lograr el mezclado, transporte y la colocación, con los sub procesos que en estos incurran.

2. Consistencia:

Es el grado de rigidez o humedecimiento de la mezcla, está relacionado directamente con la cantidad de agua agregada durante la mezcla. Se mide a través del Ensayo del Cono de Abrams .

3. Segregación:

Definida como separación de los componentes del concreto en estado fresco de modo que no quedan uniformemente distribuidos.

4. Resistencia:

Propiedad del concreto en estado endurecido, la cual es obtenida a través del ensayo de compresión.

5. Exudación:

Se produce por el asentamiento de los componentes más pesados (agregados y cemento) los cuales descienden; en cambio el agua (menos denso) asciende generando así zonas de baja resistencia, el notablemente perjudicial en el caso de pavimentos de concreto.

6. Durabilidad

Es la capacidad de resistencia a la intemperie, acción de productos químicos y desgaste durante su etapa de servicio.

7. Impermeabilidad

Es el grado de oposición que tiene el concreto al ingreso de agua u otros solutos, se puede mejorar a través de diversos métodos.

2.2.2. COMPONENTES DEL CONCRETO

2.2.2.1. CEMENTO

“Los cementos pertenecen al grupo de materiales de construcción denominados aglomerados hidráulicos, que comprende aquellos que se endurecen mezclados con el agua y al mismo tiempo resisten a la acción de esta. El cemento Portland, el cemento aluminoso, los cementos metalúrgicos son típicos representantes de esta clase.”
(Rivva,2010)

El cemento Portland como tal, pertenece a esta clase y es el “resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes.”
(Pasquel,1998).

El cemento portland es el resultado de moler el clinker y adicionarle sulfato de calcio en aproximadamente 6%.

El clinker lo obtenemos de la cocción a una temperatura alrededor de los 1500°C de una mezcla debidamente dosificada de cal(calizas), sílice y alúminas (arcillas) y óxido de hierro (minera de hierro).

Las normas vigentes que rigen al Cemento Portland son las Normas ASTM C150, o su equivalente la norma técnica NTP 334.009.

a) CEMENTO YURA TIPO IP

“Es un cemento de alta durabilidad, elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del

intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.” (Ficha técnica,2017)

| REQUISITOS | CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP | | REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595 | | REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I) | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------|---|-----|--|-----|
| REQUISITOS QUÍMICOS | | | | | | |
| MgO (%) | 1.5 a 2.4 | | 6.00 Máx. | | | |
| SO ₃ (%) | 1.5 a 2.3 | | 4.00 Máx. | | | |
| Pérdida por ignición (%) | 1.5 a 3.8 | | 5.00 Máx. | | | |
| REQUISITOS FÍSICOS | | | | | | |
| Peso específico (gr/cm ³) | 2.77 a 2.85 | | - | | | |
| Expansión en autoclave (%) | -0.05 a 0.03 | | -0.20 a 0.80 | | | |
| Fraguado Vicat inicial (minutos) | 170 a 270 | | 45 a 420 | | | |
| Contenido de aire | 2.5 a 8.0 | | 12 Máx | | | |
| Resistencia a la compresión | Kgf/cm ² | MPa | Kgf/cm ² | MPa | Kgf/cm ² | MPa |
| 1 día | 80 a 104 | 7.8 a 10.2 | - | - | - | - |
| 3 días | 175 a 200 | 17.1 a 19.6 | 133 Mín. | 13 | 122 Mín. | 12 |
| 7 días | 225 a 260 | 22.0 a 25.4 | 204 Mín. | 20 | 194 Mín. | 19 |
| 28 días | 306 a 350 | 30.0 a 34.3 | 255 Mín. | 25 | - | - |
| Resistencia a los sulfatos | % | | % | | % | |
| % Expansión a los 6 meses | < 0.021% | | 0.05 Máx | | | |
| % Expansión a 1 año | < 0.023% | | 0.10 Máx | | | |

Figura 2-1: Características técnicas cemento portland tipo IP-Yura

(Fuente: Ficha técnica,2017)

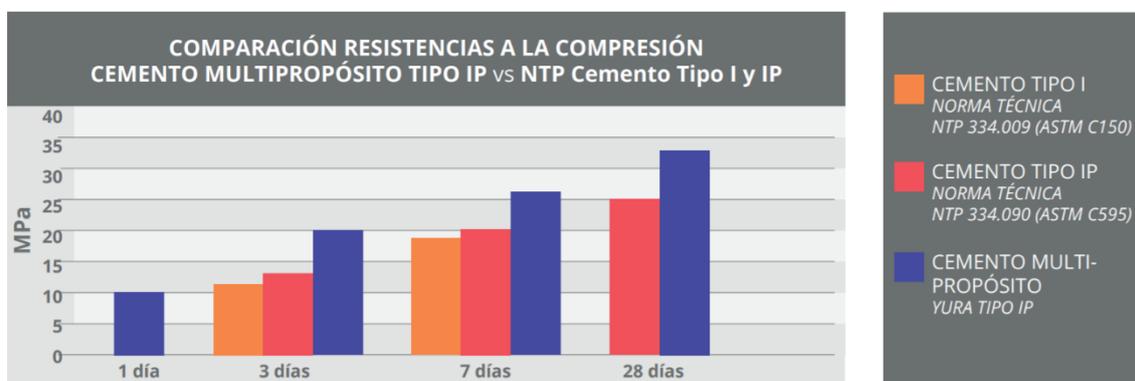


Figura 2-2: Comparativo con resistencia a la compresión de normas técnicas

(Fuente: Ficha técnica,2017)

PROPIEDADES:

- ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESION
- RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS
- MAYOR IMPERMEABILIDAD
- DISMINUYE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI-AGREGADO

2.2.2.2. AGREGADOS

La norma técnica NTP 400.011 define a los agregados como el conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por dicha norma, se les conoce también con el nombre de áridos.

La importancia como tal de los agregados no siempre ha sido reconocido, inicialmente se los considero como “un material inerte de relleno cuya aplicación permitía disminuir el costo de la unidad cubica de concreto”. (*Rivva,2010*)

Es importante hacer notar que el volumen ocupado por los agregados esta entre el 65% y 80% en referencia la unidad cubica de concreto.

Hoy en día y gracias a los estudios realizados sobre la importancia de los agregados llevados a cabo por el pionero Gilkey en 1923 y los posteriores Walker, Bloem y Gaynor es que se ha afirmado que “el agregado, debido a sus propiedades físicas, químicas y térmicas , tiene influencia determinante sobre las propiedades del concreto, especialmente su resistencia y durabilidad” (*Rivva,2010*)

2.2.2.2.1. CLASIFICACIÓN

Según los siguientes criterios:

- Por su procedencia
- Por su densidad
- Por tamaño
- Por forma y textura
- Por la granulometría

a) **Por su procedencia**

Los podemos dividir en agregados naturales y artificiales.

a.1) Agregados Naturales:

Son los obtenidos a través de los procesos de meteorización, intemperismo, acción del viento y el agua que sufren las rocas (sedimentaria, ígneas o metamórficas)

“Estos agregados son los de uso más frecuente a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad, lo que los hace ideales para producir concreto.” (*Pasquel,1998*).

| MINERALES | ROCAS IGNEAS | ROCAS METAMORFICAS |
|--------------------|----------------------------|--------------------|
| SILICE | Granito | Mármol |
| Cuarzo | Sienita | Metacuarcita |
| Opalo | Diorita | Pizarra |
| Calcedonia | Gabro | Filita |
| Tridimita | Pendotita | Esquisto |
| Cristobalita | Pegmatita | Anfibolita |
| SILICATOS | Vidrio Volcánico | Hornfelsa |
| Feldespatos | Obsidiana | Gneiss |
| Ferromagnesianos | Pumicita | Serpentina |
| Hornblenda | Tufo | |
| Augita | Escoria | |
| Arcillas | Perlita | |
| Ilitas | Fetsita | |
| Caolinas | Basalto | |
| Mortmorillonita | ROCAS SEDIMENTARIAS | |
| Mica | Conglomerados | |
| Zeolita | Arenas | |
| CARBONATOS | Cuarcita | |
| Calcita | Arenisca | |
| Dolomita | Piedra Arcillosa | |
| SULFATOS | Piedra Aluvional | |
| Yeso | Argillita y Pizarra | |
| Anhidrita | Carbonatos | |
| SULFUROS DE HIERRO | Calizas | |
| Pirita | Dolomitas | |
| Marcasita | Marga | |
| Pirotita | Tiza | |
| OXIDOS DE HIERRO | Horsteno | |
| Magnetita | | |
| Hematita | | |
| Geotita | | |
| Ilmenita | | |
| Limonita | | |

Figura 2-3: Rocas y constituyentes minerales en agregados para concreto

(Fuente: Pasquel,1998)

a.2) Agregados Artificiales:

Son aquellos que se derivan de fuentes naturales, pero a través de procesos adicionales se logra utilizar en la fabricación del concreto.

“Algunos agregados de este tipo los constituyen la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, la microsílíce etc. El potencial de uso de estos materiales es muy amplio, en la medida que se van investigando y desarrollando otros materiales y

sus aplicaciones en concreto, por lo que a nivel mundial hay una tendencia muy marcada hacia progresar en este sentido.” (*Pasquel,1998*).

b) Por su densidad

“Entendiendo densidad como la Gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con $G_e = 2.5$ a 2.75 , ligeros con $G_e < 2.5$ y pesados con $G_e > 2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso.” (*Pasquel,1998*).

c) Por tamaño

c.1) Agregado Fino

Denominación dada al “Agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasan el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.” (*NTP 400.011*)

El termino arena se le otorga al agregado natural producto de la desintegración de rocas que son acumulados a través de corrientes de agua o eólicas.

c.2) Agregado Grueso

Denominación dada al “Agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N°4) que cumple los limites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca.” (*NTP 400.011*)

- Disgregación Natural: Como resultado tenemos las gravas, que se caracterizan por tener bordes curvos (canto rodado), han sufrido procesos de erosión por los agentes meteorológicos.
- Disgregación artificial: Como resultado tenemos la piedra chancada, que posee una textura rugosa y forma angular, que favorece en la resistencia del concreto.

d) Por forma y textura

Tabla 2-1: Clasificación de forma de partículas de la norma BS 81 2: parte 1: 1975 con ejemplos

| CLASIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | EJEMPLOS |
|----------------------------|---|--|
| Redondeada | Completamente desgastadas por el agua o totalmente formadas por fricción | Grava de río o de playa, arena del desierto, de playa o acarreada por el viento. |
| Irregular | Irregulares por naturaleza, parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados. | Otras gravas; pizarra de superficie y subterránea. |
| Escamosa | Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dos dimensiones | Roca laminada |
| Angular | Con bordes bien definidos, formadas en intersecciones de caras aproximadamente planas | Rocas trituradas de todo tipo, taludes detríticos y escoria triturada. |
| Alargada | Material que suele ser angular, pero cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones. | - |
| Escamosa y alargada | Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor. | - |

(Fuente: Neville,1999)

Tabla 2-2: Textura superficial de los agregados (BS 8 1 2: parte 1: 1 975) con ejemplos

| <i>GRUPO</i> | <i>TEXTURA SUPERFICIAL</i> | <i>CARACTERÍSTICAS</i> | <i>EJEMPLOS</i> |
|--------------|----------------------------|---|---|
| 1 | Vítrea | Fractura de concha | Pedernal negro, escoria vítrea |
| 2 | Lisa | Desgastada por el agua o lisa debido a fractura de roca laminada o de roca de grano fino | Grava, hosterno pizarra, mármol, algunas riolitas |
| 3 | Granular | Fracturas que muestran granos mas o menos redondeados en forma uniforme. | Arenisca, oolita |
| 4 | Áspera | Fractura áspera de roca de granos finos o medianos, que contengan partes cristalinas difíciles de detectar. | Basalto, felsita pórfido, caliza |
| 5 | Cristalina | Con partes cristalinas fáciles de detectar | Granito, gabro gneis |
| 6 | En forma de panal | Con vacíos y poros visibles | Ladrillo, piedra pómez, escoria espumosa, clinker, arcilla expandida. |

(Fuente: Neville,1999)

e) Por la granulometría

Esa definida según la distribución por tamices de los tamaños de partículas, se logra a través de tamizado con mallas normalizadas.

Mallas para agregado fino: #4,8,16,30,50,100,200.

Mallas para agregado grueso: 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", #4

Los límites granulométricos están definidos según la ASTM C - 33-90 y figuran en los siguientes cuadros:

Tabla 2-3: Límites granulométricos de agregado fino

| TAMIZ | PORCENTAJE QUE PASA (ACUMULATIVO) |
|----------------|--|
| 9.5 mm (3/8") | 100 |
| 4.75 mm (N°4) | 95-100 |
| 2.36 mm (N°8) | 80-100 |
| 1.18 mm (N°16) | 50-85 |
| 600 um (N°30) | 25-60 |
| 300 um (N°50) | 10-30 |
| 150 um (N°100) | 2-10 |

(Fuente: ASTM C-33-90)

Tabla 2-4: Límites granulométricos de agregado grueso

| REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|---|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° ASTM | TAMAÑO NOMINAL | % QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS | | | | | | | | | | | | |
| | | 100 mm | 90mm | 75mm | 63mm | 50mm | 37.5mm | 25mm | 19mm | 12.5mm | 9.5mm | 4.75mm | 2.36mm | 1.18mm |
| | | 4" | 3.5" | 3" | 2.5" | 2" | 1.5" | 1" | ¾" | ½" | 3/8" | N°4 | N°8 | N°16 |
| 1 | 3 ½"-1 ½" | 100 | 90-100 | | 25-60 | | 0-15 | | 0-5 | | | | | |
| 2 | 2 ½"-1 ½" | | | 100 | 90-100 | 35-70 | 0-15 | | 0-5 | | | | | |
| 3 | 2"-1" | | | | 100 | 90-100 | 35-70 | 0-15 | | 0-5 | | | | |
| 357 | 2"-N°4 | | | | 100 | 95-100 | | 35-70 | | 10-30 | | 0-5 | | |
| 4 | 1 ½"-3/4" | | | | | 100 | 90-100 | 20-55 | 0-15 | | 0-5 | | | |
| 467 | 1 ½"-N°4 | | | | | 100 | 95-100 | | 35-70 | | 10-30 | 0-5 | | |
| 5 | 1"-1/2" | | | | | | 100 | 90-100 | 20-55 | 0-10 | 0-5 | | | |
| 56 | 1"-3/8" | | | | | | 100 | 90-100 | 40-85 | 10-40 | 0-15 | 0-5 | | |
| 57 | 1"-N°4 | | | | | | 100 | 95-100 | | 25-60 | | 0-10 | 0-5 | |
| 6 | ¾" – 3/8" | | | | | | | 100 | 90-100 | 20-55 | 0-15 | 0-5 | | |
| 67 | ¾"-N°4 | | | | | | | 100 | 90-100 | | 20-55 | 0-10 | 0-5 | |
| 7 | ½"-N°4 | | | | | | | | 100 | 90-100 | 40-70 | 0-15 | 0-5 | |
| 8 | 3/8" – N°8 | | | | | | | | | 100 | 85-100 | 10-30 | 0-10 | 0-5 |

(Fuente: ASTM C-33-90)

2.2.2.3. 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.” (Neville,1999)

a) FUNCIONES

“El agua de mezcla en el concreto tiene 3 funciones principales:

1. Reaccionar con el cemento para hidratarlo
2. Actuar como lubricante para regular el nivelar de trabajabilidad necesario.
3. Procurar la estructura de vacíos necesarios para que la pasta tenga el espacio necesario para los productos del proceso de hidratación” (Neville,1999)

b) DEFINICIONES

- Agua de mezclado: “Es la cantidad de agua por metro cubico de concreto producido que generará la trabajabilidad adecuada y asimismo permitirá un eficiente proceso de hidratación.” (Sanchez,2001)
- Agua de Hidratación: “Es una porción del agua de mezclado que reacciona químicamente con el material cementicio, para pasar a formar parte de la fase solida del gel, se la conoce también como agua no evaporable.” (Sanchez,2001)
- Agua evaporable: “Es el agua restante en la pasta del concreto en su estado no endurecido, la cual es capaz de evaporarse, pero no se encuentra libre en su totalidad, debido a las fuerzas de atracción molecular que genera el gel cementicio.” (Sanchez,2001)
- Agua de adsorción: “Es una capa molecular de agua que se halla fuertemente adherida a las superficies del gel cementicio por fuerzas intermoleculares de atracción, cuyas distancias con respecto a la superficie del gel están entre los 0 Å y 30 Å.” (Sanchez,2001)

- Agua capilar: “Es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a 10^7 Å, de modo que ella está sujeta débilmente a las fuerzas de atracción del gel cementicio.” (Sanchez,2001)
- Agua libre: “Aquella que se encuentra fuera del área de atracción de la superficie del gel, de modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse fácilmente.” (Sanchez,2001)
- Agua de curado: “Constituye el suministro adicional para hidratar eficientemente el cemento, de modo que complete su reacción química.” (Sanchez,2001)

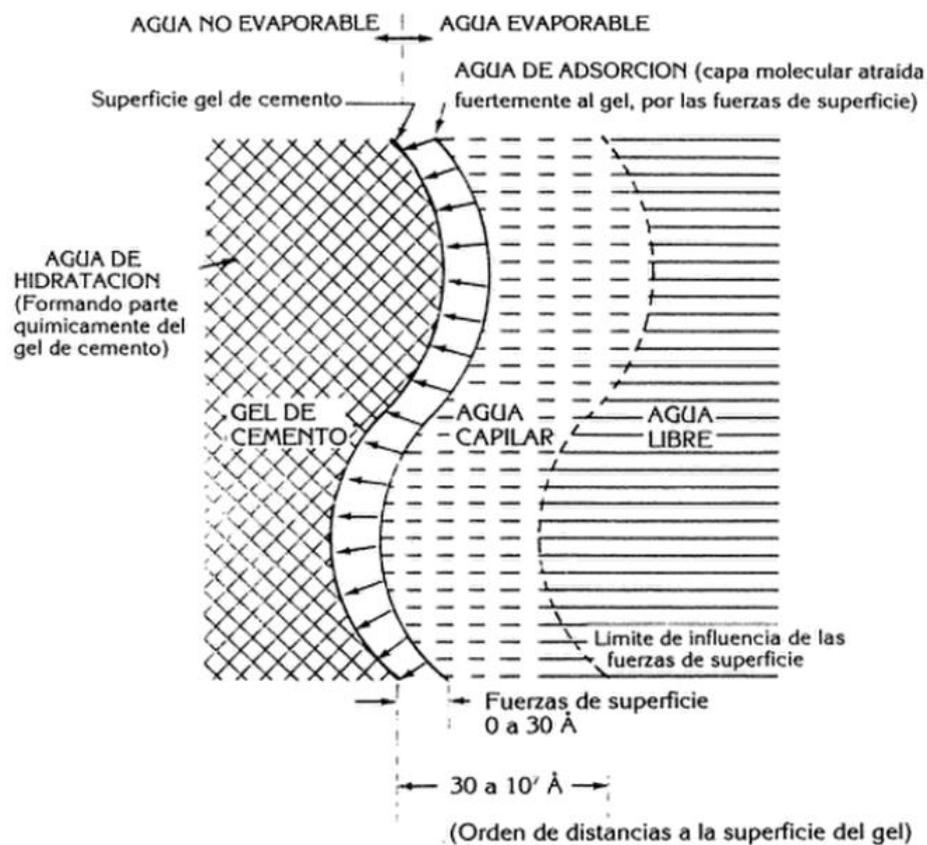


Figura 2-4: Esquema de la ubicación del agua en la pasta del cemento hidratado
(Fuente: Sanchez,2001)

c) REQUISITOS DE CALIDAD

Para el uso cotidiano y diario en las obras de construcción se ha aceptado como criterio general que el agua potable es apta para la elaboración del concreto, no obstante, ello no limita a que pueda aplicársele los respectivos ensayos para verificar su calidad.

El agua de mezclado deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 334.088, que son los siguientes:

Tabla 2-5: Contenido máximo de sustancias dañinas presentes en el agua

| SUSTANCIA | VALOR MÁXIMO |
|------------------------|---------------------|
| Cloruros | 300 ppm |
| Sulfatos | 300 ppm |
| Sales de magnesio | 150 ppm |
| Sales solubles totales | 500 ppm |
| pH | Mayor de 7 |
| Sólidos en suspensión | 1500 ppm |
| Materia Orgánica | 10 ppm |

(Fuente: NTP 339.088)

“Los efectos más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencias, contribución a la corrosión del acero, cambios volumétricos etc.” (Pasquel,1998).

En la elaboración del concreto está prohibido utilizar las siguientes aguas:

- Aguas ácidas
- Aguas calcáreas
- Aguas minerales carbonatadas
- Aguas provenientes de minas o relaves
- Aguas que contengan residuos industriales
- Aguas salobres o con un contenido de cloruro de sodio mayor del 3% o un contenido de sulfatos mayor del 1%.
- Agua que contengan algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües.
- Aguas que contengan azúcares o sus derivados.
- Aguas que contengan sales de sodio o potasio disueltas, en especial en todos aquellos casos en que es posible la reacción álcali-agregado.

2.2.2.4. ADITIVOS

“Un aditivo es definido por la Norma ASTM C125 y el Comité 116 R del ACI como un material diferente del agua, agregados, cemento hidráulico y refuerzo de fibra, el cual se emplea como un ingrediente del cemento o mortero, y es añadido a la tanda en la mezcladora inmediatamente antes o durante el mezclado”, con la finalidad de:

- Modificar una o algunas de las propiedades del concreto.
- Facilitar el proceso de colocación del concreto
- Obtener economía en los costos de producción el concreto
- Ahorrar energía

En muchos casos (tales como alta resistencia inicial; resistencia a los procesos de congelación, retardo y aceleración de fragua) el empleo de un aditivo puede ser el único medio para alcanzar el objetivo deseado. En otros, los objetivos deseados pueden ser alcanzados por cambios en la composición o proporciones de la mezcla del concreto, obteniéndose economías mayores que si se empleara aditivos (...). Los aditivos utilizados deberán cumplir con los requisitos de las Normas ASTM o NTP correspondientes. Su empleo deberá estar indicado en las especificaciones del proyecto o ser aprobado por la supervisión.

El empleo de aditivos incorporadores de aire se recomienda como obligatorio en concreto que, en cualquier etapa de su vida, pueden estar expuestos a temperaturas ambientes menores de 0°C. En otros casos, el empleo de aditivos solo es obligatorio cuando puede ser la única alternativa para lograr los resultados deseados.

Además del incremento en la durabilidad y resistencia, puede haber otras razones para el empleo de aditivos, tales como incremento en la trabajabilidad, mayor facilidad de bombeo de la mezcla, facilidad de colocación y acabado, desarrollo de resistencia iniciales altas, rehusos de encofrados, etc.

Siempre que se les emplee debe considerarse la incidencia del costo de los mismos sobre la unidad cúbica de concreto, así como la economía en los costos de producción.

Entre algunas de las razones de empleo de aditivos para modificar las propiedades del concreto no endurecido, se puede mencionar:

- Reducir el contenido de agua de la mezcla

- Incrementar la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua; o disminución del contenido de agua sin modificación de la trabajabilidad.
- Retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial
- Reducir o prevenir la segregación o crear ligera expansión.
- Modificar la magnitud y/o velocidad o capacidad de exudación.
- Reducir incrementar o controlar el asentamiento.
- Reducir o prevenir la segregación o desarrollo de una ligera expansión.
- Mejorar la capacidad de colocación y/p bombeo de las mezclas.

Entre las principales razones del empleo de los aditivos para modificar las propiedades de los concretos, morteros o lechada endurecidos se puede mencionar:

- Se reduzca o retarde la evolución del desarrollo del calor de hidratación durante el endurecimiento inicial
- Se acelere la magnitud del desarrollo de resistencia a tempranas edades
- Se incremente la resistencia en compresión, flexión y corte
- Se incremente la durabilidad o resistencia frente condiciones severas de exposición
- Se disminuya la permeabilidad del concreto
- Se logre un control de la expansión causado por la reacción álcali - agregado
- Se incremente la adherencia acero - concreto; así como la adherencia concreto antiguo-concreto fresco
- Se mejore la resistencia del concreto al impacto y la abrasión
- Se inhiba la corrosión del metal embebido
- Se produzca morteros o concretos coloreados
- Se producen concretos celulares

Los aditivos deben cumplir con los requisitos de las normas seleccionadas y las especificaciones de obra debiéndose prestar especial atención a las recomendaciones del fabricante y/o distribuidor del aditivo. El empleo de aditivos no autoriza a disminuir el contenido de cemento seleccionado para la unidad cubica de concreto.” (Rivva,2010)

2.2.2.4.1. CLASIFICACIÓN

“De acuerdo a las recomendaciones del Comité ACI 212.1R del ACI, los aditivos se clasifican en los siguientes grupos:

- Acelerantes
- Reductores de agua y/o reguladores de fragua
- Superplastificantes
- Incorporadores de aire
- Generadores de gas
- Aditivos para inyecciones
- Productores de expansión
- Ligantes
- Ayudas para bombeo
- Colorantes
- Floculantes
- Insecticidas
- Impermeabilizantes
- Reductores de permeabilidad
- Controladores la reacción álcali-agregado
- Inhibidores de la corrosión” (Rivva,2010)

a) INCORPORADORES DE AIRE

“El aire incorporado en las mezclas de concreto es aquel que intencionalmente ha sido añadido a la mezcla mediante el empleo de in aditivo adecuado, a diferencia del aire accidentalmente atrapado en la masa de concreto (...)los cuales son añadidos al concreto inmediatamente antes o durante su mezclado, especialmente para resistir la acción de procesos de congelación y deshielo.

Adicionalmente a su función principal, deberá emplearse aditivos incorporadores de aire en aquellos casos en que se emplee agentes químicos descongelantes, especialmente cuando se anticipa el empleo de cloruros de calcio o de sodio para esta función. Los pavimentos, pisos de garaje y playas de estacionamiento están expuestos a esta condición si se encuentran en zonas de baja temperatura.

El mecanismo de congelación y la forma de acción del aire en el concreto serán analizados en este trabajo, teniendo presentes la influencia de los materiales, el proceso de puesta en obra, y el control de calidad.” (Rivva,2010)

Es importante establecer las diferencias entre aire atrapado y aire incorporado, con referencia a este aspecto Rivva (2010) establece lo siguiente: “Las burbujas de aire atrapado se caracterizan porque si diámetro es mayor de un milímetro y su perfil es irregular, esto último debido a que la periferia de las burbujas sigue el contorno de las partículas de agregado que la rodean.

Las burbujas de aire atrapado:

- Son más abundantes en mezclas pobres de concreto sin aire incorporado, especialmente si la arena es pobre en las partículas más finas.
- Es este tipo de burbujas el aire presente en las mismas está bajo la acción de una doble presión impuesta por la acción de las fuerzas capilares y a la hidrostática que corresponde al agua de la mezcla.
- Son inefectivas para mejorar la trabajabilidad del concreto debido a que no disminuyen, y más bien tienden a aumentar, la capacidad de dilatación de la masa que es necesario manipular.

En cambio, las burbujas de aire incorporado (...) son referidas en mismo como resultado de la adherencia, por fuerzas químicas superficiales, a las partículas de cemento y agregado, así como por la viscosidad inherente a la pasta.

Las burbujas de aire incorporado se caracterizan por tener un diámetro que varía entre 10 y 1000 micrones; así como un perfil esférico, o que ase a aproximado a dicha forma, el cual viene dado por la presión hidrostática a que están sujetas las burbujas por acción de la pasta, agua y agregado fino que la rodea.

Las burbujas de aire incorporado:

- Se desarrollan mejor en mezclas ricas que contienen agregado fino bien graduado; y
- Mejoran la trabajabilidad de las mezclas debido al incremento en el espaciamiento de los sólidos en la nada y la disminución en la dilatación, y, para cargas que actúan en periodos cortos, facilitan el acomodo de las partículas de agregado.”

b) ACELERANTES

“Se define como aditivos acelerantes a aquellos productos químicos que incorporados a la mezcla permiten:

- Reducir el tiempo de fraguado
- Lograr incrementos significativos en la resistencia inicial y final del concreto
- Reducir los periodos de curado y protección necesarios para alcanzar una determinada resistencia en el concreto; y
- Trabajar el concreto en mejores condiciones durante los periodos de baja temperatura ambiente

(...) Como el término lo indica, un acelerante deberá incrementar la velocidad de desarrollo de ciertas propiedades características del cemento y/o el concreto, sin que ello signifique que deberá necesariamente afectar a cada una de las diversas propiedades de la misma forma simultáneamente.

Así, en sentido químico, la aceleración podría ser considerada como un incremento en la velocidad de reacción; en el sentido físico como un incremento en la velocidad de fraguado o en los cambios de volumen; en el sentido mecánico como un incremento en la velocidad de desarrollo de resistencia(...)

La aceleración del desarrollo inicial de resistencia permite:

- Un desencofrado más rápido
- Acortamiento en el periodo de protección del concreto
- Rápido acabado o reparación de la estructura
- Compensación de los efectos de las bajas temperaturas sobre el desarrollo de resistencia.
- Los beneficios de una reducción en el tiempo de fraguado incluyen:
 - Operaciones de acabado superficial más rápidas.
 - Reducción temprana en la presión sobre los encofrados.
 - Rápido taponeo de fallas debidas a presión hidrostática.”(*Rivva,2010*)

c) **REDUCTORES DE AGUA – REGULADORES DE FRAGUA**

“Los aditivos del grupo de los reductores de agua reguladores de fragua reducen los requisitos de agua de la mezcla o modifican las condiciones de fraguado o ambas.

La reducción de agua da, para una consistencia y contenido de cementos dados, una disminución en la relación agua - cemento, o un incremento en la consistencia sin modificaciones en la trabajabilidad si se mantienen constantes la relación agua-cemento y el contenido de cemento.

Los aditivos reductores de agua son empleados:

- Para mejorar la calidad del concreto
- Para obtener una resistencia dada con un bajo contenido de cemento
- Para incrementar el asentamiento de una mezcla sin un incremento el contenido de agua
- Para mejorar las propiedades de los concretos en los que se ha utilizado agregados de textura áspera o pobremente graduados.
- Par mejorar las facilidades de colocación de concreto bombeados o concretos colocados bajo agua.
- Los aditivos retardadores de fragua son empleados:
- Compensar los efectos acelerantes de las altas temperaturas.
- Mantener el concreto trabajable durante la colocación, eliminando las grietas por deflexión del encofrado
- Mantener el concreto en estado plástico por un periodo lo suficientemente largo como para colocarlo en capas sucesivas sin producir juntas de vaciado o discontinuidad de la unidad estructural.” (Rivva,2010)

d) ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

“Los aditivos conocidos como superplastificantes, o aditivos reductores de agua de alto rango, son químicamente diferentes a los aditivos reductores de agua normales (que permiten reducciones de agua del 5% al 10%) y pueden ser empleados para reducir significativamente el contenido de agua del concreto en valores hasta del 30%, manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos no deseados sobre el fraguado. Igualmente, pueden ser empleados para incrementar el asentamiento significativamente sin necesidad de aumentar el agua de la mezcla original. La importancia de estos aditivos justifica que se efectúe un amplio estudio de los mismos (...)

A las ya indicadas el uso del concreto con superplastificantes permite su empleo en las siguientes aplicaciones:

- Colocación en elementos con congestión de refuerzo.
- Colocación en áreas que no son fácilmente accesibles
- Eliminación del problema de rotura y adaptación de encofrados
- Facilidad de colocación en áreas de paneles, pisos, cimentación de placa, puentes, pavimentos, cubiertas de techos, losas, etc.
- Bombeo satisfactorio del concreto

- Empleo en aplicación de riego o rocío, revestimiento de túneles y molduras arquitectónicas especiales.
- Empleo en la industria de prefabricados con resistencia de 400kg/cm².
- Producción de concretos con resistencia mayores de 1500 kg/cm².” (Rivva,2010)

e) ADITIVOS GENERADORES DE GAS

“Los aditivos formadores de gas tienen por función generar o liberar burbujas de gas en la mezcla fresca, durante o inmediatamente después de la colocación y antes del fraguado de la pasta. La razón principal de su empleo es controlar los procesos de exudación y asentamiento, permitiendo que el concreto conserve su volumen de vaciado.” (Rivva,2010)

f) ADITIVOS PARA INYECCIONES

“Los aditivos para inyecciones son productos químicos que se le aplican principalmente para cementar pozos de petróleo, en los que pueden presentarse temperatura y presiones altas y en los que las distancias de bombeo son muy grandes.” (Rivva,2010)

g) ADITIVOS PRODUCTORES DE EXPANSION

“Los aditivos productores de expansión, los cuales durante el periodo de hidratación del cemento expanden por si mismos o reaccionan con otros constituyentes del concreto para causar expansión, son empleados para minimizar los efectos de la contracción por secado.” (Rivva,2010)

h) ADITIVOS LIGANTES

“Los aditivos ligantes se emplean en mezclas de cemento Portland con la finalidad de incrementar las propiedades ligantes de las mismas. Estos aditivos son generalmente emulsiones de un polímero orgánico, e incrementan el contenido de aire de las mezclas en que son empleados.” (Rivva,2010)

i) ADITIVOS AYUDA PARA BOMBEO

“Los aditivos conocidos como ayudas para bombeo tienen como única función mejorar la facilidad de bombeo del concreto. Su principal propósito es superar la dificultad en obtener agregados con un volumen de vacíos intersticiales satisfactorio y de tamaño adecuado.

La función esencial de estos aditivos es dar a la pasta capacidad para retener el agua bajo la acción de las fuerzas que tienen a superarla.” (Rivva,2010)

j) ADITIVOS COLORANTES

“Los aditivos colorantes se emplean para producir en el concreto el color deseado sin afectar las propiedades de la mezcla.” (Rivva,2010)

k) ADITIVOS FLOCULANTES

“Los aditivos floculantes tienen por finalidad:

- Incrementar la velocidad de exudación y disminuir el volumen de ésta.
- Reducir el flujo
- Incrementar la cohesividad

Incrementar la rigidización inicial del concreto” (Rivva,2010)

l) ADITIVOS FUNGICIDAS, INSECTICIDAS Y GERMINICIDAS

“Estos aditivos dan al concreto propiedades insecticidas, fungicidas o germicidas. Su principal propósito es inhibir o controlar el crecimiento de bacterias y hongos en los pisos u paredes de concreto, no siempre son totalmente efectivos.” (Rivva,2010)

m) ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES

“El término impermeabilidad implica la prevención de la penetración de agua en el concreto seco, o la detención de la transmisión de agua a través del concreto no saturado. No existen aditivos capaces de producir los efectos indicados y el término “impermeabilidad” se aplica a las reducciones en la velocidad e la penetración de agua en un concreto seco, o la velocidad de transmisión de agua en un concreto no saturado.” (Rivva,2010)

n) ADITIVOS REDUCTORES DE LA EXPANSION ALCALI-AGREGADO

“Existe información que indica que las sales solubles de litio y bario, determinados aditivos incorporadores de aire y algunos aditivos reductores de agua retardadores de fragua, producen reducción en la expansión debida a la reacción entre los álcalis del cemento y las sílices amorfas presentes en algunos agregados. En algunos casos se ha utilizado, con resultados aceptables, 1% de sales de litio, o 2% a 7% de sales de bario, en

peso del cemento, con resultados aceptables. El aire incorporado ha demostrado que reduce ligeramente la expansión.” (Rivva,2010)

o) ADITIVOS INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN

“La principal contribución a la corrosión de los elementos metálicos embebidos en el concreto es la presencia de cloruro de calcio en la mezcla. Esta presencia puede deberse a la exposición del concreto a ambientes salinos o agua de mar; exposición a suelos salinos desde los cuales los cloruros pueden alcanzar el acero por perfusión a través del concreto, o el empleo del cloruro de calcio como aditivo acelerantes.” (Rivva,2010)

2.2.2.5. ADICIONES

a) DEFINICION

Rivva (2010) plantea lo siguiente: “Los materiales clasificados como adiciones son polvos muy finos, con una fineza Blaine mucho mayor que la del cemento, pudiendo llegar en el caso de las microsílices a 200 000 cm²/gr, por lo que influyen en las propiedades de la pasta fresca de la misma manera que éste. Así, las adiciones minerales u orgánicas ya sean cementantes o puzolánicas tienen por finalidad mejorar el comportamiento al estado fresco de mezclas deficientes en partículas muy finas y, en estado endurecido, mejorar las propiedades del concreto especialmente si resistencia y durabilidad. Por ellos las mezclas en las que se les emplea generalmente requieren menos cemento para producir una resistencia dada e igualmente contribuyen a importantes modificaciones en el comportamiento de la pasta fresca y, adicionalmente, pueden también modificar las propiedades físicas y químicas del producto final endurecido (...).

Las adiciones aquí presentadas no nos agregados ni aditivos, ni cemento Portland. Son “adiciones a la mezcla” que molidas conjuntamente con el clinker del cemento Portland o incorporadas a este durante el mezclado, producen materiales con las características de cementos Portland combinados que cumplen con las recomendaciones de la norma ASTM C595.”

b) EMPLEO

“Las adiciones minerales u orgánicas pueden ser empleadas en cualquier tipo de concreto, generalmente para uno o más de los siguientes propósitos:

- Para corregir una deficiencia en el concreto, por ejemplo, proporcionar las partículas más finas del agregado fino y evitar problemas de trabajabilidad y acabado del concreto.
- Para mejorar una o más cualidades del concreto, tales como incrementar las resistencias mecánicas, proteger al concreto de los ataques químicos de los sulfatos, reducir la expansión debida a la reacción álcali-agregados, o disminuir la generación de calor.
- Reducir el costo de los materiales de las operaciones de preparación y colocación del concreto, o ambas.” (Rivva,2010)

c) CLASIFICACIÓN

“La recomendación ACI 212 clasifica a las adiciones minerales en cuatro tipos:

- Aquellas que son cementantes: comprenden los cementos naturales; las cales hidráulicas; los cementos de escorias; y la escoria de altos hornos granulada y finamente molida
- Aquellas que son puzolánicas, incluyen las puzolanas; cenizas; microsílices; vidrios volcánicos; tierras de diatomeas; y algunos esquistos y arcillas al estado natural o tratados al calor.
- Aquellos que tienen propiedades cementantes y puzolánicas. Dentro de ellos se encuentran las cenizas que se obtienen como subproducto de la ignición del carbón y lignito, o de la cáscara de arroz, las cuales tienen limitadas características cementantes, pero cuando se combinan con la cal actúan como puzolanas.
- Otros. En este grupo se incluyen aditivos minerales que no son cementantes ni puzolánicas y que son considerados relativamente inertes cuando se les incorpora a la mezcla cemento-agua. Incluyen el cuarzo y la arena silicosa finamente molida; las calcitas dolomíticas y mármol; granito y otros polvos de roca; crisolito; dolomita hidratada o cal de alto contenido de calcio. Generalmente se utilizan en estado natural, no esperándose u obteniéndose actividad puzolánica.” (Rivva,2010)

2.2.2.6. FIBRA

“La fibra se adiciona a la mezcla de concreto para mejorar su resistencia en flexión y corte, disminuyendo o eliminando su tendencia a agrietarse, ya sea por asentamiento

plástico, contracción plástica, contracciones térmicas iniciales, o contracción por secado a largo plazo (...).

La fibra reduce, en forma importante, la formación de grietas por encogimiento plástico aumentando la capacidad de resistencia a la tensión del concreto plástico. Esta reacción o eliminación de las grietas plásticas permite al concreto desarrollar su integridad óptima. La adición de miles de fibras distribuidas uniformemente a través del concreto sirve también para minimizar el ancho y la longitud de las grietas que aparecen en el estado endurecido.

(...)Es conveniente indicar que las grietas por asentamiento plástico tienen como causa la excesiva exudación y aparecen dentro de los 10 minutos a 3 horas, las grietas por contracción plástica tienen como causa un rápido secado inicial y aparecen dentro de los 30 minutos a las 8 horas; las grietas por contracción térmica son causadas por exceso de calor e incremento en la gradiente de temperatura y pueden aparecer entre un día y dos a tres semanas; y finalmente, las grietas por contracción a largo plazo se deben a juntas ineficientes y pueden aparecer en semanas o meses.” (Rivva,2010)

a) EMPLEO

“Las fibras de polipropileno diseñadas para refuerzo del concreto se utilizarán con sujeción estricta a las recomendaciones del fabricante en lo que se refiere a tipo y cantidad. Solo serán aceptadas las fibras diseñadas y fabricadas específicamente para utilizarse en el concreto, que sean de polipropileno virgen y así estén certificadas por el fabricante.

Se puede especificar fibra de polipropileno para:

- El control de agrietamiento del concreto resultante de las tensiones intrínsecas (encogimiento por secado)
- Aplicar un método más eficiente y económico que el de la malla de alambre, para proveer estabilidad dimensional (acero de temperatura) para refuerzo secundario.
- Una reducción en la permeabilidad del concreto
- Mayor resistencia al despedazamiento e impacto en el concreto
- Soporte y cohesión del concreto en planos inclinados y/o colocaciones de moldes deslizantes
- Resistencia mayor a la fatiga
- Durabilidad mejorada

- Colocaciones en las que no debe haber materiales metálicos.
- Áreas que requieren de materiales antialcalinos y resistentes a los productos químicos.” (Rivva,2010)

b) APLICACIONES

“Se la podrá emplear, en las siguientes condiciones también:

- Concretos lanzados
- Tanques de agua
- Concreto bombeable
- Plantas de tratamiento de aguas
- Pisos para trabajos pesados
- Pistas y rampas de parque de aeronaves
- Colocación de grandes volúmenes de concreto” (Rivva,2010)

2.3. QUÍMICA DEL CEMENTO

2.3.1. ASPECTOS GENERALES

“Los principales constituyentes del cemento, son compuestos que contienen calcio(Ca), sílice (Si), alúmina(Al), hierro (Fe), oxígeno(O), azufre(S) e hidrógeno (H). El análisis químico de estos materiales generalmente expresa la cantidad de estos elementos como porcentaje de los óxidos, CaO (óxido de cal); SiO₂(óxido de sílice); Al₂O₃(óxido de alúmina); Fe₂O₃ (óxido de hierro); SO₃ (tríoóxido de azufre) y H₂O (agua). Los óxidos normalmente no se presentan como tales ya que los elementos están presentes en forma de compuestos complejos.

Los principales compuestos presentes en los cementos portland tiene las siguientes características:

Los compuestos químicos identificados como C₃S se presentan en el clinker en forma de alita impura. La alita es muy compleja y puede tener seis o siete formas cristalinas.

El C₂S se presenta como belita, la cual tiene por lo menos 5 formas cristalinas; las diferentes formas de belita, a diferencia de la alita, pueden diferir significativamente en comportamiento.

Tanto la fase aluminato tricalcico, C₃A, como la fase ferrito, C₄AF, también se presentan en diferentes formas cristalinas con alguna variación en sus propiedades. La fase ferrito puede variar significativamente en su composición. Cuando la relación A/F es menor de

0.64 se forma una solución sólida de ferrito en base a C4AF y C2F. Los ferritos son de menor importancia que el C3A en los cementos debido a que tienen una hidratación muy lenta.” (Rivva,2010)

Estos conocimientos, frutos de investigaciones previas se están utilizando para la predicción del comportamiento del material cementante, así como para controlar los procesos de fabricación.

“El porcentaje de los compuestos en un cemento portland se calcula a partir del análisis de óxidos del cemento, empleando determinadas asunciones simplificadas. Un cálculo de esta naturaleza solo da una aproximación de los porcentajes presentes. El procedimiento de cálculo, dado por Bogue en 1995, está desarrollado en ASTM C 150. Las ecuaciones de Bogue asumen que el equilibrio químico se obtiene en la parte más caliente del horno, en tanto que, en la práctica, el equilibrio no es alcanzado (...).” (Rivva,2010)

Está claro entonces que el cemento, no es un compuesto químico simple, por el contrario, es denominado del tipo complejo, ya que es producto de la mezcla de muchos compuestos.

Cuatro son los compuestos que conforman el 90% o más del peso del cemento (silicato bicálcico C2S, silicato tricálcico C3S, aluminato tricálcico C3A, y el aluminato ferrito tetracálcico C4AF), estos a su vez son los compuestos principales de los diferentes tipos de cemento portland, pero en diferentes cantidades.

Tabla 2-6: Composición de los cementos Portland

| COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS PORTLAND (%) | | | | |
|---|------------|------------|------------|-------------|
| TIPO | C3S | C2S | C3A | C4AF |
| I | 42-65 | 10-30 | 0-17 | 6-18 |
| II | 35-60 | 15-35 | 0-8 | 6-18 |
| III | 45-70 | 10-30 | 0-15 | 6-18 |
| IV | 20-30 | 50-55 | 3-6 | 8-15 |
| V | 40-60 | 15-40 | 0-5 | 10-18 |

(Fuente: Rivva,2010)

“Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidrato de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es el componente cementante más importante

del concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional principalmente dependen del gel del hidrato de silicato de calcio (...).

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene menos cantidad de aire y agua, lo mismo que no tienen resistencia alguna. La resistencia el parte solidad de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalina. Mientras menos porosa sea la pasta, mucho más resistente es el concreto. Por ello cuando se mezcla el concreto no se debe emplear una cantidad mayor que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Aun es ese caso, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima agua - cemento (en peso) requerida para la hidratación es aproximadamente de 0.22 a 0.25” (*Rivva,2010*)

Otro factor importante a mencionar es el calor liberado que se genera producto de la reacción química durante el proceso de hidratación del cemento, este calor puede ser beneficioso o perjudicial desde el punto de visto que lo veamos, por ejemplo, en temporadas o climas fríos podría ayudarnos a proteger el concreto del daño causado por las temperaturas de congelación.

En cambio, es perjudicial en el caso de vaciados masivos, debido a que puede incurrir en generar esfuerzos no deseados al enfriarse luego de haber endurecido, es así que es importante conocer también la cantidad de calor liberado por tipo de cemento: “El cemento tipo I elimina un poco más de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo III, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo II, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar más de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso del cemento tipo IV, cemento portland de bajo calor de hidratación, se debe tomar en consideración donde sea fundamental contar con un bajo calor de hidratación.” (*Rivva,2010*)

Es importante detallar también que la velocidad de reacción entre cemento y agua es importante, ya que ella determina los tiempos de fraguado y endurecimiento. El yeso que se agregó durante la moliendo de clinker actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación, en conjunto con otros factores como: grado de finura de la molienda, aditivos, cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento de mezclado.

Tabla 2-7: Finura de los cementos Portland

| FINEZA DE LOS CEMENTOS PORTLAND | |
|--|-----------|
| TIPO I | 3000-4000 |
| TIPO II | 2800-3800 |
| TIPO III | 4500-6000 |
| TIPO IV | 2800-3200 |
| TIPO V | 2900-3500 |

(Fuente: Rivva,2010)

2.3.2. PRINCIPALES COMPUESTOS DEL CEMENTO PORTLAND

A continuación, detallaremos las definiciones y funciones de los principales compuestos del cemento portland:

- **SILICATO TRICÁLCICO (C3S)**

Su fórmula química es $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, “conocido también como Alita, es la fase principal en la mayoría de los clinker Portland, y se compone de 73.7% de cal y 26.3% de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales poligonales bien formados, con dimensiones que varían según el grado de cristalización, siendo bien desarrollados cuando la cocción ha tenido lugar a temperatura suficientemente elevada y durante bastante tiempo, así como en presencia de una cantidad adecuada de fase líquida.

El silicato tricálcico contribuye de manera muy importante a las resistencias iniciales, siendo su velocidad de hidratación alta, así también desarrolla un alto calor de hidratación, se estima que su calor de hidratación completa en 120 cal/gr.

Experimentalmente se ha comprobado que los concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de silicato tricálcico presentan una mejor acción a los ciclos de hielo y deshielo. Se recomienda su uso en zonas de climas fríos dado su alto calor de hidratación, sin embargo, no en construcciones masivas por la baja estabilidad volumétrica que pueden producir.” (Portugal,2007)

- **SILICATO BICÁLCICO (C2S)**

Su fórmula química es $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, “también denominado Belita, es la segunda fase en importancia en el clinker, y se compone de 65.1% de cal y 34.9% de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales relativamente anchos, de contornos redondeados y tamaño variable.

El silicato bicálcico tiene una lenta velocidad de hidratación y desarrollo de calor bajo, 62 cal/gr, dada su lenta velocidad de endurecimiento, la contribución del silicato bicálcico a las resistencias iniciales es muy pequeña, siendo su efecto posterior la fuente principal de resistencia(a largo plazo). Su estabilidad química es bastante buena, por lo que el uso de cementos con alto contenido de silicato bicálcico para producir concretos resistentes al ataque de sulfatos es muy recomendable.” (Portugal,2007)

- **ALUMINATO TRICÁLCICO (C3A)**

Su fórmula química es $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, “se compone de 62.3% de cal y 37.7% de alúmina, éste compuesto presenta un color oscuro ante el examen microscópico del clinker, después de los álcalis, los aluminatos son los compuestos del cemento que primero reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy alta, hasta el punto de ser casi instantáneo, es por esta razón que la adición de sulfato de calcio se hace necesaria para controlar esta velocidad de hidratación.

El aluminato tricálcico contribuye en las resistencias durante las primeras horas, su calor de hidratación es muy elevado 207 cal/gr.

Tanto la resistencia del concreto a ciclos de hielo y deshielo así como su resistencia al ataque de sulfatos tiende a disminuir conforme se incrementa el contenido de aluminato tricálcico en el cemento. El aluminato tricálcico es muy sensible a la acción de sulfatos y cloruros, debido a la formación de sales del tipo sulfoaluminatos y cloroaluminatos, la formación de estas sales es de carácter expansivo, pudiendo originar agrietamiento y desintegración del concreto. La forma de ataque es por reacción del sulfato de calcio con el hidroaluminato tricálcico resultante de la hidratación del aluminato tricálcico, favoreciendo la formación del llamado bacilo del cemento químicamente sulfoaluminato de calcio hidratado, este compuesto es la causa de las formas más peligrosas de corrosión del concreto. Se recomienda un contenido máximo de aluminato tricálcico es del orden de 7%.” (Portugal,2007)

- **FERROALUMINATO TETRACÁLCICO (C4AF)**

Su fórmula química es $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, “se compone de 46.1% de cal, 21% de alúmina y 32.9% de óxido de hierro. También es denominado Celita clara o Ferrito. Este compuesto presenta un calor de hidratación de 100 cal/gr y una alta estabilidad química, los cementos ricos en este compuesto tienen condiciones de empleo específicas en todos

aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.” (Portugal,2007)

Cabe resaltar que existen otros compuestos secundarios, como MgO (componente menor, proporciones mayores a 5% genera problemas de expansión), Na₂O, K₂O (Óxidos de sodio y potasio, llamados álcalis, ha de tenerse cuidado para casos especiales con ciertos agregados, ya que produce desintegración del concreto), Mn₂O₃(Oxido de Manganeso, no tiene acción preponderante en el cemento, le otorga la coloración, tiende a ser marrón con contenidos mayores a 3%; contenidos mayores a 5% disminuyen la resistencia a largo plazo), TiO₂ (Oxido de Titanio, para concentraciones mayores al 5% disminuye la resistencia).

Estos compuestos secundarios en conjunto ocupan alrededor del 8-10% del peso del cemento.

2.3.3. MECANISMO DE HIDRATACIÓN DEL CONCRETO

a) REACCIÓN QUÍMICA CEMENTO-AGUA

“Cuando el cemento portland y el agua son mezclados comienza una serie de reacciones químicas las cuales han de dar por resultado pérdida de asentamiento, fraguado, endurecimiento, evolución del calor de hidratación y desarrollo de resistencia. El proceso total es conocido como **hidratación del cemento**, dado que ello comprende la formación de compuestos que contiene agua. El yeso u otras formas de sulfato de calcio, que normalmente son molidos conjuntamente con el clinker, se emplean para prevenir la fragua instantánea y controlar los procesos de fraguado y endurecimiento inicial, principalmente por regulación de las reacciones de hidratación rápida del C₃A .

El yeso cumple su función en parte porque se disuelve rápidamente formando una película de protección de etringita sobre la superficie del C₃A y demorando la reacción química del mismo. Un efecto colateral del yeso es acelerar la hidratación de los silicatos.

Se considera que los compuestos disueltos en el agua afectan el comportamiento del cemento y sus reacciones con otros materiales del concreto tales como los agregados y aditivos, al cambiar con el tiempo la cantidad de algunos de los más importantes iones en solución. Igualmente, una reducción de los espacios originalmente ocupados por el agua tiene lugar conforme la reacción química se produce.

La magnitud de la reacción y la naturaleza y cantidad de los productos formados dependen de la composición y fineza del cemento; igualmente dependen de la temperatura y de la naturaleza y cantidad de los aditivos presentes.

Para entender la interrelación entre la química de los cementos y el estándar, es conveniente recordar que el ASTM C150 establece contenidos máximos de SO₃ variables entre 2.3% para el cemento Tipo V a 4.5% para el tipo III.

Generalmente el máximo porcentaje permisible de SO₃ es una función del contenido de C₃A y de la fineza del cemento.

Se permite SO₃ adicional, excediendo los máximos establecidos si los ensayos demuestran que la cantidad de SO₃ que permanece en la solución después de las 24 horas de hidratación es significativamente baja, deberá ejercerse control a fin de evitar que el SO₃ no consumido en los primeros días pueda reaccionar con el C₃A que no ha reaccionado, en edades posteriores para producir etringita y dar lugar a expansiones destructivas en el largo plazo.

El SO₃ presente en el cemento proviene principalmente de yeso añadido durante la molienda, pero porcentajes importantes pueden ser incorporados por el clinker si se ha empleado combustible con alto contenido de azufre durante el proceso de fabricación de dicho clinker. El SO₃ procedente de la combustión del petróleo forma principalmente sulfitos y sulfatos que son menos efectivos que el yeso incorporado en procesos de control de fraguado. La cantidad de yeso añadida es establecida por el productor de cemento para optimizar la resistencia, minimizar la contracción por secado y controlar el tiempo de fraguado y la pérdida del asentamiento.” (Rivva,2010)

b) FORMACIÓN DEL GEL

“El gel es el material rígido, de resistencia elevado, homogéneo, con un porcentaje de vacíos, conocidos como poros gel, del orden del 25% en volumen. Se presenta al microscopio rodeado de una pequeña cantidad de clinker inalterado y de cristales de hidrato de calcio.

El proceso de formación del gel comienza aproximadamente una hora después del mezclado. Se inicia al brotar en toda la superficie de los granos de cemento una formación vermicular o de bastoncillos, la cual no está constituida por cristales simples sino por una sustancia de constitución homogénea compuesta de micro cristales no reconocibles, la cual se conoce como gel. Este gel forma un filtro coloidal que parece presentar una tendencia a formar hojas enrolladas. La formación de cristales de tobermorita se

desarrolla no solo en la superficie de los granos sino también en el espacio capilar repleto de agua comprendido entre ellos.

Después de las 24 horas del inicio de la hidratación, los espacios capilares se muestran ya considerablemente llenos de partículas de gel y finalmente, después de 28 días, el gel ha rellenado el espacio capilar formando un ligamento entre los granos originales del cemento a los cuales ha unido estrechamente en su superficie de contacto.” (Rivva,2010)

c) **COMPOSICION QUIMICA DE LOS PRODUCTOS DE HIDRATACIÓN**

“No se establece diferencia entre el C3S y el C2S porque, en condiciones normales de endurecimiento ambos forman siempre “disilicato tricálcico hidratado”, el cual es una pasta mineral coloidal que se designa con el nombre de “Tobermorita”. El silicato tricálcico totalmente hidratado solo contiene, en peso, un 40% de hidrato cálcico, el silicato dicálcico totalmente hidratado contiene un 18% de hidrato cálcico.

Los dos componentes constituidos por silicatos se distinguen poco en su aptitud para combinarse con el agua por lo que no tiene mucha importancia el que exista una cantidad mayor de alguno de ellos. Lo mismo puede decirse en relación con los componentes aluminosos.

El porcentaje elevado del agua que se combina químicamente con el yeso, no representa un alza mayor en la relación con el porcentaje total de agua de hidratación, debido a la pequeña cantidad de yeso que se añade, que oscila entre el 3% y 4%” (Rivva,2010)

2.3.4. FRAGUADO

“Cuando el cemento se mezcla con el agua, las reacciones químicas que se producen originan cambios en la estructura de la pasta, conservando la mezcla su plasticidad durante un cierto tiempo, desde pocos minutos hasta varias horas, para luego ocurrir varios fenómenos sucesivos:

a) Un aumento relativamente brusco de la viscosidad acompañado de una elevación de temperatura de la pasta. A ese proceso se le conoce como principio de fraguado o fraguado inicial.

b) Después de un periodo de algunas horas, la pasta se vuelve indeformable y se transforma en un bloque rígido. A este momento se le conoce como el fin de fraguado o fraguado final. No corresponde a un fenómeno particular como el principio de fraguado, su determinación es tan solo teórica o convencional.

c) La resistencia aumenta con regularidad a medida que transcurre el tiempo. Es el proceso de endurecimiento del cual nos ocuparemos a continuación.

Por lo tanto, el término “fraguado” o “tiempo de fraguado” es un concepto convencional que se emplea para designar el periodo que necesita una mezcla de cemento y agua para adquirir una dureza previamente fijada.

Es esencial que el fraguado no sea ni demasiado rápido ni demasiado lento. Si es muy rápido el tiempo será insuficiente para colocar el concreto antes que adquiera rigidez. Si es muy lento se pueden originar retrasos en el avance y utilización de la estructura. Los tiempos de fraguado pueden estar influidos principalmente por cuatro variables: el contenido de SO₃; el contenido de C₃A, el grado de finura, y la temperatura alcanzada en la molienda.” (Rivva,2010)

2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO

2.4.1. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO

a) TRABAJABILIDAD

Es una medida del grado de facilidad en la fabricación, transporte, colocación y compactación del concreto, debe entenderse como una medición relativa, ya que un mismo concreto puede ser más o menos fácil de trabajar bajo diferentes condiciones de colocación y compactación.

El grado de trabajabilidad está influenciado por la pasta, por la relación agua cemento, y por las proporciones entre agregado grueso y fino.

La trabajabilidad es medida a través de la prueba del “Slump”, sin embargo, debe entenderse que esta prueba es mas de uniformidad que de trabajabilidad, ya que se ha demostrado que se pueden obtener concreto con igual slump, pero con trabajabilidades diferentes.

b) SEGREGACIÓN

Esta propiedad del concreto se da debido a la diferencia de densidades de los diferentes componentes del concreto, lo cual naturalmente indica que las partículas mas pesadas tienden a descender.

En los casos en que la viscosidad de la pasta en conjunto con el agregado fino es baja, debido a una mala distribución de las partículas o una granulometría deficiente, se producirá el fenómeno de segregación

c) EXUDACIÓN

La exudación hace referencia al fenómeno de ascensión o separación de una parte del agua de mezcla hacia la superficie.

Debe considerarse esta propiedad como un caso natural, el cual siempre se dará debido a la naturaleza del concreto, no obstante deberá controlarse sus efectos negativos (disminución de la resistencia y grado de durabilidad en la superficie).

Se dice que es un caso natural ya que la exudación es un caso típico de sedimentación, en la que los sólidos se asientan dentro de una masa plástica; este fenómeno está gobernado por las leyes físicas de del flujo de un líquido en un sistema capilar.

La exudación se ve influenciada por el grado de finura del cemento y el porcentaje de finos de los agregados, ya que mientras más material pasante de la malla Nro. 100 exista y mayor sea la finura del cemento, mayor será la cantidad de agua retenida en la mezcla.

d) CONTRACCIÓN

“Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. La pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

Este proceso no es irreversible, ya que, si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida.” (*Pasquel, 1998*).

2.4.2. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO ENDURECIDO

a) ELASTICIDAD

“En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "Módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un porcentaje de la tensión última” (*Pasquel, 1998*).

b) RESISTENCIA

“Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.” (*Pasquel, 1998*).

c) EXTENSIBILIDAD

“Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones. Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo. El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes.

La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria.” (*Pasquel, 1998*).

2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los datos de entrada que necesitamos para realizar el diseño según el método ACI 211, se han obtenido previamente a través de la realización de los siguientes ensayos sobre los agregados; cabe indicar que el agregado empleado para la presente tesis fue extraído de la cantera “La Poderosa”

2.5.1. GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS

La finalidad de los ensayos granulométricos es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en la muestra representativa de material que hemos de utilizar (agregado grueso y agregado fino)

La NTP 400.012 (2001) afirma que este ensayo: “(...) se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para su uso como agregados o los que estén siendo utilizados como tales. Los resultados serán utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos que exige la especificación técnica de la obra y proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de agregados”

El método, en resumen, consiste en hacer pasar una muestra de agregado a través de una serie de tamices ordenados, empezando en la parte superior con la abertura de mayor tamaño hacia las aberturas de menor luz en la parte inferior; empleando la agitación mecánica o manual.

Al final se pesará la cantidad de material retenido en cada malla y serán procesados en gráfico.

a) GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

Tomando como referencia lo estipulado por la NTP 400.012 (2001). Primero, hemos de definir el tamaño máximo nominal del agregado grueso que para nuestro caso es de $\frac{3}{4}$ ", por lo que corresponde una muestra de ensayo mínima de 5 kg.

La muestra a ensayar debe haber sido secada previamente a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Procedemos a seleccionar los tamices adecuados que emplearemos, los cuales son para nuestro caso: $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4.

Después de haber pesado la muestra seca correspondiente, procedemos al tamizado, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Tabla 2-8: Granulometría de agregado grueso

| Tamiz | Abertura (mm) | PESO RETENIDO (g) | | | Peso Retenido Promedio (g) | Retenido(%) | Retenido Acumulado (%) | Porcentaje Pasante (%) |
|-------|------------------|-------------------|--------|--------|-------------------------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|
| | | M1 | M2 | M3 | | | | |
| 1" | 24.5 | | | | 0 | 0.00% | 0.00% | 100.00% |
| 3/4" | 19.05 | 265.0 | 191.3 | 270.0 | 242.10 | 4.84% | 4.84% | 95.16% |
| 1/2" | 12.7 | 1995.0 | 2317.5 | 2236.5 | 2183.00 | 43.66% | 48.50% | 51.50% |
| 3/8" | 9.525 | 1310.0 | 1318.7 | 1187.1 | 1271.93 | 25.44% | 73.95% | 26.05% |
| #4 | 4.75 | 1425.0 | 1169.4 | 1298.2 | 1297.53 | 25.95% | 99.90% | 0.10% |
| #8 | 2.36 | | | | | | | |
| fondo | | 5.0 | 3.0 | 7.4 | 5.13 | 0.10% | 100.00% | 0.00% |
| | | 5000 | 4999.9 | 4999.2 | 4999.7 | 100.00% | | |

(Fuente: propia)

**Tabla 2-9: Límites de huso granulométrico huso 67
para agregado grueso**

| Nro de Malla | Abertura (mm) | LIMITES | |
|-----------------|------------------|---------|------|
| | | LI | LS |
| 1" | 24.5 | 100% | 100% |
| 3/4" | 19.05 | 90% | 100% |
| 3/8" | 9.525 | 20% | 55% |
| #4 | 4.75 | 0% | 10% |
| #8 | 2.36 | 0% | 5% |

(Fuente: NTP 400.012)

CURVA GRANULOMÉTRICA AG.GRUESO "CANTERA LA PODEROSA"

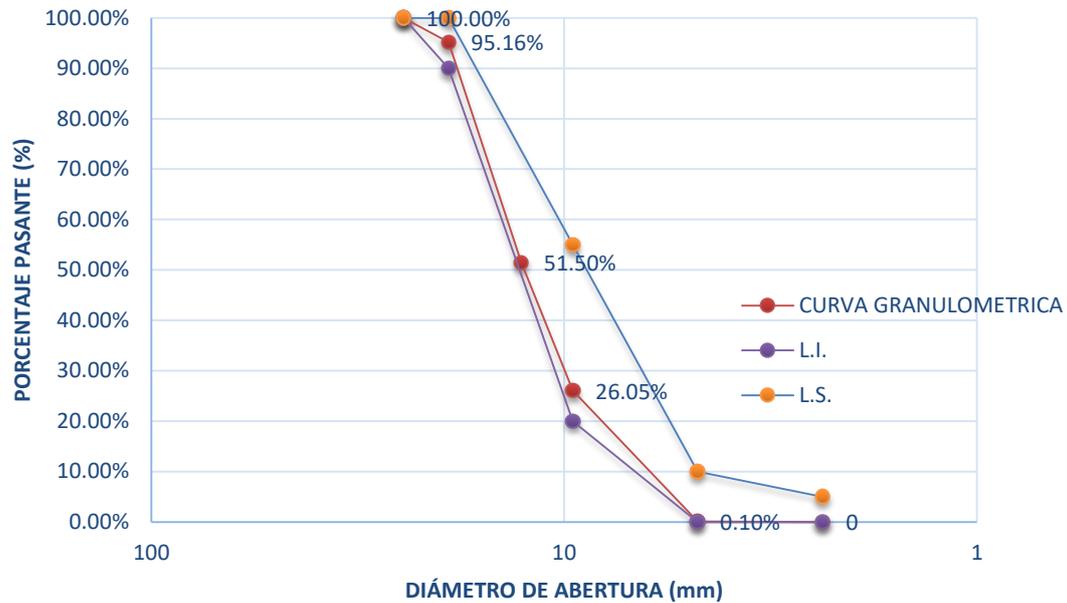


Figura 2-5: Curva granulométrica agregado grueso

(Fuente: propia)

b) GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

Lo estipulado en la NTP 400.012 (2001), establece que la cantidad de muestra de ensayo, será de 300 g mínimo.

De modo similar al agregado grueso se deberá hacer secar la muestra a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Los tamices se han seleccionado buscando también obtener el módulo de fineza del agregado fino, por lo cual describimos los diámetros empleados: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200.

Después de haber pesado la muestra seca correspondiente, procedemos al tamizado, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Tabla 2-10: Granulometría de agregado fino

| Nro de Malla | Abertura (mm) | PESO RETENIDO (g) | | | Peso Retenido Promedio (g) | Retenido(%) | Retenido Acumulado (%) | Porcentaje Pasante (%) |
|--------------|---------------|-------------------|-------|-------|----------------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| | | M1 | M2 | M3 | | | | |
| 3/8" | 9.525 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00% | 0.00% | 100.00% |
| #4 | 4.75 | 1.2 | 0.0 | 0.6 | 0.60 | 0.12% | 0.12% | 99.88% |
| #8 | 2.36 | 44.0 | 43.8 | 43.3 | 43.70 | 8.75% | 8.87% | 91.13% |
| #16 | 1.18 | 102.8 | 97.5 | 99.6 | 99.97 | 20.02% | 28.89% | 71.11% |
| #30 | 0.6 | 140.2 | 134.4 | 138.4 | 137.67 | 27.56% | 56.45% | 43.55% |
| #50 | 0.3 | 108.3 | 111.5 | 109.6 | 109.80 | 21.98% | 78.44% | 21.56% |
| #100 | 0.15 | 57.8 | 62.0 | 59.7 | 59.83 | 11.98% | 90.42% | 9.58% |
| #200 | 0.075 | 31.2 | 31.4 | 31.5 | 31.37 | 6.28% | 96.70% | 3.30% |
| fondo | | 14.3 | 18.9 | 16.3 | 16.50 | 3.30% | 100.00% | 0.00% |
| | | 499.8 | 499.5 | 499 | 499.43 | 100.00% | | |

(Fuente: propia)

Tabla 2-11: Límites granulométricos para agregado fino

| Nro de Malla | Abertura (mm) | LÍMITES | |
|--------------|---------------|---------|------|
| | | LI | LS |
| 3/8" | 9.525 | 100% | 100% |
| #4 | 4.75 | 95% | 100% |
| #8 | 2.36 | 80% | 100% |
| #16 | 1.18 | 50% | 85% |
| #30 | 0.6 | 25% | 60% |
| #50 | 0.3 | 10% | 30% |
| #100 | 0.15 | 2% | 10% |
| #200 | 0.075 | | |

(Fuente: NTP 400.012)

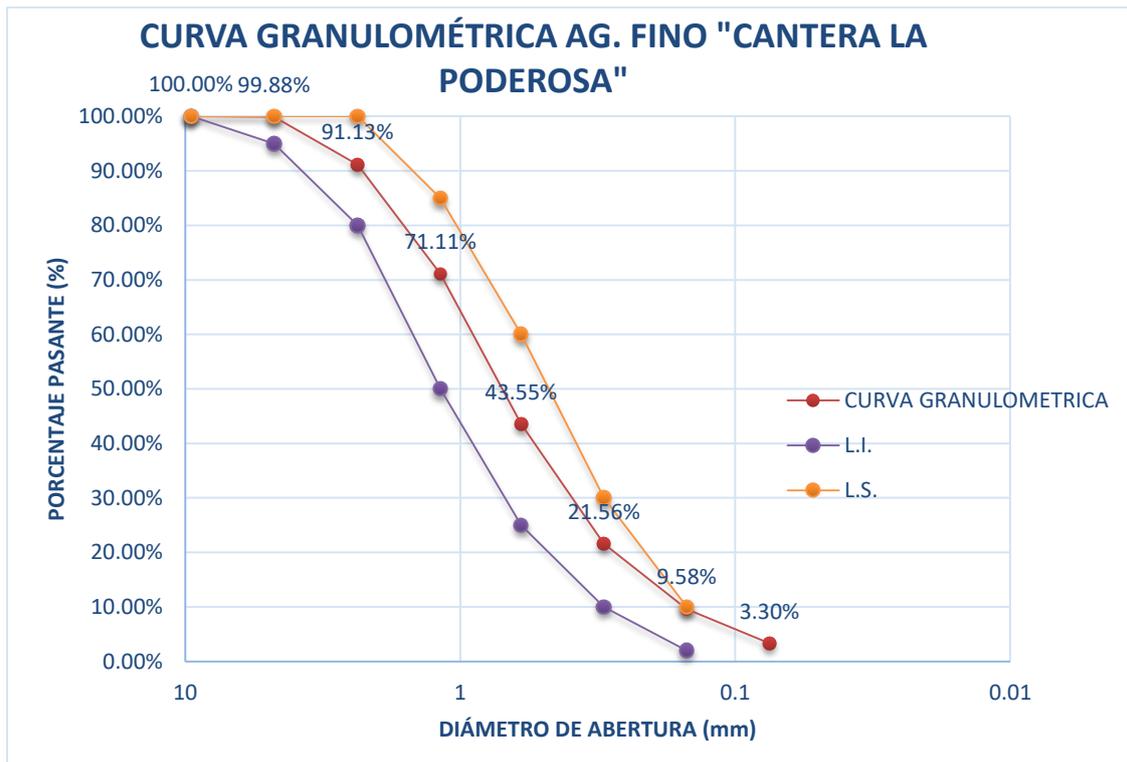


Figura 2-6: Curva granulométrica agregado fino
(Fuente: propia)

2.5.2. MÓDULO DE FINEZA

El módulo de fineza o módulo de finura, nos brinda una idea del grosor de las partículas; un menor módulo de fineza implica un incremento en el área superficial total de los agregados, lo cual será necesario cubrir con pasta.

Para el cálculo del módulo de fineza se sumarán los porcentajes acumulados retenidos y se dividirá entre 100; los tamices a emplear son los siguientes: 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.

Para nuestro caso y con propósito de diseño, se ha calculado el módulo de fineza del agregado fino, dato necesario.

Tabla 2-12: Módulo de fineza del agregado fino

| Nro de Malla | Retenido Acumulado (%) |
|----------------|------------------------|
| #4 | 0.12% |
| #8 | 8.87% |
| #16 | 28.89% |
| #30 | 56.45% |
| #50 | 78.44% |
| #100 | 90.42% |
| MF=2.63 | |

(Fuente: propia)**2.5.3. CONTENIDO DE HUMEDAD**

El contenido de humedad es la relación, entre el peso del agua contenido en un conjunto de partículas (pudiese ser una muestra de suelo, agregado, o material que vaya ser empleado como tal), y el peso seco del mismo conjunto de partículas. Se lo define en porcentaje.

Se procede de la siguiente manera: primero seleccionamos una muestra representativa del material, el cual es depositado en una bandeja y colocado posteriormente secado a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.

El peso final, que ha quedado en el horno, será considerado como el peso seco, y la diferencia de peso debido al agua evaporada, será considerado como el peso del agua.

Se calcula el contenido de humedad, de la siguiente manera:

$$W (\%) = (\text{peso de la muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}) / (\text{peso de la muestra seca})$$

Tabla 2-13: Calculo del contenido de humedad agregado grueso y fino

| | | Wmolde (g) | Wmuestra húmeda+molde (g) | Wmuestra seca+molde (g) | Humedad | Promedio |
|----------------|----|------------|---------------------------|-------------------------|---------|----------|
| AG.FINO | M1 | 848.50 | 1782.30 | 1775.90 | 0.69% | 0.71% |
| | M2 | 437.20 | 1176.60 | 1170.90 | 0.78% | |
| | M3 | 856.00 | 1777.10 | 1771.10 | 0.66% | |

| | | | | | | |
|-------------------|----|-------|--------|--------|-------|-------|
| AG. GRUESO | M4 | 81.00 | 652.90 | 652.00 | 0.16% | 0.18% |
| | M5 | 85.90 | 862.80 | 861.30 | 0.19% | |
| | M6 | 60.90 | 561.30 | 560.30 | 0.20% | |

(Fuente: propia)

2.5.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.

a) PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)

Se define a la condición saturada superficialmente seca como aquella en la que los poros permeables del agregado se encuentran llenos de agua, (debido a un proceso de inmersión previo) pero sin contener agua libre en la superficie de sus partículas.

La NTP 400.021 (2002) lo define de la siguiente manera: “**El peso específico de masa saturado superficialmente seco (SSS)**: Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa del agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas.”

En resumen, el método empleado para calcular el peso específico SSS y la absorción del *agregado grueso*, es descrito según la NTP 400.021(2002) de la siguiente forma

“Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 h aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este método de ensayo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.”

Se calcula de la siguiente manera:

$$Pe_{SSS} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

- B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire
 C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Los datos y cálculos obtenidos para el agregado grueso se detallan conjuntamente con los de absorción en el siguiente apartado.

El resumen del método para calcular el peso específico SSS y la absorción del *agregado fino*, es descrito según la NTP 400.021 (2002) de la siguiente manera: “Una muestra de agregado es retirada en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ para esencialmente llenar los poros. Luego es retirada del agua, el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa se determina de nuevo. Usando los valores de la masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y la absorción.”

Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{PeSSS} = \text{S} / (\text{B} + \text{S} - \text{C})$$

Donde:

S = masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad y la densidad relativa (gravedad específica), o para la absorción con ambos procedimientos), g

B = masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g

C = masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g

Los datos y cálculos obtenidos para el agregado fino se detallan conjuntamente con los de absorción en el apartado siguiente.

b) ABSORCIÓN

La absorción presenta la siguiente definición: “Es el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca... Los valores de absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para cumplir con la mayor parte del potencial de absorción.” NTP 400.022(2002)

Los datos y cálculos obtenidos del presente ensayo para fines de diseño, se muestran a continuación:

Tabla 2-14: Cálculo del peso específico y absorción del agregado fino

| <i>PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO</i> | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| | M1(g) | M2(g) | M3(g) | PROMEDIO |
| P.S.S.S. (Ps) | 500.00 | 500.00 | 500.00 | |
| P.fio+m+agua | 1531.40 | 1581.10 | 988.00 | |
| P.fio+agua | 1222.20 | 1271.90 | 678.20 | |
| P.m seca | 493.70 | 494.00 | 493.70 | |
| <i>P.Esp. S.S.S.</i> | 2.621 | 2.621 | 2.629 | 2.623 |
| <i>P.Esp.</i> | 2.588 | 2.589 | 2.596 | 2.591 |
| <i>Absorcion</i> | 1.28% | 1.21% | 1.28% | 1.26% |

(Fuente: propia)

Tabla 2-15: Cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso

| <i>PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO</i> | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| | M1(g) | M2(g) | M3(g) | PROMEDIO |
| P.S.S.S. (Ps) | 3000.00 | 3000.00 | 3000.00 | |
| P.m.sum (Pi) | 1905.60 | 1908.40 | 1914.20 | |
| P.m.seca (P) | 2975.00 | 2970.00 | 2975.00 | |
| <i>P.Esp. S.S.S.</i> | 2.741 | 2.748 | 2.763 | 2.751 |
| <i>P.Esp.</i> | 2.718 | 2.721 | 2.740 | 2.726 |
| <i>Absorcion</i> | 0.84% | 1.01% | 0.84% | 0.90% |

(Fuente: propia)

2.5.5. PESO UNITARIO SUELTO

El peso unitario suelto se efectuó siguiendo lo estipulado en la NTP 400.017 (2011), de la cual se puede decir que el peso unitario es la relación entre la cantidad de masa por

unidad de volumen pudiendo este darse bajo condiciones de compactación o suelto; para la realización del ensayo en condición de suelto, deberá llenarse el recipiente hasta el reboce, evitando tanto como sea posible la compactación, o segregación del agregado.

Finalmente se nivelará la superficie, se procederá a pesar la cantidad de agregado, y dividirlo entre el volumen del recipiente empleado. (el peso unitario considera los espacios vacíos en la determinación del volumen).

A continuación, presento los datos y cálculos respectivos:

Tabla 2-16: Cálculo del peso unitario suelto del agregado fino

| <i>P.U.SUELTO AGREGADO FINO</i> | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Peso (g) | P.U.S.(g/cm³) | PROMEDIO(g/cm³) |
| P1 (m+molde) | 8815.00 | 1.442 | 1.434 |
| P2 (m+molde) | 8780.00 | 1.431 | |
| P3 (m+molde) | 8770.00 | 1.428 | |

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Masa de Molde(g) | 4285.00 |
| Volumen de Molde (cm ³) | 3140.49 |

(Fuente: propia)

Tabla 2-17: Cálculo del peso unitario suelto del agregado grueso

| <i>P.U.SUELTO AGREGADO GRUESO</i> | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Peso (g) | P.U.S.(g/cm³) | PROMEDIO(g/cm³) |
| P1 (m+molde) | 10885.00 | 1.507 | 1.519 |
| P2 (m+molde) | 10925.00 | 1.518 | |
| P3 (m+molde) | 10970.00 | 1.531 | |

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Masa de Molde(g) | 5580.00 |
| Volumen de Molde (cm ³) | 3520.28 |

(Fuente: propia)

2.5.6. PESO UNITARIO COMPACTADO

Es la relación entre la cantidad de masa por unidad de volumen bajo condiciones de compactación; para poder calcularlo se llena el molde metálico en tres capas, cada capa será compactado aplicando 25 golpes, con una varilla metálica de 5/8", según lo estipulado por la NTP 400.017, finalmente se determina la masa dentro del recipiente y se lo divide entre el volumen respectivo del recipiente (incluyendo los vacíos).

A continuación, presento los datos y cálculos respectivos:

Tabla 2-18: Cálculo del peso unitario compactado del agregado fino

| <i>P.U.COMPACTADO AGREGADO FINO</i> | | | |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Peso (g) | P.U.S.(g/cm³) | PROMEDIO(g/cm³) |
| P1 (m+molde) | 9545.00 | 1.675 | 1.702 |
| P2 (m+molde) | 9670.00 | 1.715 | |
| P3 (m+molde) | 9675.00 | 1.716 | |

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Masa de Molde(g) | 4285.00 |
| Volumen de Molde (cm ³) | 3140.49 |

(Fuente: propia)

Tabla 2-19: Cálculo del peso unitario compactado del agregado grueso

| <i>P.U.COMPACTADO AGREGADO GRUESO</i> | | | |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Peso (g) | P.U.S.(g/cm³) | PROMEDIO(g/cm³) |
| P1 (m+molde) | 11210.00 | 1.599 | 1.606 |
| P2 (m+molde) | 11225.00 | 1.604 | |
| P3 (m+molde) | 11270.00 | 1.616 | |

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Masa de Molde(g) | 5580.00 |
| Volumen de Molde (cm ³) | 3520.28 |

(Fuente: propia)

A continuación, presento el cuadro resumen de las propiedades de los agregados:

Tabla 2-20: Resumen de las propiedades de los agregados

| PROPIEDADES | Agr. Fino | Agr. Grueso | |
|-------------------------|-----------|-------------|--------------------|
| Peso Específico | 2.591 | 2.726 | |
| Contenido de Humedad | 0.71% | 0.18% | % |
| Porcentaje de Absorción | 1.26% | 0.90% | % |
| Peso Unitario Suelto | 1.434 | 1.519 | gr/cm ³ |
| Peso unitario Varillado | 1.702 | 1.606 | gr/cm ³ |
| Módulo de Fineza | 2.632 | - | |
| Pasante Malla #200 | 3.30% | - | % |

(Fuente: propia)

2.6. DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas consiste en emplear los conocimientos técnicos y prácticos de los elementos que conforman el concreto y la interacción entre ellos, para obtener una mezcla que satisfaga las necesidades del proyecto en particular, pudiendo ser estos requisitos estructurales y/o de durabilidad.

Generalmente se piensa que el diseño de mezclas, tiene como culmen la obtención del $f'c$, no obstante, si bien este valor se lleva gran parte del crédito, se ha de tomar conciencia que la resistencia a la compresión es solo una de las propiedades del concreto. Si no consideramos las otras propiedades o comportamiento del concreto que queremos conseguir habremos fracasado en el diseño.

Otra idea equívoca que poseemos es la de asumir que el diseño de mezclas es un proceso sistemático de pasos y tablas que dan resultados exitosos para todo tipo de concretos normales, cuando no es así.

El diseño de mezcla implica considerar los factores que nos plantea el entorno tales como: condiciones ambientales, procedimiento constructivo, requisitos estructurales.

Hay que tener en cuenta lo dicho por *Pasquel (1998)*: “Existen en la actualidad una serie de métodos de diseño de mezclas que con mayor o menor refinamiento establecen tablas y/o gráficos para estimar cantidades de agua de amasado en función del tamaño máximo, geometría del agregado y el asentamiento; relaciones Agua/cemento a usar referidas a resistencias en compresión determinadas experimentalmente; las proporciones en que deben intervenir la piedra y la arena en base a gradaciones y consideraciones teóricas y/o

prácticas etc. Ante este panorama, hay que tener muy claro que no existe ningún método perfecto, ni que nos proporcione una receta infalible para solucionar todos los casos prácticos, por lo que las bondades de un método sobre otro residen finalmente en el criterio personal de quien los aplique, y los resultados que cada profesional con su conocimiento técnico y experiencia obtenga en obra.”

Abordaremos este tema con mayor amplitud y detalle en el capítulo tercero de la presente tesis.

CAPÍTULO 3

CURADO Y METODOLOGÍAS DE APLICACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

Para dar culmen al diseño previsto, hemos de aplicar el curado correspondiente al concreto, con la finalidad de obtener las propiedades deseadas.

Como bien sabemos, el objeto del curado es completar el proceso de hidratación del cemento, a través del cual obtenemos los productos resultantes que ocuparan los vacíos dentro de la pasta de concreto.

Estas reacciones tienen su auge dentro de los primeros 7 días, tiempo en el cual el concreto alcanza alrededor del 70% de la resistencia a la compresión (el cual es la propiedad más significativa del concreto, no obstante, tenemos también otras de importancia).

La durabilidad por ejemplo es una de las propiedades tanto o incluso más deseadas que la misma compresión; he también de mencionar la resistencia a la tracción de cual Ottazzi (2011), afirma lo siguiente: “Es importante ya que la resistencia al corte del concreto, la adherencia entre el concreto y el acero y la fisuración por retracción y temperatura, dependen mucho de esta... el comportamiento de los elementos de concreto armado bajo cargas de servicio (fisuración y deflexiones por flexión) es fuertemente dependiente de la resistencia a tracción del concreto. Además, existen situaciones en las cuales el diseño del concreto se realiza en estado elástico y está controlado por la resistencia en tracción del concreto, como por ejemplo en cimentaciones sin armar, estanques o reservorios impermeables, pavimentos.”

Estas propiedades antes mencionadas mejoran sus características o potencial en la medida en que se elaboró un buen diseño, se controló las diferentes etapas y se le aplicó el curado respectivo.

He de hacer mención al término “curado activo” que menciona Neville, el cual hace referencia a los procesos externos que se le pudiesen aplicar al concreto para completar el proceso de hidratación del cemento.

“En el caso del concreto en obra, el curado activo se detiene casi siempre mucho antes de que haya ocurrido la máxima hidratación posible” (Neville,1998); esta misma realidad nosotros la evidenciamos en gran parte de las obras de nuestro país.

Ante esta situación que ya fue prevista años atrás, se han desarrollado diferentes métodos de curado, los cuales tienen resultados satisfactorios si son llevados adecuadamente.

Haciendo hincapié en los factores que influyen considerablemente en el curado del concreto, tenemos los siguientes: La temperatura del ambiente, la humedad relativa y la velocidad del viento; son justamente estos aspectos los que hacen que las eficiencias de los métodos de curado, se comporten de diferente forma, en las diferentes localidades.

3.2. CURADO DEL CONCRETO

3.2.1. DEFINICION

“Es el nombre que se da a los procedimientos utilizados para promover la hidratación del cemento; consiste en un control de temperatura y en el movimiento de humedad, a partir de la superficie, hacia dentro del concreto.” (Neville,1998)

El ACI 308 R, lo define de la siguiente forma: “Es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor”

3.3.INFLUENCIA DEL CURADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA DURABILIDAD

3.3.1. INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Rivva López (2010) nos comparte lo siguiente “Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidrato de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional principalmente dependen del gel del hidrato de silicato de calcio.

(...) En la pasta de cemento ya hidratada estas partículas (gel del hidrato de silicato de calcio) forman uniones entrelazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar, agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es el responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de la resistencia.”

Podemos deducir de los párrafos citados que para que el concreto como tal desarrolle eficientemente sus propiedades mecánicas (unas en mayor grado que otras), es necesario que se forme el producto: gel del hidrato de silicato de calcio.

Para la formación de este compuesto es necesario mantener el ambiente interno, lo más saturado o húmedo como sea posible, ya sea inhibiendo la pérdida de humedad del elemento, o adicionando agua por alguna de las metodologías de curado que más adelante se detallaran.

Cabe resaltar que la velocidad de hidratación del cemento va disminuyendo con el paso del tiempo, por ende, es necesario mantener al elemento curando, tan pronto como termina su etapa de fragua.

Neville (1998) acerca del curado menciona lo siguiente: “El efecto del curado inadecuado sobre la resistencia es mayor a relaciones agua/cemento más altas y también es mayor en concretos con una rapidez baja de desarrollo de resistencia. Por lo tanto, la resistencia de concretos hechos con cemento portland ordinario (tipo I) es más afectada por un curado pobre. Igualmente, los concreto que contienen ceniza volante o escoria molida granulada de alto horno son más afectados que los concretos hechos únicamente con cemento portland.

Debe destacarse que, para un desarrollo satisfactorio de resistencia, no es necesario que todo el cemento se hidrate y en realidad, esto se logra solo raramente en la práctica... la calidad del concreto depende principalmente de la relación gel/ espacio de la pasta.”

3.3.2. INFLUENCIA EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

Neville (1998), señaló que la el concreto que se halla a profundidad, difícilmente estará sujeto al movimiento o pérdida de humedad, indica además que este movimiento de humedad está presente típicamente hasta 30 mm de profundidad y ocasionalmente hasta 50 mm.

Del enunciado anterior podemos concluir, que para el caso del concreto armado, esta distancia representa generalmente la totalidad del ancho del recubrimiento, no viéndose afectado por el curado la parte interior estructural (no obstante, se tendrá especial cuidado en edificios de ductilidad limitada, que, por el delgado espesor de sus elementos indica generalmente recubrimientos del orden de 2 cm; en tal caso se vería comprometido hablando en términos de propiedades mecánicas, la parte interior del elemento estructural).

Por este motivo, usualmente se le resta importancia al curado, en lo referente a la resistencia estructural; olvidándonos muchas veces de la importancia de la durabilidad del concreto, la cual se ve más comprometida en zonas con condiciones climáticas agresivas.

Es justamente, la zona de recubrimiento, la que está más influenciada por el curado, y la que se verá también afectada por el intemperismo, carbonatación y abrasión.

La permeabilidad del concreto de esta zona tiene también gran influencia en la protección contra la corrosión del acero estructural.

Una baja permeabilidad, en términos sencillos se consigue logrando un eficiente proceso de hidratación del cemento, para lo cual se debe aplicar un correcto curado del concreto previendo las condiciones particulares de cada zona.

“Se encontró que una reducción en la humedad relativa del ambiente de 100 a 94 por ciento incrementa en forma importante la capacidad de absorción de agua del concreto, esto es un indicio de la extensión del sistema continuo de vacíos grandes del concreto. Se mostró que el curado a una humedad relativa exterior debajo de aproximadamente 80 por ciento da por resultado un gran incremento en el volumen de vacíos mayores de 37 nm, los cuales tienen importancia para la durabilidad del concreto” (Neville, 1998)

3.4. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD Y VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL CURADO

Powers, presento un gráfico de la cual se concluye que la hidratación del cemento se ve reducida severamente en ambientes con humedad relativa menor al 80%, y es insignificante en aquellos que la misma decae por debajo del 30%.

De esta idea se puede concluir que el estado ideal para que el concreto logre el potencial total de hidratación sería en uno completamente saturado.

Sin embargo, con un mínimo de 80% la hidratación puede continuar y llevarse a cabo exitosamente, no obstante, este supuesto sería válido si y solo si, no intervinieran las variables de velocidad del viento y la temperatura exterior, incluso la radiación solar y la variación de temperatura entre el concreto y el exterior son también factores que influyen en el curado.

Incluso, aunque en algunas partes del mundo existen zonas con humedades relativas de al menos 80%, estas no se mantienen las 24 horas del día, ni tampoco las variables anteriores.

Son por estos motivos, que el término “curado natural” o “curado al ambiente” son términos infundados y poseen duda sobre su grado de éxito.

“La prevención de la pérdida de agua que proviene del concreto es importante no solo porque afecta adversamente el desarrollo de resistencia, sino también porque conduce a contracción plástica, permeabilidad mayor y resistencia a la abrasión menor.”
(Neville,1998)

A continuación, se muestra los gráficos de las variables que influyen en el grado de éxito del curado:

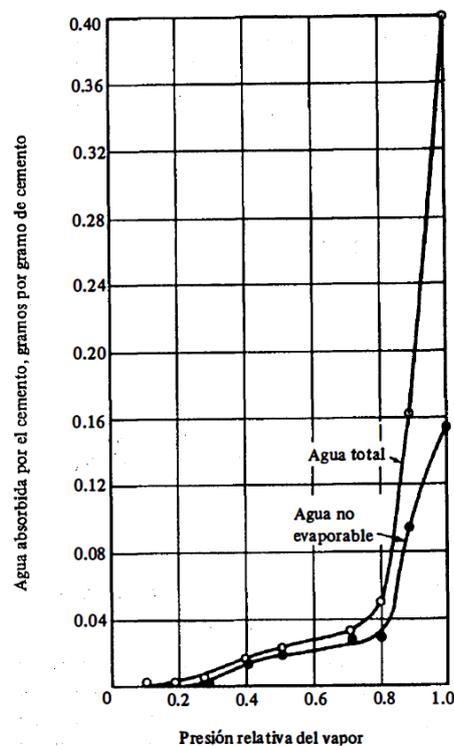


Figura 3-1: Agua absorbida por cemento seco expuesto durante seis meses a diferentes presiones de vapor
(Fuente: Neville,1998)

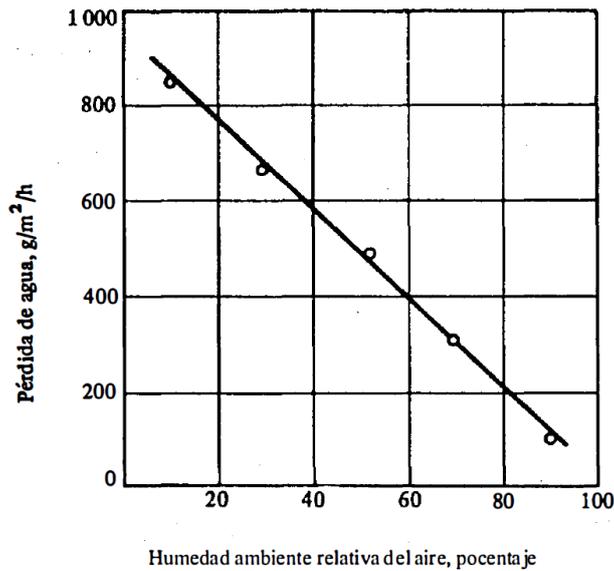


Figura 3-2: Influencia de la humedad relativa del aire en la pérdida de agua del concreto en las etapas tempranas después del colado (temperatura ambiente 21 °C; velocidad del viento 4.5 m/s)
(Fuente: Neville,1998)

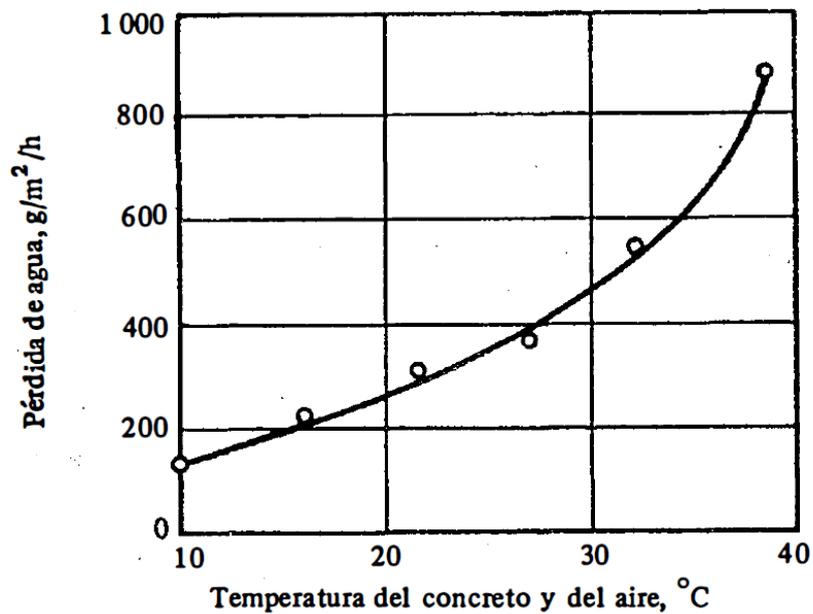


Figura 3-3: Influencia de la temperatura del ambiente y del concreto en la pérdida de agua del concreto en las etapas tempranas iniciales del colado (humedad relativa ambiental 70 por ciento, velocidad del viento 4.5 m/s)
(Fuente: Neville,1998)

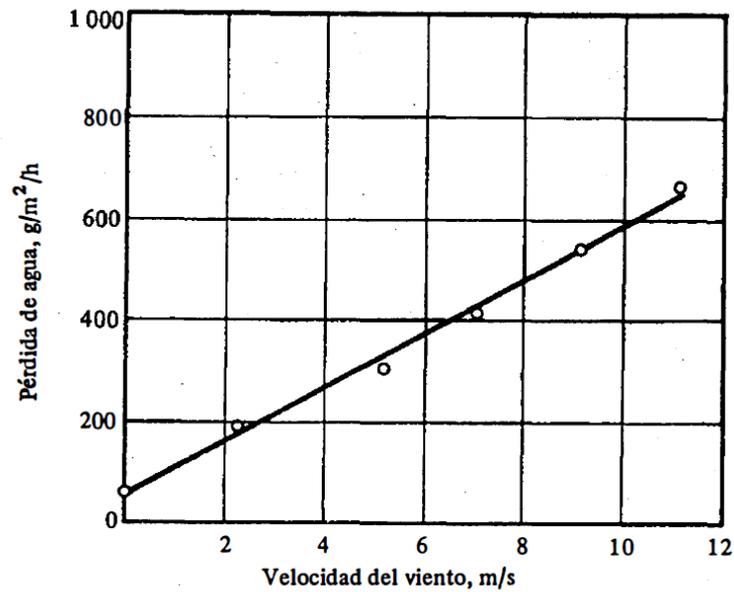


Figura 3-4: Influencia de la velocidad del viento en la pérdida de agua del concreto en las etapas iniciales después del colado (humedad relativa ambiental 70 por ciento, temperatura 21 °C)
(Fuente: Neville,1998)

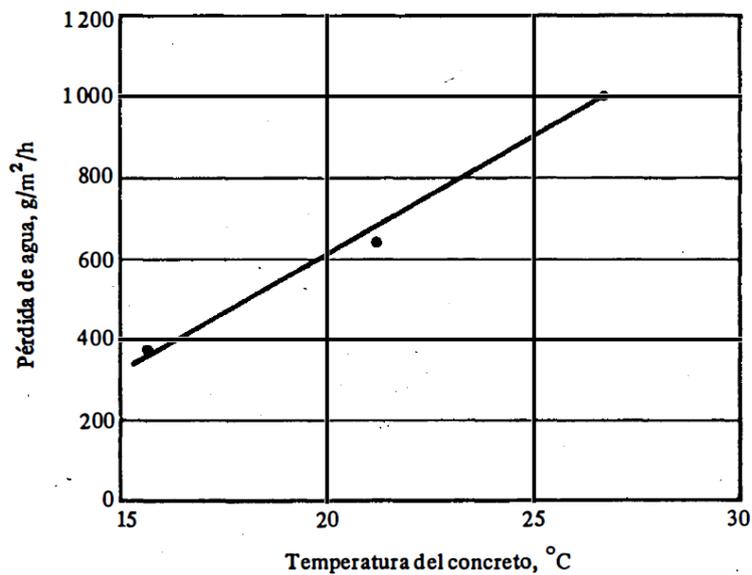


Figura 3-5: Influencia de la temperatura del concreto (a una temperatura ambiente de 4.5 °C) en la pérdida de agua del concreto en las etapas tempranas después del colado (humedad relativa ambiental 100 por ciento, velocidad del viento 4.5 m/s)
Fuente: Neville (1998)

Como hemos podido ver, son estos factores los que influyen en modo preponderante para de un modo u otro favorecer o disminuir la pérdida de agua, que tiene relación directa con el mecanismo del curado.

Otra idea que deriva de los apartados anteriores, es que “para que continúe la hidratación del cemento, es suficiente prevenir la pérdida de humedad del concreto.” (Neville, 1998), pero nosotros hemos de saber que esta afirmación propuesta es válida en los casos en que la relación agua cemento sea alta.

Debemos de tener claros las siguientes ideas:

- El proceso de hidratación se realiza en poros capilares repletos de agua (saturado completamente)
- Existe un porcentaje de agua que se pierde internamente por auto desecación, como consecuencia de las reacciones químicas de los procesos de hidratación del cemento, podría también ser contrarrestado por ingreso de agua.
- La hidratación de un elemento sellado (que no permite la pérdida ni entrada de humedad), podrá continuar normalmente si el agua presente en la pasta el mínimo dos veces el agua combinada.

De estos enunciados, podemos concluir que existen dos necesidades de curado, aquellos en los que se requiere solo prevenir la pérdida de agua, y aquellos en los que es necesario el ingreso de humedad; el límite divisorio señala Powers es una relación agua cemento 0.50.

3.5. CLIMA EN AREQUIPA

“El clima a lo largo de todo el departamento es muy variable, la temperatura promedio es de 21°C. En la costa es templado nuboso y con gran aridez, permitiendo la existencia de desierto que a veces se ven interrumpidos por valles formados por los ríos, cuyas aguas llegan desde la región interandina. Las provincias con este clima son Camaná, Islay y Caravelí. A mayor altitud el clima es frío y muy seco, con fuertes variaciones de temperatura entre el día y la noche, frecuencia de heladas, presencia de hielo y granizo, este es el caso de algunas zonas de las provincias de La Unión y Caylloma.

También existe el clima frío de alta montaña cuyas características se acentúan notablemente debido a la sequedad de la atmósfera, este clima se presenta generalmente en las provincias de Arequipa, Condesuyos, Castilla, Caylloma y La Unión. Existen también numerosas cumbres nevadas, donde el hielo y las nieves persisten a lo largo de todo el año, es la zona de clima glaciario, donde las temperaturas son constantemente

negativos, este clima se presenta en las zonas más altas de las provincias de La Unión y Caylloma.” (*Consejo Nacional del Ambiente,2005*)

El clima de la ciudad de Arequipa, donde nos encontramos realizando la presente tesis, “corresponde al modelo de “clima continental” semidesértico. Las temperaturas oscilan entre 10°C y 25°C. La precipitación pluvial promedio en la costa es de 3,48 mm anuales y en la sierra es de 39.03 mm. Su clima es seco por la baja humedad relativa, que se acentúa en los meses de marzo a noviembre; la humedad relativa máxima es de 78% y la mínima es de 22%. La velocidad promedio de viento en la ciudad de Arequipa es de 3,5 m/s, sin embargo, se han registrado ventarrones con velocidades de hasta 15.3 m/s.” (*Consejo Nacional del Ambiente,2005*)

3.5.1. TEMPERATURA

En la ciudad de Arequipa, para el 2017, el mes con temperatura más alta es octubre (23.2°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (6.9°C); existe también una gran variación diaria, sin embargo, la variación anual como se evidencia en la gráfica no es significativa por lo que da un clima moderado durante la mayor parte del año.

Tabla 3-1: Temperatura máxima promedio mensual Arequipa 2015-2017

| TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO MENSUAL AREQUIPA 2015-2017 (°C) | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| 2015 | 23.9 | 20.9 | 21.4 | 22.9 | 23.3 | 24.6 | 23.9 | 24.9 | 25.4 | 25.7 | 25.9 | 26.6 |
| 2016 | 25.8 | 24.6 | 25.2 | 24.7 | 25.8 | 24.4 | 25.1 | 24.9 | 24.8 | 25.2 | 24.9 | 24.3 |
| 2017 | 22.1 | 22.1 | 22.3 | 22.8 | 22.8 | 22.8 | 22.6 | 22.9 | 23.1 | 23.2 | 23.0 | 22.6 |

(Fuente: SENAMHI,2017)

Tabla 3-2: Temperatura mínima promedio mensual Arequipa 2015-2017

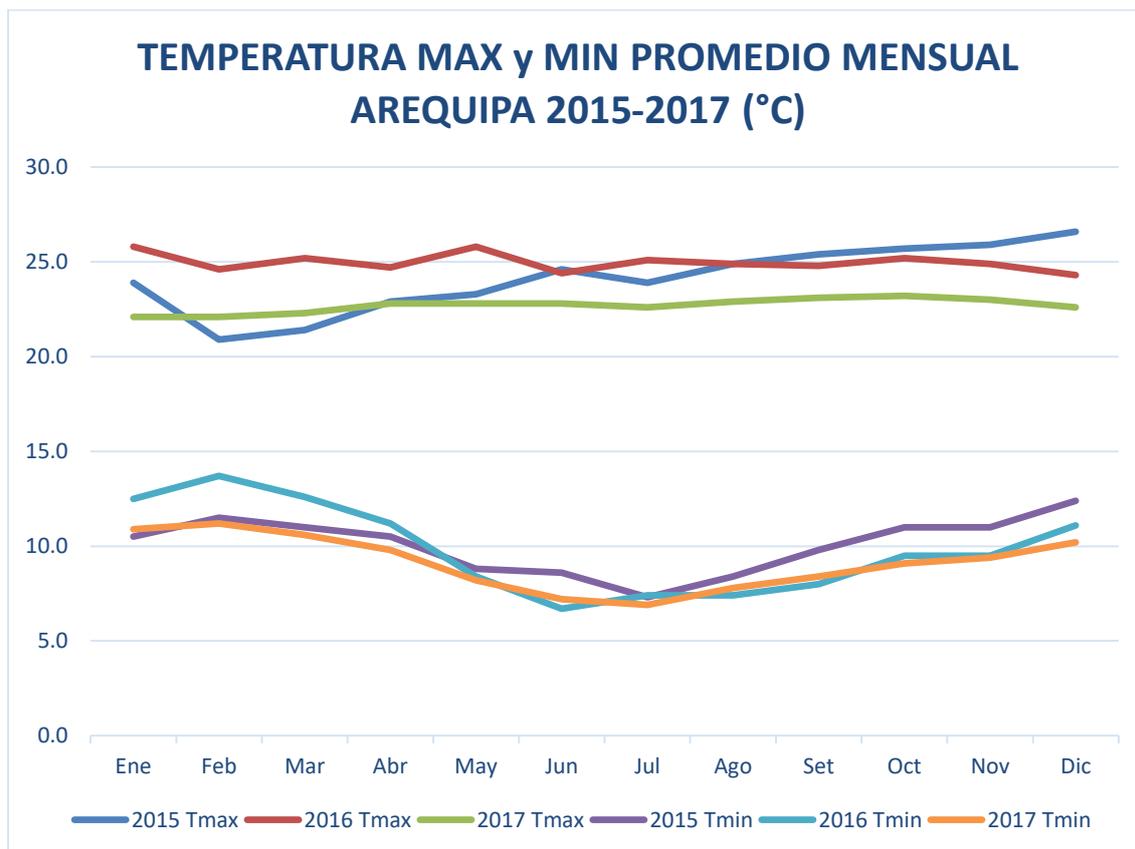
| TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO MENSUAL AREQUIPA 2015-2017 (°C) | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| 2015 | 10.5 | 11.5 | 11.0 | 10.5 | 8.8 | 8.6 | 7.3 | 8.4 | 9.8 | 11.0 | 11.0 | 12.4 |
| 2016 | 12.5 | 13.7 | 12.6 | 11.2 | 8.4 | 6.7 | 7.4 | 7.4 | 8.0 | 9.5 | 9.5 | 11.1 |
| 2017 | 10.9 | 11.2 | 10.6 | 9.8 | 8.2 | 7.2 | 6.9 | 7.8 | 8.4 | 9.1 | 9.4 | 10.2 |

(Fuente: SENAMHI,2017)

Tabla 3-3: Temperatura promedio mensual Arequipa 2015-2016

| TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL AREQUIPA 2015-2016 (°C) | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| 2015 | 17.5 | 15.6 | 15.9 | 16.7 | 15.8 | 16.6 | 15.3 | 16.8 | 17.8 | 18.7 | 18.8 | 19.5 |
| 2016 | 18.8 | 18.5 | 18.4 | 17.8 | 16.8 | 15.3 | 15.8 | 16.0 | 17.0 | 17.8 | 17.9 | 17.7 |

(Fuente: SENAMHI,2017)

**Figura 3-6: Temperatura máxima y mínima promedio mensual
Arequipa (2015-2017)**

(Fuente: SENAMHI, 2017)

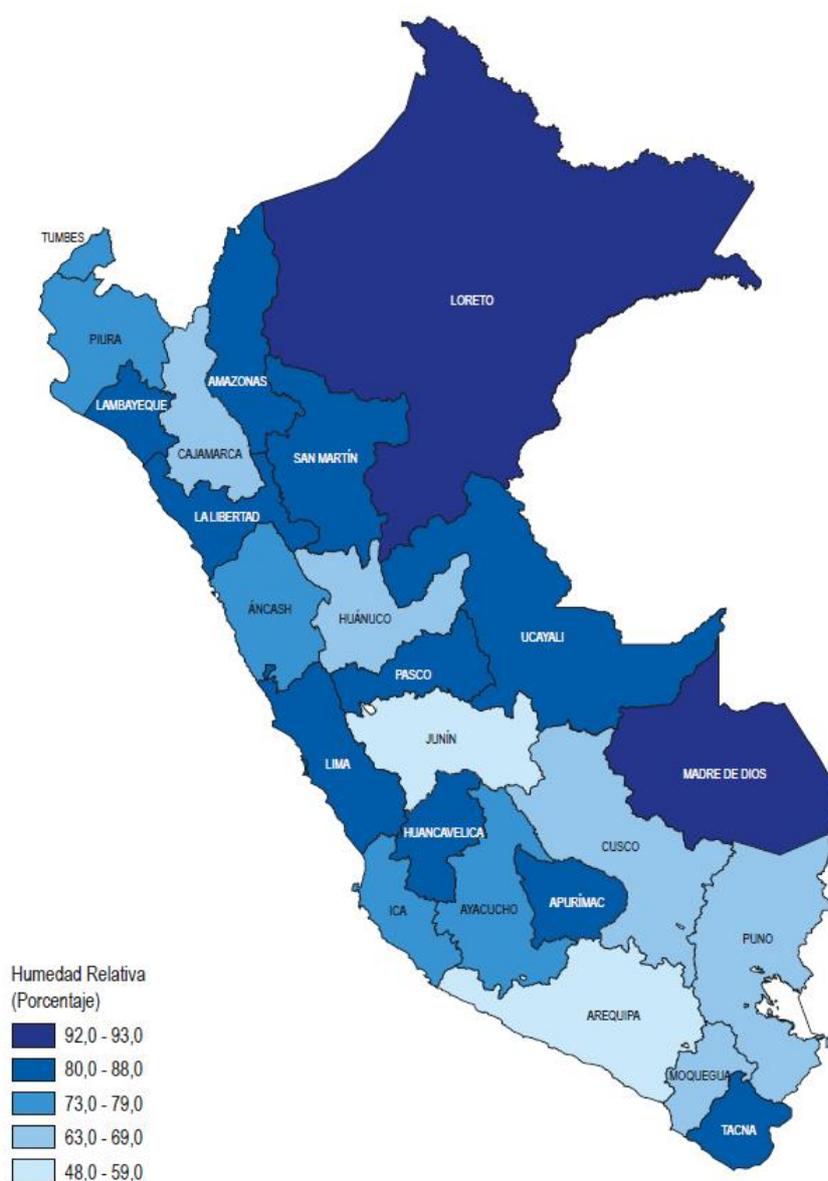
3.5.2. HUMEDAD RELATIVA

La ciudad de Arequipa, tiene una humedad relativa anual que oscila alrededor del 50%, se debe destacar además que nuestra ciudad, es el departamento con más baja humedad relativa anual del Perú.

Tabla 3-4: Humedad relativa promedio anual Arequipa 2002-2016

| HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ANUAL, AREQUIPA, 2002-2016 (PORCENTAJE) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Depart | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | PROM |
| AQP | 41 | 41 | 51 | 53 | 56 | 58 | 52 | 57 | 47 | 50 | 54 | 51 | 49 | 48 | 47 | 50 |

(Fuente: SENAMHI, 2017)

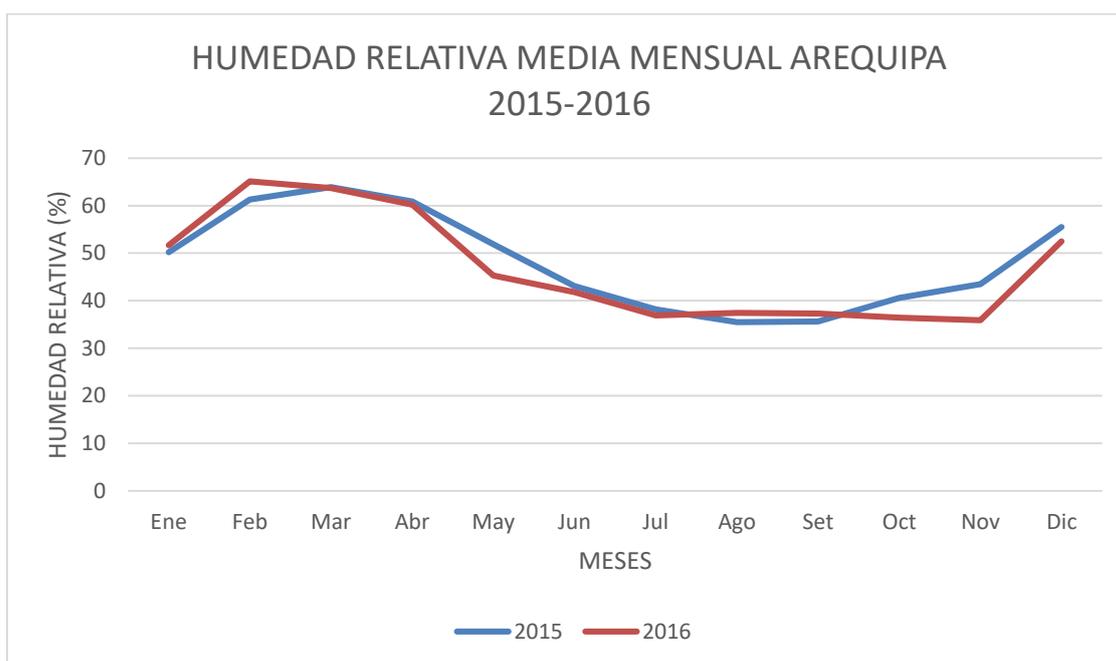
**Figura 3-7: Perú: humedad relativa promedio anual, según departamento, 2015**

(Fuente: SENAMHI, 2015)

Tabla 3-5: Humedad relativa media mensual Arequipa 2015-2016

| HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL AREQUIPA, 2015-2016 (PORCENTAJE) | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| AREQUIPA | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| 2015 | 50 | 61 | 64 | 61 | 52 | 43 | 38 | 36 | 36 | 41 | 44 | 56 |
| 2016 | 52 | 65 | 64 | 60 | 45 | 42 | 37 | 37 | 37 | 36 | 36 | 53 |

(Fuente: SENAMHI, 2016)

**Figura 3-8: Humedad relativa media mensual Arequipa 2015-2016**

(Fuente: SENAMHI, 2016)

La humedad relativa mensual, es mayor en los meses de verano, siendo el mes en que alcanza el mayor valor el de febrero, y entre julio a noviembre alcanza los menores valores del orden del 36%.

3.5.3. RADIACIÓN SOLAR

El nivel de radiación solar de la ciudad de Arequipa es uno de los más elevados en el Perú, asimismo Perú ha sido registrado como el segundo país después de Chile, en percibir una mayor radiación solar; esto se debe también a la influencia y cercanía con el desierto de Atacama.

La intensidad promedio que se recibe es de 720 Kcal/m²/hora.

3.5.4. PRECIPITACIONES PLUVIALES

Las precipitaciones son de carácter estacionario, se dan generalmente y con mayor intensidad en los meses de enero, febrero y marzo.

La poca o nula lluvia durante el resto del año configura a Arequipa con una atmosfera seca y cielo despejado.

Tabla 3-6: Precipitaciones totales por mes (mm/mes)

| PRECIPITACIONES TOTALES POR MES (mm/mes) | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Arequipa | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| 2015 | 14 | 103 | 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2016 | 0 | 53 | 1 | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2017 | 21 | 28 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 |

(Fuente: SENAMHI, 2017)

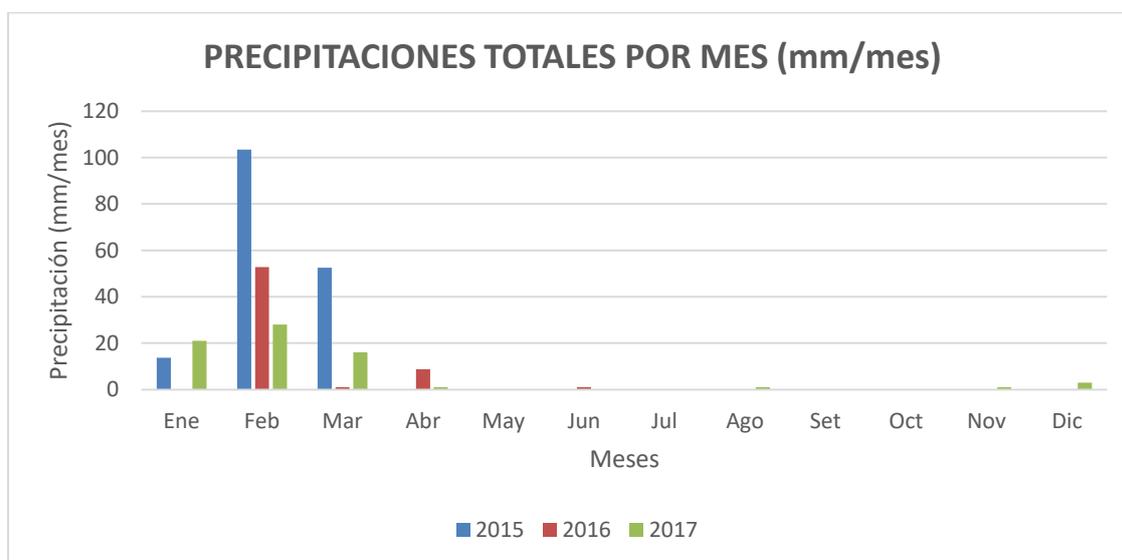


Figura 3-9: Precipitaciones totales por mes (mm/mes)

(Fuente: SENAMHI, 2017)

3.5.5. VIENTOS

“La ciudad de Arequipa está influenciada por sistema de vientos locales y por el paso de sistemas frontales de baja presión atmosférica, cuya variación está condicionada por la configuración topográfica que rodea al valle donde se halla la ciudad. La ocurrencia de los vientos en horas de la noche y primeras horas del día presenta Brisas de Montaña con

una dirección predominante del NE y en el transcurso del día Brisas de Valle con dirección predominante oeste sur oeste.” (*Consejo Nacional del Ambiente, 2005*)

Para el año 2016, se obtuvo una velocidad promedio mensual de 4.3 m/s la cual se mantiene en gran parte del año, sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, se han registrado ventarrones de hasta 15.3 m/s

Tabla 3-7: Velocidad promedio mensual del viento Arequipa 2016

| VELOCIDAD PROMEDIO MENSUAL DEL VIENTO (m/seg) | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Arequipa | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| 2016 | 3.5 | 4.3 | 4.5 | 4.5 | 4.4 | 4.3 | 3.2 | 4.0 | 4.3 | 4.4 | 4.9 | 4.9 |

(Fuente: SENAMHI, 2016)

Tabla 3-8: Dirección promedio mensual del viento Arequipa 2016

| DIRECCIÓN PREPONDERANTE | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Arequipa | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| 2016 | SW | SW | SW | SW | SW | SW | W | W | SW | SW | SW | SW |

SW: SUR OESTE

(Fuente: SENAMHI, 2016)

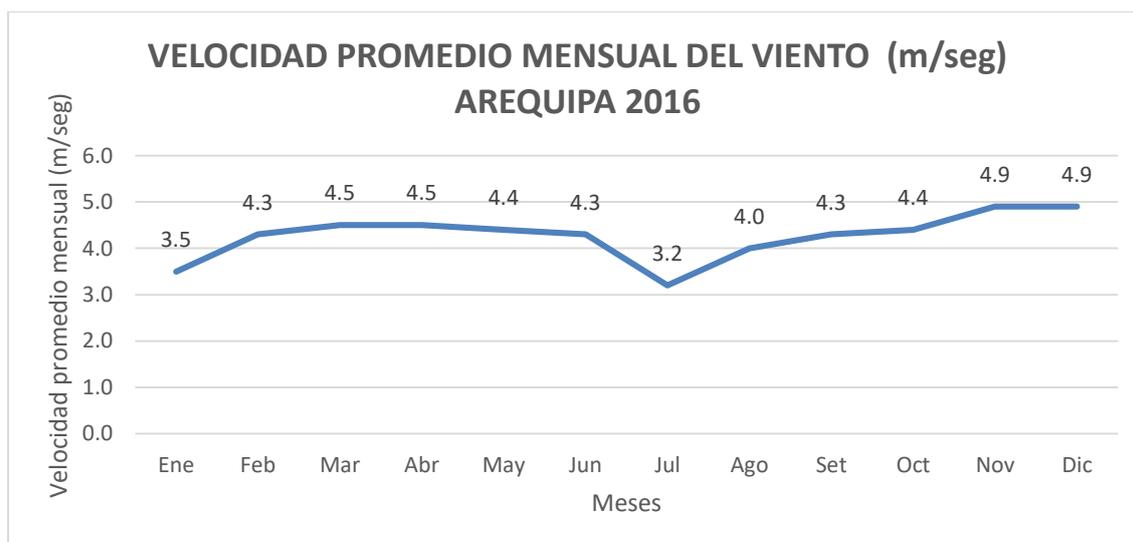


Figura 3-10: Velocidad promedio mensual del viento Arequipa 2016

(Fuente: SENAMHI, 2016)

Las velocidades del viento son también variables durante las diferentes horas del día, aumentando considerablemente desde las 11 a 17 horas, tal como se puede observar en el siguiente gráfico

El valor pico lo alcanza a las 13.00 horas con ligeras variaciones de tiempo.

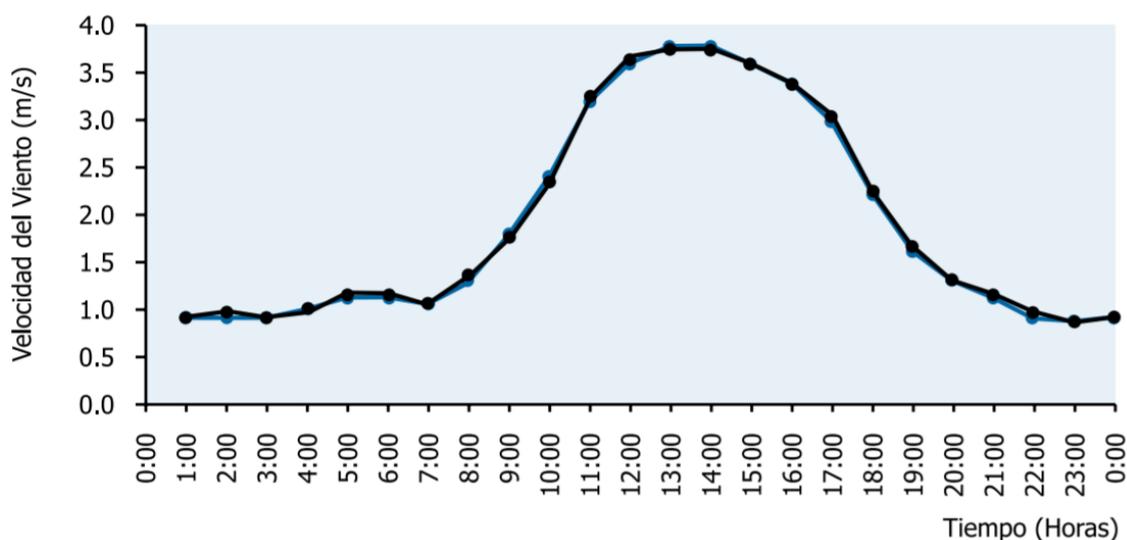


Figura 3-11: Comparativo de velocidad de viento para un día promedio anual 2000-2001

(Fuente: SENAMHI, 2001)

3.5.6. ASOLEAMIENTO

Actualmente en la base de datos del SENAMHI contamos con datos disponibles hasta mediados del año 2015; a continuación, presentare las horas sol por mes y horas sol día del año 2014.

Tabla 3-9: Horas sol año Arequipa 2004-2014

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Horas Sol año | 3503.0 | 3436.4 | 3334.8 | 3388.0 | 3333.7 | 3360.4 | 3462.4 | 3256.7 | 3133.1 | 3132.8 | 3126.9 |
| Horas Sol día promedio | 9.60 | 9.41 | 9.14 | 9.28 | 9.13 | 9.21 | 9.49 | 8.92 | 8.58 | 8.58 | 8.57 |

(Fuente: SENAMHI, 2014)

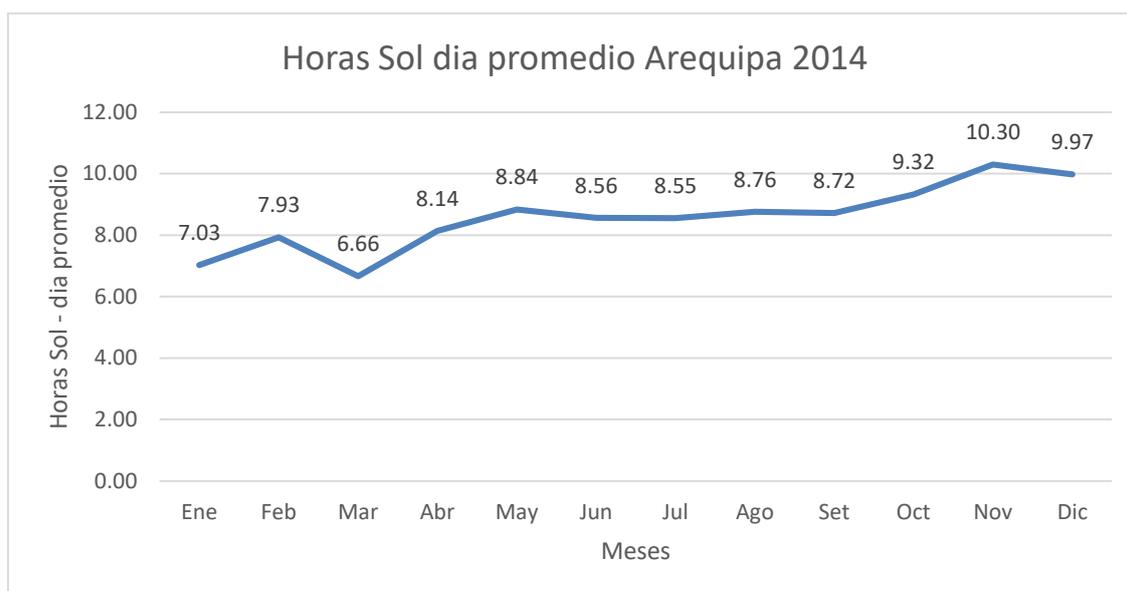
Tabla 3-10: Horas sol mes Arequipa 2014

| Arequipa | 2014 | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
| Horas Sol Mes | 217.9 | 222.1 | 206.6 | 244.2 | 273.9 | 256.9 | 265.0 | 271.5 | 261.7 | 289.0 | 308.9 | 309.2 |
| Horas Sol día | 7.0 | 7.9 | 6.7 | 8.1 | 8.8 | 8.6 | 8.5 | 8.8 | 8.7 | 9.3 | 10.3 | 10.0 |

(Fuente: SENAMHI, 2014)

El promedio horas sol durante el día es de 8.57 horas/día para el año 2014, el cual es constante la mayor parte del año, teniendo sus descensos en los meses de verano (enero, febrero y marzo) situación que es propiciada por la “baja latitud, la altura, la poca humedad y el clima árido sin nubosidad.

El promedio hora sol día alcanza sus máximos valores en los meses finales, tales como son octubre, noviembre y diciembre.

**Figura 3-12: Horas sol día promedio Arequipa 2014**

(Fuente: SENAMHI, 2014)

3.6. TIPOS DE CURADO

Como hemos podido ver anteriormente la finalidad de la metodología de curado es lograr que el cemento alcance todo su potencial de hidratación, logrando así la menor cantidad de poros en el concreto (mientras menos porosa sea una estructura de concreto, más durable y resistente será esta).

El requerimiento y la metodología de curado a aplicar, depende en sí de varios factores, los cuales deben analizarse cuidadosamente; estos factores son: el grosor del elemento estructural (masivo o laminar), el tipo de cemento, las condiciones climáticas de la zona o el microclima que se haya generado en tal lugar, las condiciones de servicio, los requisitos de durabilidad, la agresividad del entorno.

Según el análisis de estos factores, podrá ser necesario en algunos casos, elaborar condiciones que impidan la evaporación prematura del agua, la cual comienza ya desde el momento de transporte, para su posterior colocación.

“Esto nos permite llegar a una primera conclusión: No todas las estructuras se curan igual. Así que el curado de una estructura de concreto reforzado, en un lugar definido, bajo unas condiciones ambientales reinantes específicas, con el tipo de material a emplear (tipo de cemento, relación agua/material cementante) y con unas especificaciones del proyectista en cuanto a resistencia (forma como debe evolucionar, nivel máximo a alcanzar) y durabilidad (vida útil requerida, grado de permeabilidad) resistencia al ingreso de sustancias dañinas, máxima amplitud de fisura) dadas, es una actividad que debe diseñarse.

Incluso, si la estructura va a recibir un recubrimiento especial (pintura, recubrimiento epóxico) o se va a enchapar, puede ser necesario estudiar la conveniencia de usar curadores que dejen residuos sobre la superficie que impidan la adherencia de posteriores recubrimientos, o definir el método que se va a emplear para retirarlos.” (*Sika Informaciones Técnicas, 2009*)

Para lograr que el cemento logre la hidratación deseada, existen dos sistemas de curados:

- Aplicación de curado con agua (curado húmedo)
- Aplicación de curado con membrana

3.6.1. CURADO CON AGUA

Este primer sistema de curado consiste en adicionar agua por un determinado tiempo a través de algún procedimiento, la cual será absorbida por el concreto.

- **INMERSIÓN**

Este tipo de curado es el menos práctico para realizarse en obra, consiste en sumergir totalmente al elemento que se desea curar; sin embargo, es el método que presenta mejores resultados.

Generalmente se lo emplea, en laboratorios o lugares acondicionados en obra para probetas cilíndricas.



Figura 3-13: Curado por inmersión

(Fuente: <http://www.hormiblocknews.com/manera-de-confeccionar-conservar-las-probetas-cilindricas-de-hormigon/>)

- **EMPLEO DE ROCIADORES Y ASPESORES**

Si el método es aplicado correctamente, da resultados buenos; tiene la ventaja de ser de fácil aplicación, es empleado con mayor frecuencia en elementos verticales. Sin embargo, la intermitencia y la poca frecuencia terminan produciendo un curado deficiente.

Se recomienda que el agua de curado sea la misma que el agua de amasado y cumpla con su normativa correspondiente.

La temperatura del agua de curado no deberá ser inferior en más de 11°C ya que podría ocasionar choques térmicos.



Figura 3-14: Curado por aspersion

(Fuente: <http://www.concreto-premezclado.net/se-curado-del-concreto-premezclado/>)

- **ANEGAMIENTO O ESTANCAMIENTO**

Este método se emplea en estructuras horizontales, tales como losas de pavimentos, techos planos, pistas, entre otros.

Consiste en delimitar espacios con bordos de material (tierra o arena), con la finalidad de crear arroceras y poder estancar el agua de curado.

Tiene la ventaja de retener por un mayor periodo de tiempo el agua, sin embargo, se ha de tener cuidado en situaciones en la que los índices de evaporación y viento sean demasiado elevados.



Figura 3-15: Curado por estancamiento

(Fuente: <http://www.concremax.com.pe/noticia/curado-concreto>)

- **EMPLEO DE TEJIDOS DE FIQUE O DE OTROS MATERIALES ABSORBENTES**

Este método es empleado tanto en elementos verticales como horizontales, consiste en cubrir con estos tejidos la superficie del elemento.

Como recomendaciones se debe humedecer periódicamente, con el riesgo de que en caso opuesto sea el tejido quien absorba el agua útil del concreto; los tejidos deben traslaparse adecuadamente, mientras mayor cantidad sea mayor agua retendrá; además ha de fijarse bien los extremos evitando que el viento deje áreas descubiertas.



Figura 3-16: Curado con tejidos de yute

(Fuente: <https://enriquealario.com/curado-de-hormigon/>)

- **CURADO CON ARENA, TIERRA O ASERRIN**

Este método puede ser empleado en aquellos casos en que se presentan vientos fuertes, ha de tenerse especial consideración con el aserrín ya que puede ocasionar manchas en el concreto o incluso deteriorarlo en el caso de ser proveniente de maderos con alto contenido de ácido tánico.



Figura 3-17: Curado con aserrín

(Fuente: <http://blog.360gradosenconcreto.com/caminos-en-concreto-como-opcion-para-vias-terciarias/>)

3.6.2. CURADO CON MEMBRANA

Este sistema de curado busca evitar la pérdida de agua por evaporación prematura en el concreto y como efecto consecuente inhabilita la posibilidad de ingreso de agua del exterior; incluye dentro de esta categoría las láminas de polietileno, láminas de papel impermeable y los compuestos de curado líquidos.

- **LÁMINAS DE POLIETILENO**

Las láminas de polietileno deben contemplar un espesor mínimo de 0.1 mm y cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C-171, su peso ligero la hace de fácil colocación especialmente en superficies horizontales.

Existen en el mercado de diferentes colores, sin embargo, se utilizan los plásticos transparentes, blancos y negros; los de color blanco y transparente son recomendables en zonas de clima cálido ya que reflejan la radiación solar, mientras que las de color oscuro se emplean en climas fríos ya que absorben los rayos del sol y mantienen la estructura con temperaturas mayores a las de su ambiente.

No es recomendable, cuando por cuestiones arquitectónicas se requiere que un acabado “cara vista”, ya que el empleo del plástico genera una superficie moteada a causa de una distribución no uniforme del agua y al movimiento de las sustancias solubles en la superficie.



Figura 3-18: Curado con láminas de polietileno

Fuente: (Sika Informaciones Técnicas,2009)

- **PAPEL IMPERMEABLE**

El papel impermeable se compone de dos láminas de papel kraft unidas por un adhesivo bituminoso reforzado con fibras y debe cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C-171

La superficie debe estar saturada previamente a la colocación del papel impermeable y debe haber endurecido lo suficiente con la finalidad de no ocasionar daños.

Los bordes deberán tener una holgura para minimizar la pérdida de agua, y en caso de existir traslapes estos deberán ser de aproximadamente 15 cm, siendo sujetos con cintas u otros objetos.

Su metodología de colocación es similar a la de las películas plásticas.



Figura 3-19: Curado con papel impermeable

(Fuente: <https://civilparaelmundo.com/curado-de-concreto/>)

- **COMPUESTOS DE CURADO LIQUIDO**

Los compuestos de curado líquido son generalmente soluciones de resina de hidrocarburos sintéticos en disolventes de alta volatilidad, también pueden estar compuestos de otras materias primas tales como: acrílicos, caucho colorado, y emulsiones de cera, estas últimas generan un acabado untuoso, el cual es de difícil remoción; comparado con la resina de hidrocarburos las cuales tienen “débil adherencia al concreto y son degradables por la luz ultravioleta, ambas características son deseables”(Neville,1998)

A esos compuestos generalmente se le añaden pigmentos de color blanco, con el fin de reflejar la luz, asimismo sirve de apoyo al operador para una aplicación uniforme sobre el elemento.

Las recomendaciones son las siguientes: aplicarlas uniformemente e inmediatamente haya finalizado la exudación del concreto (una vez haya desaparecido el brillo superficial producto del agua).

Esta metodología de aplicación tiene algunas ventajas, tales como:

- No requiere que se mantenga humedecido el elemento, después de la aplicación.
- De fácil aplicación, a través de rociadores o fumigadores.



Figura 3-20: Curado con compuestos líquidos

Fuente: (Sika Informaciones Técnicas,2009)

Sin embargo, debe recordarse que cada situación es particular ya que están involucradas diversas variables, por ende, ha de emplearse con bastante criterio los conocimientos aprendidos.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE MEZCLA

4.1. INTRODUCCIÓN

Podemos definir el término diseño de mezcla, como la selección adecuada de los elementos que componen el concreto y asimismo sus respectivas cantidades relativas tan económicamente como sea factible; con la finalidad de obtener un concreto con la resistencia, durabilidad, trabajabilidad, consistencia y permeabilidad prevista.

Para poder realizar el diseño de mezclas es necesario conocer las propiedades físicas de los componentes del concreto, y asimismo analizar el proceso constructivo que ha de emplearse, ya que como se mencionó anteriormente, en cada lugar existen condiciones climáticas distintas, requerimiento estructural que varía de acuerdo a las exigencias, materiales, mano de obra y equipos que pudieran o no estar disponibles en mayor o menor grado.

Un punto importante y mencionado previamente también, es reconocer que el culmen del diseño de mezclas no es solo obtener el $f'c$ deseado, sino que se debe buscar el comportamiento integral del concreto, el cual depende de otras propiedades también importantes, como lo son la durabilidad, la permeabilidad, la resistencia a la tracción, entre otras.

Cuando nuestro concreto cumpla con estos requerimientos en conjunto, entonces podremos decir que es un concreto bien diseñado y elaborado.

En la presente tesis, presentaremos la metodología y parámetros que se emplean para el diseño de mezcla de concretos normales, los cuales hacen referencia a concretos con densidades del orden de 2300 a 2400 kg/m³ y resistencias máximas entre 350 a 400 kg/cm²

4.1.1. PARÁMETROS BÁSICOS DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

a) PRINCIPIO DE VOLUMENES ABSOLUTOS

Este principio es empleado en todos los diseños de mezcla exactos, “se basan en el principio de considerar en el cálculo, los volúmenes de los componentes sin incluir los vacíos entre ellos, de manera que sumados conjuntamente con el aire que atrapa el concreto suministren la unidad de medida que se esté adoptando, que usualmente es 1m³.” (Pasquel,1998)

Para lo cual es necesario trabajar con los pesos específicos de los componentes sólidos, ya sea en estado seco o saturado superficialmente seco.

b) RESISTENCIA EN COMPRESIÓN Y RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Como hemos podido revisar con anterioridad, la resistencia a la compresión es la propiedad de mayor relevancia, no obstante, en condiciones climáticas agresivas o según el criterio del diseñador, pasara a segundo lugar, siendo superada por la durabilidad.

La relación agua-cemento, según lo repasado en la presente tesis, es el parámetro más incidente que marca y regula el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto.

Ha de tenerse en cuenta que para el inicio del diseño de mezclas se adopta un valor f'_{cr} (resistencia requerida en obra), la cual está en función del f'_c especificado por el proyectista o diseñador estructural.

Se da el caso, como se mencionó en el primer párrafo, que las condiciones de durabilidad por razones de exposición a climas agresivos, exigen que la relación agua - cemento sea mucho menor, que la necesaria por resistencia; reduciendo de este modo la permeabilidad del concreto, y por ende se mejora la resistencia a la abrasión y al desgaste.

c) GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y TAMAÑO MÁXIMO DE LA PIEDRA

La granulometría de los agregados es un criterio bastante estudiado concluyendo que se debe buscar aquellas gradaciones que provean un mejor acomodo entre sus partículas, lo cual trae aspectos positivos tales como: mejora la resistencia, trabajabilidad, mayor densidad y disminuye la permeabilidad.

Pasquel, en su libro Tópicos de Tecnología del Concreto (1998), señala que “existen una gran variedad de opciones en cuanto a cómo evaluar dichas gradaciones y como combinarlas, que dependen de la mayor o menor confiabilidad que se le asigne al sustento

técnico de cada una, por lo que esta etapa es la que diferencia un método de diseño de otro.

No se pueden establecer pues criterios absolutos en este aspecto, pero, sin embargo, casi todos usan de alguna manera el concepto del Módulo de Fineza por el sustento teórico y experimental”

Otro factor importante a considerar es el tamaño máximo de la piedra ya que influye en la cantidad de agua que se ha de emplear y consecuentemente en la trabajabilidad de la mezcla; tamaños máximos mayores con formas redondeadas requieren cantidades de agua menores en comparación a aquellas de menor tamaño máximo y con forma angulosa; esto debido a que poseen en conjunto mayor área superficial a humedecer.

El tamaño máximo influye también en la resistencia del concreto, se ha demostrado experimentalmente que para concretos de alta resistencia (mezclas ricas) los agregados con tamaño máximo entre 1/2” y 3/8” dan valores más altos; y para concretos de resistencia media, los tamaños máximos entre 1 1/2” y 3/4” brindan diseños mas resistentes.

Consecuentemente, en mezclas pobres o concretos de baja resistencia serán las piedras mayores a 1 1/2” las que aportarán mejor en el valor de la resistencia.

d) TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad es uno de los parámetros más buscados en el diseño de mezcla, sin embargo, es difícil de cuantificar.

Lo hemos definido como la cantidad de trabajo que necesitamos aportar desde su fabricación hasta su colocación y compactación, incluido el transporte del mismo.

Al respecto de la trabajabilidad Pasquel (1998) menciona: “Usualmente recurrimos al slump como evaluación de esta característica, pero la experiencia demuestra que es una manera sumamente limitada de evaluarla pues sólo resulta un indicador de la cantidad de agua en la mezcla.”

4.2. NORMA ESTÁNDAR DE PRÁCTICA ACI 211.2-98

El método del Comité ACI es de los más empleados y se ha generalizado en gran parte del mundo, tiene su origen en el año 1994, basa sus principios en los siguientes:

- Los agregados deberán cumplir los requisitos físicos y granulométricos establecidos en por la ASTM C-33
- La cantidad de agua está definida empíricamente en función del tamaño máximo del agregado y del slump requerido.

- Establece de manera empírica el volumen del agregado grueso en función del módulo de fineza y el tamaño máximo del agregado.
- Correlaciona la resistencia en compresión del concreto con la relación a/c
- No obstante, el método que presenta el Comité ACI, presenta ciertas desventajas que será bueno nombrarlas para tenerlas en consideración al momento de emplear dicho método:
- No permite el uso de agregado que se encuentren fuera de los requerimientos de la ASTM C-33
- No se evalúa la granulometría en conjunto de los agregados asumiendo que el módulo de fineza de la arena cubre todo al respecto, dejando consideraciones como: los bordes del agregado (angulosos o redondeados), si son chanchados o zarandeados, o si son densos o porosos.
- No ofrece garantía para elaborar concretos sumamente plásticos y bombeable, tales como los arquitectónicos.

4.2.1. PASOS GENERALES

- Determinar la resistencia promedio de campo (f'_{cr}), la cual puede estar sujeta a requisitos de diseño por resistencia o en algunos casos por durabilidad.

Tabla 4-1: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

| RESISTENCIA ESPECIFICADA A LA COMPRESIÓN, KG/CM² | RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A LA COMPRESIÓN, KG/CM² |
|--|--|
| $f'_c < 210$ | $f'_{cr} = f'_c + 70$ |
| $210 \leq f'_c \leq 350$ | $f'_{cr} = f'_c + 84$ |
| $f'_c > 350$ | $f'_{cr} = f'_c + 98$ |

(Fuente: RNE E.060)

- Seleccionar el slump correspondiente, de acuerdo al tipo de construcción.

Tabla 4-2: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción

| Tipo de Construcción | Asentamiento | |
|--|--------------|-----|
| | Máx | Mín |
| Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado | 3 " | 1 " |
| Cimentaciones simples, cajones y subestructuras | 4 " | 1 " |
| Vigas y muros de concreto reforzado | 4 " | 1 " |
| Columnas | 4 " | 1 " |
| Pavimentos y losas | 3 " | 1 " |
| Concreto ciclópeo | 2 " | 1 " |

(Fuente: ACI 211.1-91)

- Establecer la cantidad de agua por m³ de concreto, la cual está en función del slump, y del tamaño máximo nominal del agregado, se ha de diferenciar en las tablas, entre aquellos concreto que lleven aire incorporado o aquellos que no.

Tabla 4-3: Agua de mezcla aproximada para concretos sin aire incorporado

| Asentamiento | 3/8" | 1/2" | 3/4" | 1 " | 1 1/2" | 2 " | 3 " | 6 " |
|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1" a 2" | 207.0 | 199.0 | 190.0 | 179.0 | 166.0 | 154.0 | 130.0 | 113.0 |
| 3" a 4" | 228.0 | 216.0 | 205.0 | 193.0 | 181.0 | 169.0 | 145.0 | 124.0 |
| 6" a 7" | 243.0 | 228.0 | 216.0 | 202.0 | 190.0 | 178.0 | 160.0 | - |

(Fuente: ACI 211.1-91)

Tabla 4-4: Agua de mezcla aproximada para concretos con aire incorporado

| Asentamiento | 3/8" | 1/2" | 3/4" | 1 " | 1 1/2" | 2 " | 3 " | 6 " |
|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 1" a 2" | 181.0 | 175.0 | 168.0 | 160.0 | 150.0 | 142.0 | 122.0 | 107.00 |
| 3" a 4" | 202.0 | 193.0 | 184.0 | 175.0 | 165.0 | 157.0 | 133.0 | 119.00 |
| 6" a 7" | 216.0 | 205.0 | 197.0 | 184.0 | 174.0 | 166.0 | 154.0 | - |

(Fuente: ACI 211.1-91)

- Determinar el contenido de aire atrapado.

Tabla 4-5: Contenido de aire atrapado

| Tamaño Maximo Nominal | Aire Atrapado |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 3/8" | 3.0% |
| 1/2" | 2.5% |
| 3/4" | 2.0% |
| 1 " | 1.5% |
| 1 1/2" | 1.0% |
| 2 " | 0.5% |
| 3 " | 0.3% |
| 6 " | 0.2% |

(Fuente: ACI 211.1-91)

- Definición de la relación agua/cemento, la cual está en función al f'_{cr} establecido por criterios de durabilidad o resistencia; con este valor y el volumen de agua podremos calcular la cantidad de cemento que ingresara en un m³ de concreto.

Tabla 4-6: Relación Agua-Cemento

| f'cr a los 28 dias (Kg/cm²) | Relación agua/cemento por peso | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Concreto sin aire incluido | Concreto con aire incluido |
| 150 | 0.80 | 0.71 |
| 200 | 0.70 | 0.61 |
| 250 | 0.62 | 0.53 |
| 300 | 0.55 | 0.46 |
| 350 | 0.48 | 0.40 |
| 400 | 0.43 | - |

| | | |
|-----|------|---|
| | | |
| 450 | 0.38 | - |

(Fuente: ACI 211.1-91)

- Determinar el volumen absoluto del agregado grueso seco y compactado, la cual está en función del tamaño máximo nominal del y el módulo de fineza, con este valor ya es posible determinar los volúmenes absolutos de los demás componentes y transformarlos a peso con sus respectivos pesos específicos.

Tabla 4-7: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto

| Tamaño máximo nominal | Volumen de Agr. Grueso seco y compactado, por Volumen Unitario de Concreto para diferentes Módulos de Fineza de la Arena | | | |
|-----------------------|--|------|------|------|
| | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 3/8" | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 1/2" | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 3/4" | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 1 " | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 1 1/2" | 0.76 | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 2 " | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 3 " | 0.81 | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 6 " | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

(Fuente: ACI 211.1-91)

- Finalmente se procede a realizar la corrección por humedad y absorción, realizando un balance entre los pesos de los agregados y el agua prevista para el diseño.

4.3. MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ALTERNATIVOS

4.3.1. MÉTODOS BASADOS EN CURVAS TEORICAS

La gran diferencia y validez de este método es que considera la totalidad de la granulometría de los sólidos, incluso algunos investigadores consideran la granulometría del cemento.

Se asume generalmente distribuciones granulométricas de tipo parabólico, la cual representa la gradación óptima del agregado total, haciendo estructuras densas y compactas.

El método consiste en determinar las proporciones de los agregados de modo de que se ajusten lo más posible a la curva teórica elegida.

Se evalúa las áreas comprendidas entre la curva teórica y la proporción de mezcla elegida.

“Tienen la ventaja de ser fáciles de calcular y utilizar para un Tamaño posible en la práctica obtener una mezcla de agregados que cumpla perfectamente con dicha gradación dado que es ideal, sin embargo, nos permite una aproximación técnica a la granulometría óptima para llegar a mezclas más densas y trabajables.” (Pasquel,1998)

La metodología de diseño es similar a la del método ACI, solo difiere en la selección del peso del agregado grueso, el cual es obtenido en este caso de las curvas elegidas.

A continuación, presentamos el cuadro propuesto por Pasquel(1998) de las curvas teóricas más usadas:

| FORMULA GENERAL $y = g \left(\frac{D}{d}\right)^i + (100 - g) \times \left(\frac{d}{D}\right)^h$ | | | | | | |
|--|----------------------------------|-----|---------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| AUTOR | PARAMETROS | | | LIMITES OPTIMOS | | NOTAS |
| | g | i | h | n | D | |
| Fuller y Thompson | 0 | -- | 0.5 | 6 | 5 a 100 | (1) |
| | | | | 9 | 20 a 40 | (1) |
| EMPA | 50 | 1 | 0.5 | 4 | 15 a 30 | (1) |
| | | | | 6 | 3 a 8 | (1) |
| Popovics | $15\left(1 - \frac{3}{n}\right)$ | | $\frac{0.5}{1 - \frac{1.6}{n}}$ | 4 a 10 | 5 a 100 | (1) |
| Bolomey | 8 a 10 | 0 | 0.5 | 6 a 8 | 20 a 80 | (2) |
| | 10 a 12 | 0 | 0.5 | 6 a 8 | 20 a 80 | (3) |
| Caquot y Faury | $\frac{100}{2386D^{1/s}-1}$ | 0 | 0.20 | | | (2) |
| | | 0 | 0.20 | | | (2) |
| Popovics | 15 | 0 | 0.50 | 4 a 10 | 5 a 100 | (2) |
| Popovics | 20 | 0 | 0.56 | 4 a 10 | 25 a 150 | (2) |
| Popovics | $\frac{100}{n+1}$ | 0 | 0.50 | 6 | 5 a 100 | (2) . (4) |

| PARAMETROS | NOTAS |
|---|--|
| y = % Pasante acumulativo | (1) Sólo para Agregado |
| d = Abertura del Tamiz. | (2) Mezcla Cemento - Agregado |
| D = Tamaño máximo de partículas | (3) Mezcla Cemento - Agregado chancado |
| n = Relación Agregado / Cemento en peso | (4) Agregado con gradación Fuller |
| Agregado = Arena y piedra | |
| Asentamiento = 3" a 5" | |

Figura 4-1: Curvas granulométricas teóricas

(Fuente: Pasquel,1998)

4.3.2. MÉTODO DEL MODULO DE FINEZA TOTAL

Este método toma al módulo de fineza total de la mezcla de los agregados como su parámetro fundamental.

“El sustento teórico reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de las partículas para una cierta distribución granulométrica, y experimentalmente está demostrado que independientemente de la granulometría, los concretos con igual módulo de fineza total de los agregados, tienen dentro de ciertos límites los mismos requerimientos de agua, características resistentes y trabajabilidad.” (Pasquel,1998)

Experimentos realizados, han demostrado que manteniendo el contenido a/c para granulometrías distintas, pero con módulos de fineza total muy similares las condiciones de trabajabilidad y resistencia son muy similares.

Como resultado de estos experimentos, varios investigadores han planteado tablas estableciendo módulos de fineza total óptimos para determinados contenidos de cemento, tamaño máximo y tipo de agregados.

| Tamaño Máximo | Contenido de Cemento en Kg por m3 de Concreto | | | | | | | |
|---------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 167 | 223 | 279 | 334 | 390 | 446 | 502 | 557 |
| 3/8" | 3.9 | 4.1 | 4.2 | 4.4 | 4.6 | 4.7 | 4.9 | 5.0 |
| 1/2" | 4.1 | 4.4 | 4.6 | 4.7 | 4.9 | 5.0 | 5.2 | 5.4 |
| 3/4" | 4.6 | 4.8 | 5.0 | 5.2 | 5.4 | 5.5 | 5.7 | 5.8 |
| 1" | 4.9 | 5.2 | 5.4 | 5.5 | 5.7 | 5.8 | 6.0 | 6.1 |
| 1 1/2" | 5.4 | 5.6 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.3 | 6.5 | 6.6 |
| 2" | 5.7 | 5.9 | 6.1 | 6.3 | 6.5 | 6.6 | 6.8 | 7.0 |

Figura 4-2: Módulo de fineza total óptimos para mezclas de arena y piedra por Walter y Bartel

(Fuente: Pasquel,1998)

La desventaja del presente método es que obvia la gradación detallada del agregado, reduciéndola solo a un valor promedio, lo cual en algunos casos se ve afectada por la importancia de la cantidad de finos; por tal motivo se recomienda verificar el diseño con este método a través de una curva teórica.

4.4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

4.4.1. CEMENTO

Como ya se ha visto y analizado en el capítulo 2: “El concreto y sus componentes”, el cemento YURA Tipo IP tiene las siguientes propiedades:

- Alta resistencia a la compresión

Debido a la adición de puzolana presente en este tipo de cemento, los aluminosilicatos derivados de la puzolana, reaccionan con el hidróxido de calcio y el agua (el cual fue liberado como producto de la reacción de hidratación del cemento) formando silicatos cálcicos hidratados, los cuales aumentan la cantidad de gel del cemento, y con esto los beneficios que de ella derivan.

- Resistencia al ataque de sulfatos y cloruros

Esta resistencia se ve favorecida debido a que el cemento portland con adición de puzolana, tiene una menor cantidad de hidróxido de calcio libre, ya que esta reacciona con la puzolana.

El hidróxido de calcio libre reacciona con los sulfatos para producir sulfato de calcio deshidratado, el cual genera expansiones y produce etringita, la que termina causando la fisuración del concreto.

- Mayor impermeabilidad

Se deriva como consecuencia de la reacción entre el hidróxido de calcio y los aluminosilicatos derivados de la puzolana, lo cual forma los silicatos de calcio hidratados que disminuyen la porosidad capilar.

La tendencia en el caso del cemento proporcionado por Yura S.A., es de asumir que las propiedades descritas en sus fichas técnicas cumplen con los requisitos de las normas técnicas ASTM y las NTP, lo cual efectivamente ha sido comprobado por diversos laboratorios e instituciones en el sector.

Asimismo, a dicha empresa le respalda los 50 años que lleva en el mercado, y las normas que ISO 9001 e ISO 14001 que garantizan el proceder de su trabajo.

Por tal motivo no se suele analizar en campo, las propiedades del cemento; salvo exista una razón de por medio.

4.4.2. AGREGADOS

El agregado empleado en la presente tesis es proveniente de la cantera “La Poderosa” – Arequipa, este agregado cumple con las siguientes características:

- Se encuentra dentro de los límites granulométricos establecidos por la ASTM C-33, la cual es un requerimiento para poder realizar el diseño a través del método propuesto por el Comité ACI.
- Estos agregados poseen una densidad que se encuentra dentro del orden de 2.6 a 2.75 g/cm³, lo cual lo ubica dentro de la categoría de agregados normales, los cuales son ideales para concreto de resistencia normal.
- El tamaño máximo nominal del agregado es de 3/4”, lo cual, para concretos de resistencia media, según estudios realizados, optimizan la resistencia a la compresión del concreto.
- La forma del agregado grueso ha sido obtenida de chancadoras, por lo cual su forma es angular; dicha característica es beneficiosa ya que ayuda a generar una mayor adherencia del agregado con la pasta.



Figura 4-3: Agregado fino
(Fuente: Propia)



Figura 4-4: Agregado grueso
(Fuente: Propia)

Para fines de diseño por el Método ACI, se han obtenido también los siguientes valores para las propiedades indicadas en dicho cuadro:

Tabla 4-8: Resumen de las propiedades de los agregados

| PROPIEDADES | Agr. Fino | Agr. Grueso | |
|-------------------------|-----------|-------------|--------------------|
| Peso Específico | 2.591 | 2.726 | |
| Contenido de Humedad | 0.71% | 0.18% | % |
| Porcentaje de Absorción | 1.26% | 0.90% | % |
| Peso Unitario Suelto | 1.434 | 1.519 | gr/cm ³ |
| Peso unitario Varillado | 1.702 | 1.606 | gr/cm ³ |
| Módulo de Fineza | 2.632 | - | |
| Pasante Malla #200 | 3.30% | - | % |

(Fuente: Propia)

4.4.3. AGUA

Para nuestro caso se empleó agua potable, y como se estudió anteriormente este tipo de agua por ser apta también para el consumo humano, no generará mayores repercusiones en el concreto.

Al igual que el cemento, el agua potable ha sido analizada ya por diversas instituciones y laboratorios, en consecuencia, se da su análisis por favorable y aceptado para el caso del agua potable.

No obstante, podrá enviarse al laboratorio una muestra de la misma, en caso surgiesen dudas sobre su origen u procedencia, debiendo en tal caso cumplir con los requisitos especificados en la NTP 334.088.

4.5. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y HERRAMIENTAS EMPLEADAS

a) TALADRO DIAMANTINO HILTI

El laboratorio de Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil cuenta con un taladro diamantino marca HILTI, el cual tiene un acople para el sistema de refrigeración (agua) durante la extracción de los testigos diamantinos.

El taladro diamantino se fija a un perno hembra Ramplug Expansivo Hilti, el cual se encuentra fijo en una base de concreto.

Dicho equipo cuenta además con una base metálica con acople para ruedas, un montante corredizo, un tanque de agua a presión y un volante de mano.

El taladro diamantino se lo empleó en la presente tesis para la extracción de los testigos diamantinos, los cuales fueron extraídos a los 7,14 y 28 para evaluar la resistencia a compresión y a los 7 y 28 días para el caso de los testigos que se evaluaron su resistencia a tracción.



Figura 4-5: Taladro diamantino

(Fuente: Propia)

b) BROCA DIAMANTINA

Para la extracción de los testigos diamantinos, se empleó también una broca diamantada de 3"x 450 mm marca HUSQVARNA Banner Line.



Figura 4-6: Broca diamantina 3"

(Fuente: Propia)

c) MESA CON CORTADORA CIRCULAR PARA CONCRETO

Se empleó para las actividades de corte y nivelación de las caras de los testigos extraídos, cuenta con sistema de refrigeración a través de mangueras.



Figura 4-7: Mesa cortadora circular de concreto

(Fuente: Propia)

d) OLLA PARA FUNDIR AZUFRE SOILTEST

Se utilizó la olla con la finalidad de fundir el azufre para las actividades de refrendado (capeado); posee un regulador de temperatura con capacidad hasta 300°C, para la preparación del azufre se lo calienta a una temperatura de 250°C por un intervalo de 45 minutos, hasta que se encuentre en estado líquido.



Figura 4-8: Olla eléctrica para fundir azufre

(Fuente: Propia)

e) PRENSA DE CONCRETO SOILTEST

Se empleó la prensa de concreto marca SOILTEST, la cual cuenta con dos relojes de lectura, una con capacidad de 50 000 libras y la otra con capacidad de 500 000 libras.

Se empleó dicha prensa tanto para los ensayos de compresión como los de tracción.



Figura 4-9: Prensa de concreto SOILTEST

(Fuente: Propia)

f) EQUIPOS MENORES

Como ya es de conocimiento nuestro, para la elaboración y realización de los ensayos y procedimientos complementarios se han hecho uso de equipos menores, tanto para los ensayos de los agregados: tamices, balanza electrónica, horno, fiolas, bandejas, cocina eléctrica, moldes para compactación, entre otros.

Asimismo, los ya conocidos: buggies, palas, bandejas, alicates, combas, moldes para refrendado, reglas metálicas, vernier, termómetro, etc.

4.6. APLICACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS SEGÚN EL MÉTODO VOLUMÉTRICO DEL ACI 211.2-98

- a) Requisitos de Diseño
- $F'C = 210 \text{ Kg/cm}^2$
 - Slump = Columnas 4" a 1"
- b) Propiedades

Tabla 4-9: Resumen de las propiedades de los agregados

| PROPIEDADES | Agr. Fino | Agr. Grueso | |
|-------------------------|-----------|-------------|--------------------|
| Peso Específico | 2.591 | 2.726 | |
| Contenido de Humedad | 0.71% | 0.18% | % |
| Porcentaje de Absorción | 1.26% | 0.90% | % |
| Peso Unitario Suelto | 1.434 | 1.519 | gr/cm ³ |
| Peso unitario Varillado | 1.702 | 1.606 | gr/cm ³ |
| Módulo de Fineza | 2.632 | - | |
| Pasante Malla #200 | 3.30% | - | % |

(Fuente: Propia)

- TMN = 3/4"
- PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO = 2.85 g/cm³

c) DETERMINACION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO $F'CR$

Como no se cuenta con la desviación estándar, ni registros anteriores se empleará la relación propuesta por la Norma E.060 para un $F'C = 210 \text{ Kg/cm}^2$

$$F'CR = F'C + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'CR = 210 \text{ kg/cm}^2 + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'CR = 294 \text{ kg/cm}^2$$

d) Volumen Unitario de Agua

De la tabla propuesta por **ACI 211.1**, para un asentamiento de 3" a 4" y un TMN de 3/4" corresponde un **V_{uw}=205 L/m³**

e) Contenido de Aire Atrapado para TMN = 3/4" corresponde **2%**, según tablas **ACI 211.1**

f) Relación agua - cemento:

Por interpolación para la categoría "Sin aire incorporado" corresponde un valor **a/c= 0.549**

g) Factor Cemento

$$205 / 0.549 = 373.698 \quad \text{kg/m}^3$$

h) Contenido de agregado grueso

Para un módulo de fineza de 2.632 y TMN 3/4" corresponde un valor de **0.637 m³/m³** de agregado grueso seco y compactado.

i) Peso del Agregado Grueso

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 0.637 \text{ m}^3/\text{m}^3 * 1.606 \text{ g/cm}^3 * 1000$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 1022.994 \text{ kg/m}^3$$

j) Cálculo de Volúmenes Absolutos

Tabla 4-10: Calculo de volúmenes absolutos

| | <i>Peso(kg/m³)</i> | | <i>Vabsoluto(m³)</i> |
|----------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Cemento | 373.698 | 373.698/(2.85*1000) | 0.131 |
| Agua | 205.00 | 205.00 / (1*1000) | 0.205 |

| | | | |
|------------------------|----------|-------------------------|--------------|
| Aire | | 2% | 0.02 |
| Agregado Grueso | 1022.994 | $1022.994/(2.726*1000)$ | 0.375 |
| Seco | | | |
| Total | | | 0.731 |

(Fuente: Propia)

k) Contenido de Agregado fino Seco

Tabla 4-11: Calculo de volúmenes absoluto del agregado fino

| | <i>Vabsoluto(m3)</i> | | <i>Peso(kgf/m3)</i> |
|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Agregado Fino | 0.269 | $0.269*2.591*1000$ | 696.022 |
| Seco | | | |

(Fuente: Propia)

l) Valores de Diseño

Tabla 4-12: Valores de diseño

| | <i>Peso(kg/m3)</i> |
|-----------------------------|--------------------|
| Cemento | 373.698 |
| Agua | 205.00 |
| Agregado Grueso Seco | 1022.994 |
| Agregado Fino Seco | 696.022 |

(Fuente: Propia)

m) Corrección por Humedad y Absorción

Tabla 4-13: Corrección por Humedad y Absorción

| Peso Húmedo de los agregados | |
|---|--------------------|
| | <i>Peso(kg/m3)</i> |
| Agregado Grueso | 1024.87 |
| Agregado Fino | 700.95 |
| Balance de Agua en los Agregados | |
| Agregado Grueso | -0.71% |

| | |
|--|--------------------------|
| Agregado Fino | -0.55% |
| Aporte de Agua de los Agregados | |
| Agregado Grueso | -7.31 lt/m ³ |
| Agregado Fino | -3.84 lt/m ³ |
| Total | -11.15 lt/m ³ |
| | |
| Agua Efectiva | 216.15 lt/m ³ |
| | |
| Pesos Corregidos por Humedad | |
| Cemento | 373.70 Kg |
| Agua | 216.15 Kg |
| Agregado Grueso Húmedo | 1024.87 Kg |
| Agregado Fino Húmedo | 700.95 Kg |

(Fuente: Propia)

4.7. ELABORACIÓN DE LOS ELEMENTOS VERTICALES DE CONCRETO EN LABORATORIO

Una vez culminados los ensayos previos realizados a los agregados, se procedió a la elaboración de los elementos de concreto, a continuación, detallaremos el procedimiento:

- **PREPARACION Y MEZCLADO**

Los componentes del concreto: cemento, agua, agregado grueso y agregado fino, se han pesado respectivamente, depositándolos en baldes, acorde a la proporción correspondiente al volumen de vaciado necesario.

El volumen calculado para cada tanda corresponde al volumen de 4 primas cuadrangulares de dimensiones 0.15x0.15x0.50m más un desperdicio de 15%, lo cual hace un total de 0.0518 m³ (que corresponde a 0.46 bolsas de cemento).

Además, la tanda para las probetas patrón (9 probetas cilíndricas de 4"x8"), con 15% de desperdicio tiene un volumen de 0.0163 m³ correspondiente a 0.14 bolsas de cemento.

Para el mezclado del concreto, debemos contar con todos materiales listos, así como herramientas menores: pala, buggy, martillos de goma, cucharones, etc.

No ha de olvidarse de verificar la limpieza del trompo, así como humedecer la superficie de la misma, a fin de evitar que se pierda parte del agua de diseño.

El tiempo de mezclado se dará hasta que se aprecie que los elementos en su conjunto se hayan combinado todos y formen una pasta uniforme, adicionalmente debemos verificar la “trabajabilidad” de la mezcla, a partir de la prueba del Slump.

En nuestro caso, el slump real se encontraba dentro del margen previsto en nuestro diseño, obteniendo un valor de 3.25 pulgadas.

Como recomendación, se debe verificar siempre la capacidad útil del trompo, ya que, si bien es cierto que puede almacenar más material, este no se logrará uniformizar durante el batido; para nuestro caso la capacidad del trompo es de media bolsa de cemento.



Figura 4-10: Slump hallado

(Fuente: Propia)



Figura 4-11: Mezcladora de concreto empleado con capacidad de ½ bolsa

(Fuente: Propia)

- **TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN**

Una vez uniformizado el concreto, y con slump requerido, se procedió a vaciar el contenido de la tanda en un buggy, para trasladarlo hasta el punto de colocación.

Se debe tener en consideración que la superficie del buggy debe estar también humedecida, sin agua excedente. No se ha presentado problemas de segregación, ya que el tramo de transporte es corto.

El colocado del concreto se realizó como ya se mencionó anteriormente en moldes metálicos en forma de prisma rectangular con dimensiones 0.15x0.15x0.50m, y en probetas metálicas cilíndricas de dimensiones 4"x8".

La compactación puede realizarse a través de métodos manuales o mecánicos, en nuestro caso hemos aplicado el método manual con varilla metálica y combo de goma, esto debido a que la altura de vaciado no es considerable ni el volumen de cada elemento.



Figura 4-12: Colocación del concreto en moldes metálicos

(Fuente: Propia)



Figura 4-13: Enrasado de superficie

(Fuente: Propia)

4.8. CURADO DE LOS ELEMENTOS VERTICALES ENDURECIDOS

La presente tesis busca establecer el método de curado más adecuado de los usados con frecuencia en la ciudad de Arequipa, para lo cual dentro del cuadro de especímenes a ensayar hemos diferenciado 5 casos o variables que influyen en el curado de los elementos, los cuales van a simular las condiciones en obra.

Posterior a la colocación del concreto, y habiendo éste endurecido (24 horas aproximadamente), se procedió a aplicar las variables de curado respectivos para cada uno de los grupos:

4.8.1. GRUPO I: CURADO HUMEDO POR ASPERSIÓN

Para este grupo control, se curó los elementos con agua potable a través del método de aspersión.

Se realizó dos aplicaciones diarias, durante los tres primeros días (a las 10:00 y 15:00 horas), la finalidad de esta manera de curado es simular las condiciones de curado que se vienen dando actualmente en obra, en la cual se cura al elemento por periodos relativamente cortos de tiempo, y en algunos casos en forma esporádica sin periodicidad. Hemos fijado, estas horas ya que las variables de velocidad del viento, temperatura y asoleamiento encuentran sus valores más altos dentro dicho rango.

En cada aplicación se ha empleado 2000 ml de agua (2 litros), de los cuales 368 ml han sido absorbidos, esto representa el 18.4%.

El lapso de tiempo aproximado por aplicación es de 10 minutos.

El agua bruta total aplicada por elemento es de 12 litros (0.012 m³), y el agua útil absorbida es de 2208 ml (0.002208 m³).



Figura 4-14: Curado por método de aspersión

(Fuente: Propia)

4.8.2. GRUPO II: CURADO HUMEDO CON MEMBRANA DE YUTE

Para este grupo control, se cubrió primeramente con yute, para posteriormente curar los mismos con agua potable a través del método de aspersión.

Se realizó dos aplicaciones diarias, durante los tres primeros días (a las 10:00 y 15:00 horas), el presente método de curado también representa una de las formas más empleadas, y teóricamente debe brindar resultados más favorables en comparación al método anterior, ya que tiene la ventaja de retener mayor cantidad de agua por más tiempo.

En cada aplicación se ha empleado 2000 ml de agua (2 litros), de los cuales 527 ml promedio han sido absorbidos, este valor representa el 26.3%

El lapso de tiempo aproximado por aplicación es de 10 minutos.

La cantidad de agua bruta total aplicada por elemento es de 12 litros (0.012 m³), y el agua útil absorbida es de 3162 ml (0.003162m³).



Figura 4-15: Curado húmedo con membrana de yute

(Fuente: Propia)

4.8.3. GRUPO III: APLICACIÓN CON CURADOR QUÍMICO

Para llevar a cabo el curado de este grupo, se hizo uso del curador químico, se lo aplicó siguiendo las recomendaciones indicadas en la ficha técnica anexa al final de la presente tesis.

En la cual se indica que la aplicación será realizada, tan pronto como el agua superficial del concreto (exudación) haya desaparecido, o para el caso de aquellos elementos que hayan sido encofrados, tan pronto como estos sean retirados.

Indica, además, que el rendimiento en condiciones de laboratorio es de 0.2 L/m² ó 5 m²/L, y recomienda el uso de pulverizadores para su uso y rendimiento óptimo.

El área de cada elemento vaciado nuestro es de 0.345 m², por lo cual en condiciones óptimas requiere 0.069 litros (69 ml), no obstante, hemos de tener presente que es un valor obtenido en laboratorio.

La cantidad de curador bruto suministrado a cada elemento fue de 200 ml, y la cantidad útil (absorbida) fue de 125 ml, lográndose con este valor la aplicación uniforme de todo el elemento.

Cabe resaltar, que el curador fue aplicado una sola vez con aspersor el cual fue realizado inmediatamente después del desencofrado, plasmando así otra forma de curado muy usual en obra.



Figura 4-16: Aplicación de curador químico
(Fuente: Propia)

4.8.4. GRUPO IV: CURADO EXPUESTO AL AMBIENTE

Para este grupo de curado, no se le aplicó ningún método de curado, se los expuso al aire libre, colocados en el área colindante al laboratorio de hidráulica en conjunto con los demás grupos de curado.



Figura 4-17: Curado expuesto al ambiente

(Fuente: Propia)

4.8.5. GRUPO V: CURADO POR INMERSIÓN

Solo para este grupo de control de vaciaron probetas cilíndricas de dimensiones 4"x8", las cuales estuvieron inmersas en la poza de curado del laboratorio de concreto.

4.9. EXTRACCIÓN DE LOS TESTIGOS DIAMANTINOS

4.9.1. EXTRACCIÓN

Una vez culminados los periodos de curado, que para el caso de resistencia a la compresión corresponden a los 7,14 y 28 días y para el caso de la resistencia a la tracción corresponde a los 7 y 28 días se procedió a extraer los testigos diamantinos con apoyo del taladro diamantino.

Para el procedimiento de extracción se tomó como referencia la NTP 339.059

Dicha norma sugiere que la extracción de testigos diamantinos debiera hacerse recién a los 14 días, no obstante, este valor es relativo ya que depende en sí de la resistencia del elemento y del curado que se le aplique, en conclusión, la superficie del testigo no debería presentar erosiones.

Otra recomendación de la norma indica que la extracción de los testigos se hará en forma perpendicular a la superficie de vaciado, y no se realice próximos a juntas ni bordes, tal como se realizó en la presente tesis.



Figura 4-18: Extracción de testigos diamantinos
(Fuente: Propia)



Figura 4-19: Testigos extraídos
(Fuente: Propia)

4.9.2. ASERRADO DE LA SUPERFICIE

Para proceder con la nivelación de la superficie (aserrado) se tomó como referencia la NTP 339.059.

Una vez concluido las extracciones con diamantina, se procedió a nivelar los extremos de los corazones diamantinos, los cuales deben ser lisos, perpendiculares al eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo.

No deberán existir protuberancias mayores a 5 mm, ni la superficie deberá desviarse de la perpendicularidad con el eje longitudinal en más de 0.5° .

Para la nivelación de la superficie es necesario tener en cuenta la longitud del elemento, y el espesor de las capas de refrendado, para ser descontadas, es caso corresponda, antes de proceder a la operación.



**Figura 4-20: Aserrado de las bases del testigo diamantino
(Fuente: Propia)**

4.9.3. REFRENTADO

El refrendado o “capeado”, deberá cumplir con los requisitos de la norma NTP 339.034, este paso se realiza posterior al aserrado de la superficie, se hace calentar el azufre a una temperatura de 250°C , hasta que este se encuentre en estado líquido, y con ayuda de los moldes procedemos al refrendado con la finalidad de obtener superficies adecuadas para el ensayo de compresión; el refrendado no se emplea en los ensayos a tracción.



**Figura 4-21: Refrentado de testigos diamantinos
(Fuente: Propia)**



**Figura 4-22: Testigos diamantinos refrentados con azufre
(Fuente: Propia)**

4.10. ENSAYO DE LOS TESTIGOS DIAMANTINOS

4.10.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para la evaluación del ensayo de resistencia a la compresión, se tomó como referencia la NTP 339.059 y la ASTM C42.

a) GEOMETRIA DE LOS TESTIGOS

La norma ASTM C42, indica que “El diámetro mínimo preferido para los núcleos es de tres veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso, pero debería ser al menos dos veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.”

Indica además que la longitud del espécimen refrentado o perfilado, deberá estar entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro, haciendo las aclaraciones que en caso esta relación sea mayor a 2.1, deberá reducirse la longitud a través del aserrado y en caso sea menor a 1.75 deberá corregirse por los valores de la siguiente tabla:

Tabla 4-14: Factor de corrección por L/D

| Ratio longitud/diámetro (L/D) | Factor de corrección de resistencia |
|--------------------------------------|--|
| 1.75 | 0.98 |
| 1.50 | 0.96 |
| 1.25 | 0.93 |
| 1.00 | 0.87 |

(Fuente: NTP 339.059)

En lo referente a la geometría de los corazones de concreto, la Norma ASTM C42 y la NTP 339.059, especifican que no se requiere un factor de corrección para las relaciones mayores a 1.75

Aplicando las referencias en la presente tesis, para un TMN de 3/4” (18.75 mm) correspondería un diámetro mínimo preferido de 56.25 mm, nosotros hemos trabajado con una broca con diámetro interno de 71.30 mm.

Nuestras relaciones L/D están todas entre 1.9 y 2.1 no correspondiéndole corrección alguna.

b) PROCEDIMIENTO

El procedimiento se ha realizado cumpliendo las indicaciones dadas en la NTP 339.059 y la NTP 339.034.

Como indicaciones generales manifiesta que la compresión de probetas deberán ser realizadas tan pronto como son retiradas del almacenaje de humedad.

Asimismo, se debe verificar que el eje del cabezal de la máquina de ensayo se encuentra alineado con el eje central de la probeta o testigo.

Es importante indicar que para el ensayo de los testigos diamantinos no se emplean las almohadillas de neopreno, ya que la capa de refrentado hace las veces de la misma.

La resistencia a la compresión se calcula como sigue:

$$C = P/A$$

Donde:

C= Resistencia a la compresión (kgf/cm²)

P= Carga ultima aplicada (kg/f)

A= Área promedio de la sección de contacto (cm²)



Figura 4-23: Ensayo de resistencia a la compresión
(Fuente: Propia)

4.10.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION

a) GEOMETRIA DE LOS TESTIGOS

La geometría de los testigos que serán ensayados para evaluar la resistencia a la tracción deberán cumplir los mismos requisitos establecidos para el ensayo a compresión, con la diferencia que los extremos no serán refrentados.

La norma técnica de referencia es la NTP 339.059 y la NTP 339.084.

b) PROCEDIMIENTO

El procedimiento para determinar la resistencia a la tracción por el método de compresión diametral se encuentra contemplado en la NTP 339.084.

En líneas generales contempla primeramente dibujar las líneas diametrales sobre cada extremo del elemento, proceder con tomar los datos necesarios para los cálculos, tales como diámetro y longitud y posteriormente a ello debemos posicionar al elemento cilíndrico, centrándola en sus ejes longitudinales sobre dos listones de madera prensada. Si la dimensión mayor de la cara de apoyo superior o inferior es menor a la longitud del cilindro, entonces deberá colocarse barras de apoyo suplementarias, para que la carga pueda aplicarse uniformemente.

La resistencia a la tracción indirecta por el método de compresión diametral o Brasilero se calcula como sigue:

$$T=2P/ \pi LD$$

Donde:

T= resistencia a la tracción indirecta (kgf/cm²)

P= máxima carga aplicada (kgf)

L= longitud (cm)

D=diámetro (cm)



**Figura 4-24: Ensayo de Resistencia a la tracción indirecta por compresión
diametral
(Fuente: Propia)**

CAPÍTULO 5

DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RECOLECCIÓN DE DATOS

5.1. GENERALIDADES

Como se ha visto en el desarrollo del marco teórico de la presente tesis, existen factores que influyen en la eficiencia del curado, y que no pueden ser controladas, tales como las de origen meteorológico.

Ya que la presente tesis, plantea determinar la forma más adecuada de curado que garantice el desarrollo de las propiedades mecánicas del mismo, asumimos estos factores no controlables mencionados anteriormente como una condición dada por igual para todos los grupos de curado, ya que todos los grupos serán vaciados y curados en el mismo periodo, y la misma área geográfica (la cual es de corta delimitación)

Cabe resaltar, además, que estos factores no controlables de origen meteorológico, varían de acuerdo a temporadas durante el año, en nuestro caso estamos tomando las condiciones del mes de marzo y abril, las cuales corresponden en Arequipa, a la temporada de lluvias; no obstante, si bien es cierto que no podemos controlarlas, hemos de hacer un análisis de dichos datos.

Como factores controlables, en la presente tesis se está considerando el diseño de mezclas $f'c=210$ kg/cm² con cemento portland tipo IP, (con todo lo que ello incluye, por ejemplo, la relación a/c) el cual será único e igual para todos los grupos de curado, tanto para los que serán evaluados a compresión, como los que serán evaluados a tracción.

Otro factor controlable, es el tiempo de aplicación y la cantidad de agua o de curador suministrado para cada grupo, la cual en promedio posee valores similares y puede considerarse como fijo; asimismo el horario establecido para el curado es un factor controlable fijo.

Sin duda alguna, el factor más relevante, en torno al cual gira la presente investigación es: el tipo de curado empleado, el cual si varia en 5 metodologías, que a continuación detallamos:

GRUPO I: CURADO HUMEDO POR ASPERSIÓN

GRUPO II: CURADO HUMEDO CON MEMBRANA DE YUTE

GRUPO III: APLICACIÓN CON CURADOR QUÍMICO

GRUPO IV: CURADO EXPUESTO AL AMBIENTE

GRUPO V: CURADO POR INMERSIÓN

ACEPTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Es ideal suponer que los datos obtenidos en laboratorio tengan una variación de 0%, aunque esto no es posible, es lo que más se busca en la realización de los mismos.

Existen pequeños parámetros o variables que se suelen tomar desapercibido, o incluso algunas de ellas no suelen ser tomadas en cuentas por su bajo porcentaje de incidencia, sin embargo, si varias de estas se acumulan podemos sobrepasar las tolerancias permitidas.

Cabe indicar que la norma E.060 de concreto armado, considera al valor $f'c$ como el promedio de dos testigos, en nuestro caso hemos considerado 3 testigos para aminorar el error que puede existir y alcanzar un valor más cercano al real.

Los parámetros más empleados para medir la calidad de los ensayos son la desviación estándar y el coeficiente de variación.

A continuación, presentamos una tabla de variaciones permitidas en función al coeficiente de variación.

Tabla 5-1: Intervalos de variación permitidos para ensayos

| GRADO DE CONTROL | COEFICIENTE DE VARIACIÓN (V) |
|------------------------|------------------------------|
| Ensayos en laboratorio | 5% |
| Excelente en obra | 10%-12% |
| Bueno | 15% |
| Regular | 18% |
| Inferior | 20% |
| Malo | 25% |

(Fuente: Abanto)

5.2. MATRIZ DE ENSAYOS

Para el desarrollo de la presente tesis se planteó evaluar los siguientes grupos de curado, tanto para los ensayos a la compresión, como para los de tracción indirecta.

Tabla 5-2: Matriz de ensayos para resistencia a la compresión

| METODOLOGÍA DE CURADO | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|--|--|-----------------|------------------------|
| EDAD | INMERSIÓN(MODELO PATRÓN) | CUBIERTO CON YUTE APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | ASPERSIÓN APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | CURADOR QUÍMICO | EXPOSICION AL AMBIENTE |
| 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 14 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 28 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| PARCIAL | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| TOTAL | 45 | | | | |

(Fuente: Propia)

Tabla 5-3: Matriz de ensayos para resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral

| METODOLOGÍA DE CURADO | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|--|--|-----------------|------------------------|
| EDAD | INMERSIÓN(MODELO PATRÓN) | CUBIERTO CON YUTE APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | ASPERSIÓN APLICACIÓN DE AGUA DURANTE 3 DIAS (Intervalos-Sistematizado) | CURADOR QUÍMICO | EXPOSICION AL AMBIENTE |
| 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 28 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| PARCIAL | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| TOTAL | 30 | | | | |

(Fuente: Propia)

5.3.RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EL CURADO PATRÓN POR INMERSIÓN
Tabla 5-4: Resultados de resistencia a la compresión para el curado por inmersión

| CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO(gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO(mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | AREA(cm2) | Volumen(m3) | DENSIDAD (kg/m3) | FUERZA (lb) | F'C (Kg/cm2) | F'C PROMEDIO (Kg/cm2) | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION |
|-------------------|------------------|------|-----------------|----------|-------------|----------------------|--------------|------------------------|-----------|-------------|------------------|-------------|--------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| 130318-01 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 3830.00 | 200.40 | 200.20 | 102.05 | 102.53 | 82.56 | 1652.77 | 2317.32 | 35350.00 | 194.23 | | | |
| | | | | | 200.00 | | 103.00 | | | | | | | | | |
| 130318-02 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 4075.00 | 205.50 | 206.20 | 104.00 | 104.15 | 85.19 | 1756.70 | 2319.69 | 35400.00 | 188.48 | 192.94 | 3.98 | 2.06% |
| | | | | | 206.90 | | 104.30 | | | | | | | | | |
| 130318-03 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 4215.00 | 207.20 | 207.10 | 105.20 | 105.23 | 86.96 | 1800.98 | 2340.40 | 37600.00 | 196.12 | | | |
| | | | | | 207.00 | | 105.25 | | | | | | | | | |
| 130318-04 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 3615.00 | 200.50 | 200.50 | 99.35 | 99.08 | 77.09 | 1545.73 | 2338.71 | 37250.00 | 219.17 | | | |
| | | | | | 200.50 | | 98.80 | | | | | | | | | |
| 130318-05 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 4070.00 | 206.00 | 206.05 | 104.35 | 104.28 | 85.40 | 1759.64 | 2312.98 | 44100.00 | 234.24 | 229.93 | 9.38 | 4.08% |
| | | | | | 206.10 | | 104.20 | | | | | | | | | |
| 130318-06 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 4190.00 | 208.10 | 208.05 | 105.40 | 105.55 | 87.50 | 1820.43 | 2301.65 | 45600.00 | 236.39 | | | |
| | | | | | 208.00 | | 105.70 | | | | | | | | | |
| 130318-07 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 4090.00 | 206.50 | 206.15 | 103.10 | 103.45 | 84.05 | 1732.74 | 2360.42 | 50000.00 | 269.83 | | | |
| | | | | | 205.80 | | 103.80 | | | | | | | | | |
| 130318-08 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 4215.00 | 207.30 | 208.10 | 106.20 | 105.85 | 88.00 | 1831.23 | 2301.73 | 51250.00 | 264.17 | 263.40 | 6.85 | 2.60% |
| | | | | | 208.90 | | 105.50 | | | | | | | | | |
| 130318-09 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 4170.00 | 205.60 | 205.60 | 105.50 | 105.10 | 86.76 | 1783.69 | 2337.86 | 49000.00 | 256.19 | | | |
| | | | | | 205.60 | | 104.70 | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.4.RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EL CURADO HUMEDO POR ASPERSIÓN
Tabla 5-5: Resultados de resistencia a la compresión para el curado húmedo por aspersión

| COMPRESIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|------------|-----------------|----------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|--|---------------|------------------|-----------|------------|-------------|--------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO(gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | ALTURA DE TESTIGO REFRENDADO (mm) | ALTURA DE TESTIGO REFRENDADO PROMEDIO (mm) | Volumen(cm3) | DENSIDAD (kg/m3) | RATIO H/D | AREA (cm2) | FUERZA (lb) | F'C (Kg/cm2) | F'C PROMEDIO (Kg/cm2) | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION |
| A S P E R S I O N | C-130318-001 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1246.20 | 134.60 | 134.65 | 71.10 | 71.15 | 135.50 | 135.90 | 535.36 | 2327.78 | 1.91 | 39.76 | 13750.00 | 156.87 | 155.46 | 5.90 | 3.79% |
| | | | | | | 134.70 | | 71.20 | | 136.30 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-002 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1247.90 | 136.10 | 136.05 | 71.25 | 71.23 | 139.70 | 139.60 | 542.07 | 2302.11 | 1.96 | 39.84 | 14100.00 | 160.52 | | | |
| | | | | | | 136.00 | | 71.20 | | 139.50 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-003 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1232.10 | 133.40 | 133.45 | 71.10 | 71.13 | 135.10 | 135.10 | 530.22 | 2323.77 | 1.90 | 39.73 | 13050.00 | 148.98 | | | |
| | | | | | | 133.50 | | 71.15 | | 135.10 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-004 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1275.00 | 137.40 | 137.50 | 71.30 | 71.30 | 139.90 | 140.10 | 549.00 | 2322.41 | 1.96 | 39.93 | 19150.00 | 217.55 | | | |
| | | | | | | 137.60 | | 71.30 | | 140.30 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-005 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1275.80 | 138.00 | 138.15 | 71.40 | 71.35 | 141.15 | 141.38 | 552.37 | 2309.69 | 1.98 | 39.98 | 19450.00 | 220.65 | | | |
| 138.30 | | | | | | 71.30 | | 141.60 | | | | | | | | | | | | |
| C-130318-006 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1270.00 | 138.30 | 138.30 | 71.30 | 71.30 | 140.35 | 140.43 | 552.19 | 2299.92 | 1.97 | 39.93 | 19450.00 | 220.96 | | | | |
| | | | | | 138.30 | | 71.30 | | 140.50 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-007 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1276.00 | 138.40 | 138.45 | 71.10 | 71.20 | 140.50 | 140.60 | 551.24 | 2314.77 | 1.97 | 39.82 | 22100.00 | 251.77 | | | | |
| | | | | | 138.50 | | 71.30 | | 140.70 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-008 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1275.80 | 137.90 | 137.85 | 71.10 | 71.15 | 139.20 | 139.40 | 548.08 | 2327.75 | 1.96 | 39.76 | 22250.00 | 253.84 | | | | |
| | | | | | 137.80 | | 71.20 | | 139.60 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-009 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1272.60 | 137.40 | 137.65 | 71.10 | 71.20 | 139.50 | 139.70 | 548.06 | 2322.02 | 1.96 | 39.82 | 21300.00 | 242.66 | | | | |
| | | | | | 137.90 | | 71.30 | | 139.90 | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.5.RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA EL CURADO HUMEDO CON MEMBRANA DE YUTE

Tabla 5-6: Resultados de resistencia a la compresión para el curado húmedo con membrana de yute

| COMPRESIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------------------|------------|-----------------|----------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|--|---------------|------------------|-----------|------------|-------------|--------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO(gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | ALTURA DE TESTIGO REFRENDADO (mm) | ALTURA DE TESTIGO REFRENDADO PROMEDIO (mm) | Volumen(cm3) | DENSIDAD (kg/m3) | RATIO H/D | AREA (cm2) | FUERZA (lb) | F'C (Kg/cm2) | F'C PROMEDIO (Kg/cm2) | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION |
| YUTE | C-130318-010 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1263.70 | 135.50 | 135.25 | 71.20 | 71.25 | 137.00 | 137.00 | 539.26 | 2343.40 | 1.92 | 39.87 | 17250.00 | 196.24 | 190.53 | 6.73 | 3.53% |
| | | | | | | 135.00 | | 71.30 | | 137.00 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-011 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1238.10 | 135.50 | 135.70 | 71.10 | 71.15 | 137.10 | 137.55 | 539.53 | 2294.75 | 1.93 | 39.76 | 16850.00 | 192.23 | | | |
| | | | | | | 135.90 | | 71.20 | | 138.00 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-012 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1242.70 | 135.10 | 135.10 | 71.10 | 71.15 | 137.60 | 137.80 | 537.15 | 2313.51 | 1.94 | 39.76 | 16050.00 | 183.11 | | | |
| | | | | | | 135.10 | | 71.20 | | 138.00 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-013 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1282.40 | 137.00 | 137.05 | 71.20 | 71.20 | 139.80 | 139.50 | 545.67 | 2350.14 | 1.96 | 39.82 | 18000.00 | 205.06 | | | |
| | | | | | | 137.10 | | 71.20 | | 139.20 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-014 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1275.00 | 137.60 | 137.73 | 71.20 | 71.15 | 140.70 | 140.90 | 547.59 | 2328.40 | 1.98 | 39.76 | 19300.00 | 220.18 | | | |
| 137.85 | | | | | | 71.10 | | 141.10 | | | | | | | | | | | | |
| C-130318-015 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1285.70 | 138.60 | 138.85 | 71.10 | 71.25 | 141.80 | 141.58 | 553.61 | 2322.38 | 1.99 | 39.87 | 19850.00 | 225.82 | | | | |
| | | | | | 139.10 | | 71.40 | | 141.35 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-016 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1277.60 | 138.70 | 138.80 | 71.10 | 71.15 | 140.50 | 140.55 | 551.86 | 2315.08 | 1.98 | 39.76 | 22850.00 | 260.68 | | | | |
| | | | | | 138.90 | | 71.20 | | 140.60 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-017 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1266.60 | 137.30 | 137.30 | 71.30 | 71.30 | 139.40 | 139.45 | 548.20 | 2310.47 | 1.96 | 39.93 | 22200.00 | 252.20 | | | | |
| | | | | | 137.30 | | 71.30 | | 139.50 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-018 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1274.80 | 138.60 | 138.65 | 71.30 | 71.25 | 141.40 | 141.45 | 552.81 | 2306.02 | 1.99 | 39.87 | 22400.00 | 254.83 | | | | |
| | | | | | 138.70 | | 71.20 | | 141.50 | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.6. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA APLICACIÓN DE CURADOR QUÍMICO
Tabla 5-7: Resultados de resistencia a la compresión para la aplicación de curador químico

| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO(gr) | ALTURA | ALTURA | DIAMETRO | DIAMETRO | ALTURA DE | ALTURA DE | Volumen(cm3) | DENSIDAD (kg/m3) | RATIO H/D | AREA (cm2) | FUERZA (lb) | F'C (Kg/cm2) | F'C | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION |
|-----------------|-------------------|------------------|------------|-----------------|----------|--------|---------------|----------|---------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|------------------|-----------|------------|-------------|--------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| | | | | | | (mm) | PROMEDIO (mm) | (mm) | PROMEDIO (mm) | TESTIGO REFRENDADO (mm) | TESTIGO REFRENDADO PROMEDIO (mm) | | | | | | | PROMEDIO (Kg/cm2) | | |
| CURADOR QUÍMICO | C-130318-019 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1259.60 | 135.30 | 135.30 | 71.20 | 71.25 | 137.70 | 137.75 | 539.46 | 2334.94 | 1.93 | 39.87 | 13050.00 | 148.46 | 143.84 | 4.74 | 3.30% |
| | | | | | | 135.30 | | 71.30 | | 137.80 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-020 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1243.80 | 134.70 | 134.98 | 71.30 | 71.20 | 138.30 | 138.50 | 537.41 | 2314.45 | 1.95 | 39.82 | 12200.00 | 138.99 | | | |
| | | | | | | 135.25 | | 71.10 | | 138.70 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-021 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1257.20 | 136.40 | 136.80 | 71.40 | 71.35 | 137.50 | 137.60 | 546.97 | 2298.48 | 1.93 | 39.98 | 12700.00 | 144.08 | | | |
| | | | | | | 137.20 | | 71.30 | | 137.70 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-022 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1275.40 | 138.50 | 138.55 | 71.40 | 71.35 | 141.20 | 141.25 | 553.97 | 2302.30 | 1.98 | 39.98 | 16700.00 | 189.45 | | | |
| | | | | | | 138.60 | | 71.30 | | 141.30 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-023 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1277.90 | 137.60 | 137.90 | 71.30 | 71.35 | 139.90 | 140.50 | 551.37 | 2317.69 | 1.97 | 39.98 | 17650.00 | 200.23 | | | |
| 138.20 | | | | | | 71.40 | | 141.10 | | | | | | | | | | | | |
| C-130318-024 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1280.80 | 138.55 | 138.58 | 71.30 | 71.30 | 140.70 | 140.80 | 553.29 | 2314.87 | 1.97 | 39.93 | 16350.00 | 185.74 | | | | |
| | | | | | 138.60 | | 71.30 | | 140.90 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-025 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1275.80 | 138.00 | 138.25 | 71.20 | 71.25 | 141.00 | 141.25 | 551.22 | 2314.50 | 1.98 | 39.87 | 21200.00 | 241.18 | | | | |
| | | | | | 138.50 | | 71.30 | | 141.50 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-026 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1283.30 | 138.80 | 138.70 | 71.20 | 71.25 | 141.50 | 141.70 | 553.01 | 2320.56 | 1.99 | 39.87 | 19800.00 | 225.25 | | | | |
| | | | | | 138.60 | | 71.30 | | 141.90 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-027 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1262.80 | 137.60 | 137.35 | 71.20 | 71.25 | 139.50 | 139.60 | 547.63 | 2305.93 | 1.96 | 39.87 | 21600.00 | 245.73 | | | | |
| | | | | | 137.10 | | 71.30 | | 139.70 | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIN CURADO ALGUNO
Tabla 5-8: Resultados de resistencia a la compresión sin curado alguno

| COMPRESIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|------------|-----------------|----------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|--|---------------|------------------|-----------|------------|-------------|--------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO(gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | ALTURA DE TESTIGO REFRENDADO (mm) | ALTURA DE TESTIGO REFRENDADO PROMEDIO (mm) | Volumen(cm3) | DENSIDAD (kg/m3) | RATIO H/D | AREA (cm2) | FUERZA (lb) | F'C (Kg/cm2) | F'C PROMEDIO (Kg/cm2) | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION |
| S I N C U R A D O | C-130318-028 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1249.80 | 134.45 | 134.55 | 71.10 | 71.18 | 137.00 | 137.50 | 535.34 | 2334.60 | 1.93 | 39.79 | 12550.00 | 143.08 | 149.39 | 6.91 | 4.63% |
| | | | | | | 134.65 | | 71.25 | | 138.00 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-029 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1239.10 | 136.10 | 135.80 | 71.30 | 71.30 | 137.80 | 137.80 | 542.21 | 2285.27 | 1.93 | 39.93 | 13800.00 | 156.77 | | | |
| | | | | | | 135.50 | | 71.30 | | 137.80 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-030 | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 1234.40 | 135.50 | 135.60 | 71.00 | 71.15 | 137.50 | 137.55 | 539.14 | 2289.58 | 1.93 | 39.76 | 13000.00 | 148.31 | | | |
| | | | | | | 135.70 | | 71.30 | | 137.60 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-031 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1284.00 | 138.80 | 138.75 | 71.10 | 71.35 | 140.80 | 140.75 | 554.77 | 2314.48 | 1.97 | 39.98 | 16100.00 | 182.65 | | | |
| | | | | | | 138.70 | | 71.60 | | 140.70 | | | | | | | | | | |
| | C-130318-032 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1289.10 | 138.50 | 138.60 | 71.40 | 71.30 | 140.00 | 140.30 | 553.39 | 2329.46 | 1.97 | 39.93 | 17950.00 | 203.92 | | | |
| 138.70 | | | | | | 71.20 | | 140.60 | | | | | | | | | | | | |
| C-130318-033 | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 1273.80 | 137.40 | 137.30 | 71.40 | 71.40 | 139.50 | 139.20 | 549.74 | 2317.10 | 1.95 | 40.04 | 17400.00 | 197.12 | | | | |
| | | | | | 137.20 | | 71.40 | | 138.90 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-034 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1285.50 | 138.10 | 137.95 | 71.10 | 71.15 | 139.90 | 140.65 | 548.48 | 2343.75 | 1.98 | 39.76 | 21300.00 | 243.00 | | | | |
| | | | | | 137.80 | | 71.20 | | 141.40 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-035 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1290.30 | 137.80 | 137.93 | 71.20 | 71.25 | 140.40 | 140.50 | 549.92 | 2346.32 | 1.97 | 39.87 | 22350.00 | 254.26 | | | | |
| | | | | | 138.05 | | 71.30 | | 140.60 | | | | | | | | | | | |
| C-130318-036 | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 1280.80 | 137.80 | 137.60 | 71.20 | 71.23 | 140.60 | 140.55 | 548.24 | 2336.19 | 1.97 | 39.84 | 21500.00 | 244.76 | | | | |
| | | | | | 137.40 | | 71.25 | | 140.50 | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.8.RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL PARA EL CURADO PATRÓN POR INMERSIÓN

Tabla 5-9: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado patrón por inmersión

| CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO(gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO(mm) | Volumen(cm ³) | DENSIDAD(kg/m ³) | FUERZA (lb) | fsp(kg/cm ²) | fsp PROMEDIO(Kg/cm ²) | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION |
|-------------------|------------------|------|-----------------|----------|-------------|----------------------|---------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|
| 140318-010 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 4115.00 | 208.30 | 208.80 | 105.70 | 106.00 | 1842.60 | 2233.25 | 21500.00 | 28.05 | 29.39 | 1.17 | 3.99% |
| | | | | | 209.30 | | 106.30 | | | | | | | | |
| 140318-011 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 4185.00 | 207.50 | 207.60 | 105.40 | 105.30 | 1807.90 | 2314.84 | 22600.00 | 29.85 | 29.39 | 1.17 | 3.99% |
| | | | | | 207.70 | | 105.20 | | | | | | | | |
| 140318-012 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 3865.00 | 201.10 | 201.15 | 103.40 | 103.45 | 1690.72 | 2286.01 | 21800.00 | 30.25 | 29.39 | 1.17 | 3.99% |
| | | | | | 201.20 | | 103.50 | | | | | | | | |
| 140318-013 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 4155.00 | 204.20 | 204.70 | 104.35 | 104.38 | 1751.46 | 2372.30 | 25750.00 | 34.80 | 36.20 | 1.29 | 3.57% |
| | | | | | 205.20 | | 104.40 | | | | | | | | |
| 140318-014 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 4080.00 | 205.30 | 205.25 | 104.60 | 104.70 | 1767.12 | 2308.84 | 27800.00 | 37.36 | 36.20 | 1.29 | 3.57% |
| | | | | | 205.20 | | 104.80 | | | | | | | | |
| 140318-015 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 3860.00 | 201.80 | 201.80 | 101.80 | 102.10 | 1652.20 | 2336.28 | 26000.00 | 36.44 | 36.20 | 1.29 | 3.57% |
| | | | | | 201.80 | | 102.40 | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.9.RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL PARA EL CURADO HUMEDO POR ASPERSIÓN

Tabla 5-10: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado húmedo por aspersión

| TRACCIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|------------|-----------------|------------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|-------|------|------|-------|
| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO (gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | Volumen(cm ³) | DENSIDAD (kg/m ³) | FUERZA (lb) | fsp (Kg/cm ²) | fsp PROMEDIO (Kg/cm ²) | RATIO | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION | | | | |
| A S P E R S I Ó N | I | T-140318-001 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1313.40 | 142.40 | 142.50 | 71.20 | 71.25 | 568.17 | 2311.65 | 9500.00 | 27.02 | 2.00 | 0.72 | 2.60% | | | | |
| | | | | | | | 142.60 | | 71.30 | | | | | | | | | | | | |
| | | T-140318-002 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1314.30 | 142.00 | 142.10 | 71.10 | 71.15 | 564.98 | 2326.27 | 9950.00 | 28.42 | | | | 27.83 | 2.00 | 0.72 | 2.60% |
| | | | | | | | 142.20 | | 71.20 | | | | | | | | | | | | |
| | | T-140318-003 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1279.70 | 140.90 | 140.90 | 71.20 | 71.25 | 561.79 | 2277.92 | 9750.00 | 28.04 | | | | 28.04 | 1.98 | 0.72 | 2.60% |
| | | | | | | | 140.90 | | 71.30 | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-004 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1331.80 | 143.30 | 143.25 | 71.30 | 71.30 | 571.96 | 2328.50 | 12800.00 | 36.19 | 36.19 | 2.01 | 2.36 | 7.00% | | | | |
| | | | | | | 143.20 | | 71.30 | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-005 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1304.80 | 141.30 | 141.45 | 71.40 | 71.38 | 565.96 | 2305.47 | 11000.00 | 31.46 | 33.77 | 1.98 | 2.36 | 7.00% | | | | |
| | | | | | | 141.60 | | 71.35 | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-006 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1320.30 | 142.20 | 142.75 | 71.50 | 71.50 | 573.16 | 2303.53 | 11900.00 | 33.67 | 33.67 | 2.00 | 2.36 | 7.00% | | | | |
| | | | | | | 143.30 | | 71.50 | | | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.10. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL PARA EL CURADO HUMEDO CON MEMBRANA DE YUTE

Tabla 5-11: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para el curado húmedo con membrana de yute

| TRACCIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|------------------|------|-----------------|-----------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO (gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | Volumen(cm ³) | DENSIDAD (kg/m ³) | FUERZA (lb) | fsp (Kg/cm ²) | fsp PROMEDIO (Kg/cm ²) | RATIO | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION | | | | | | | | | | | | |
| Y U T E | T-140318-007 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1315.90 | 142.70 | 142.70 | 71.40 | 71.25 | 568.96 | 2312.81 | 10300.00 | 29.25 | 27.67 | 2.00 | 1.37 | 4.94% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 142.70 | | 71.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-008 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1299.60 | 141.70 | 141.75 | 71.10 | 71.13 | 563.19 | 2307.56 | 9380.00 | 26.87 | | 27.67 | | | 1.99 | 1.37 | 4.94% | | | | | | | | | |
| | | | | | | 141.80 | | 71.15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-009 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1310.80 | 141.40 | 141.60 | 71.20 | 71.25 | 564.58 | 2321.74 | 9400.00 | 26.90 | | | | | 27.67 | | | 1.99 | 1.37 | 4.94% | | | | | | |
| | | | | | | 141.80 | | 71.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-010 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1306.10 | 142.40 | 142.00 | 71.30 | 71.35 | 567.76 | 2300.44 | 12050.00 | 34.34 | | | 27.67 | | | | | 1.99 | | | 0.58 | 1.70% | | | | |
| | | | | | | 141.60 | | 71.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-011 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1303.20 | 141.80 | 141.85 | 71.40 | 71.40 | 567.96 | 2294.54 | 12250.00 | 34.93 | | | | | | 27.67 | | 1.99 | | | | | 0.58 | 1.70% | | |
| | | | | | | 141.90 | | 71.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-012 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1309.20 | 142.20 | 142.00 | 71.40 | 71.38 | 568.16 | 2304.28 | 11850.00 | 33.76 | | | | | | | | 27.67 | 1.99 | | | | | | 0.58 | 1.70% |
| | | | | | | 141.80 | | 71.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.11. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL PARA LA APLICACIÓN DE CURADOR QUÍMICO

Tabla 5-12: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral para la aplicación de curador químico

| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO (gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | Volumen(cm ³) | DENSIDAD (kg/m ³) | FUERZA (lb) | fsp (Kg/cm ²) | fsp PROMEDIO (Kg/cm ²) | RATIO | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|------|-----------------|-----------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| C U R A D O R Q U I M I C O | T-140318-013 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1277.70 | 141.90 | 141.90 | 71.30 | 71.35 | 567.36 | 2252.00 | 8900.00 | 25.38 | 23.94 | 1.99 | 1.38 | 5.75% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 141.90 | | 71.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-014 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1309.60 | 143.00 | 143.20 | 71.20 | 71.20 | 570.15 | 2296.92 | 8400.00 | 23.79 | | 23.94 | | | 2.01 | 1.38 | 5.75% | | | | | | | | | |
| | | | | | | 143.40 | | 71.20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-015 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1306.70 | 142.90 | 142.90 | 71.40 | 71.40 | 572.16 | 2283.80 | 8000.00 | 22.64 | | | | | 23.94 | | | 2.00 | 1.38 | 5.75% | | | | | | |
| | | | | | | 142.90 | | 71.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-016 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1304.40 | 141.00 | 141.20 | 71.40 | 71.35 | 564.56 | 2310.46 | 10450.00 | 29.95 | | | 23.94 | | | | | 1.98 | | | 1.07 | 3.69% | | | | |
| | | | | | | 141.40 | | 71.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-017 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1284.40 | 140.40 | 140.55 | 71.30 | 71.55 | 565.12 | 2272.80 | 10300.00 | 29.58 | | | | | | 23.94 | | 1.96 | | | | | 1.07 | 3.69% | | |
| | | | | | | 140.70 | | 71.80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-018 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1299.00 | 141.60 | 141.70 | 71.30 | 71.50 | 568.95 | 2283.17 | 9800.00 | 27.93 | | | | | | | | 23.94 | 1.98 | | | | | | 1.07 | 3.69% |
| | | | | | | 141.80 | | 71.70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

5.12. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL SIN CURADO ALGUNO
Tabla 5-13: Resultados de resistencia a la tracción por compresión diametral sin curado alguno

| TRACCIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|------|-----------------|-----------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|------|-------|-------|
| GRUPO CONTROL | CODIGO DE PROBETA | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | PESO (gr) | ALTURA (mm) | ALTURA PROMEDIO (mm) | DIAMETRO (mm) | DIAMETRO PROMEDIO (mm) | Volumen(cm ³) | DENSIDAD (kg/m ³) | FUERZA (lb) | fsp (Kg/cm ²) | fsp PROMEDIO (Kg/cm ²) | RATIO | DESVIACION ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIACION | | | |
| S I N C U R A D O | T-140318-019 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1290.30 | 141.90 | 142.10 | 71.20 | 71.25 | 566.57 | 2277.39 | 9050.00 | 25.81 | 26.68 | 1.99 | 1.08 | 4.06% | | | |
| | | | | | | 142.30 | | 71.30 | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-020 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1303.10 | 142.30 | 142.35 | 71.30 | 71.28 | 567.97 | 2294.33 | 9800.00 | 27.89 | | 2.00 | | | 2.00 | 1.26 | 4.27% |
| | | | | | | 142.40 | | 71.25 | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-021 | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 1291.00 | 142.20 | 142.30 | 71.20 | 71.30 | 568.16 | 2272.23 | 9250.00 | 26.33 | | 2.00 | | | 1.98 | 1.26 | 4.27% |
| | | | | | | 142.40 | | 71.40 | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-022 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1294.20 | 141.90 | 141.80 | 71.40 | 71.45 | 568.55 | 2276.31 | 10000.00 | 28.50 | | 29.45 | 1.98 | | 1.26 | 4.27% | |
| | | | | | | 141.70 | | 71.50 | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-023 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1287.10 | 141.40 | 141.45 | 71.40 | 71.50 | 567.94 | 2266.25 | 10150.00 | 28.98 | | 29.45 | 1.98 | | 1.26 | 4.27% | |
| | | | | | | 141.50 | | 71.60 | | | | | | | | | | | | |
| | T-140318-024 | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 1279.40 | 141.30 | 141.35 | 71.40 | 71.45 | 566.75 | 2257.44 | 10800.00 | 30.88 | | 29.45 | 1.98 | | 1.26 | 4.27% | |
| | | | | | | 141.40 | | 71.50 | | | | | | | | | | | | |

(Fuente: Propia)

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. GENERALIDADES

Con la finalidad de determinar cuál es la forma más adecuada de curado que debemos aplicar en obra, plantemos los siguientes comparativos:

- a) Comparativo entre las resistencias de rotura f^c
- b) Comparativo en función a la resistencia promedio a la compresión requerida f^{cr} (solo para la resistencia a la compresión)
- c) Comparativo en función a la resistencia de curado por inmersión
- d) Comparativo de los incrementos de resistencia en función a las testigos sin curado alguno.

6.1.1. DATOS METEREOLÓGICOS DURANTE EL PERIODO DE CURADO

Cabe resaltar que no podemos desligar la eficiencia de los métodos de curado de las condiciones meteorológicas del lugar donde estamos realizando la presente tesis, por lo que es indispensable presentar los valores meteorológicos que influyen en la eficiencia del curado, tales como: Temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del tiempo y precipitaciones.

Los datos recabados en los siguientes cuadros han sido solicitados a la institución del SENAMHI, los cuales pertenecen a la estación meteorológica “LA PAMPILLA”, teniendo las coordenadas Lat.16°24’50”S, Long.71°32’04”W ubicada a una altitud de 2326 m.s.n.m. dentro del Campus Universitario de la UNSA.

Los datos pertenecen al periodo de curado, comprendido entre el 13/03/2018 y 11/04/2018

Tabla 6-1: Temperatura diaria ambiente –Periodo de Curado

| | TEMPERATURA DIARIA AMBIENTE (°C) | | |
|------------|-------------------------------------|----------|----------|
| | 7 Horas | 13 Horas | 19 Horas |
| 13/03/2018 | 13.2 | 24.8 | 16 |
| 14/03/2018 | 14 | 23.8 | 15.4 |
| 15/03/2018 | 13 | 21.4 | 15 |
| 16/03/2018 | 13.6 | 22 | 15.6 |
| 17/03/2018 | 14.2 | 22 | 15.2 |
| 18/03/2018 | 12.4 | 22.8 | 14.8 |
| 19/03/2018 | 15 | 21.4 | 15.8 |
| 20/03/2018 | 15 | 22.8 | 16.2 |
| 21/03/2018 | 15.2 | 21.4 | 16 |
| 22/03/2018 | 14.6 | 21.2 | 15.8 |
| 23/03/2018 | 14.8 | 22 | 15 |
| 24/03/2018 | 14 | 19 | 14.8 |
| 25/03/2018 | 11.6 | 22.6 | 13.8 |
| 26/03/2018 | 13 | 23.2 | 14.2 |
| 27/03/2018 | 14 | 22.8 | 15.2 |
| 28/03/2018 | 13 | 23.8 | 14.8 |
| 29/03/2018 | 12.6 | 24 | 15 |
| 30/03/2018 | 12.4 | 23.6 | 14.2 |
| 31/03/2018 | 9.2 | 22.6 | 14.6 |
| 1/04/2018 | 9.8 | 22.8 | 13.2 |
| 2/04/2018 | 9.2 | 22 | 14.4 |
| 3/04/2018 | 11 | 20.8 | 14.2 |
| 4/04/2018 | 11.6 | 21.4 | 15.2 |
| 5/04/2018 | 10 | 22.2 | 14.6 |
| 6/04/2018 | 11 | 21.8 | 15.2 |
| 7/04/2018 | 11 | 21 | 14.2 |
| 8/04/2018 | 11.8 | 17.8 | 14 |
| 9/04/2018 | 12.8 | 18.6 | 12 |
| 10/04/2018 | 14 | 22.2 | 14.8 |
| 11/04/2018 | 12.4 | 20.8 | 14 |

(Fuente: Propia)

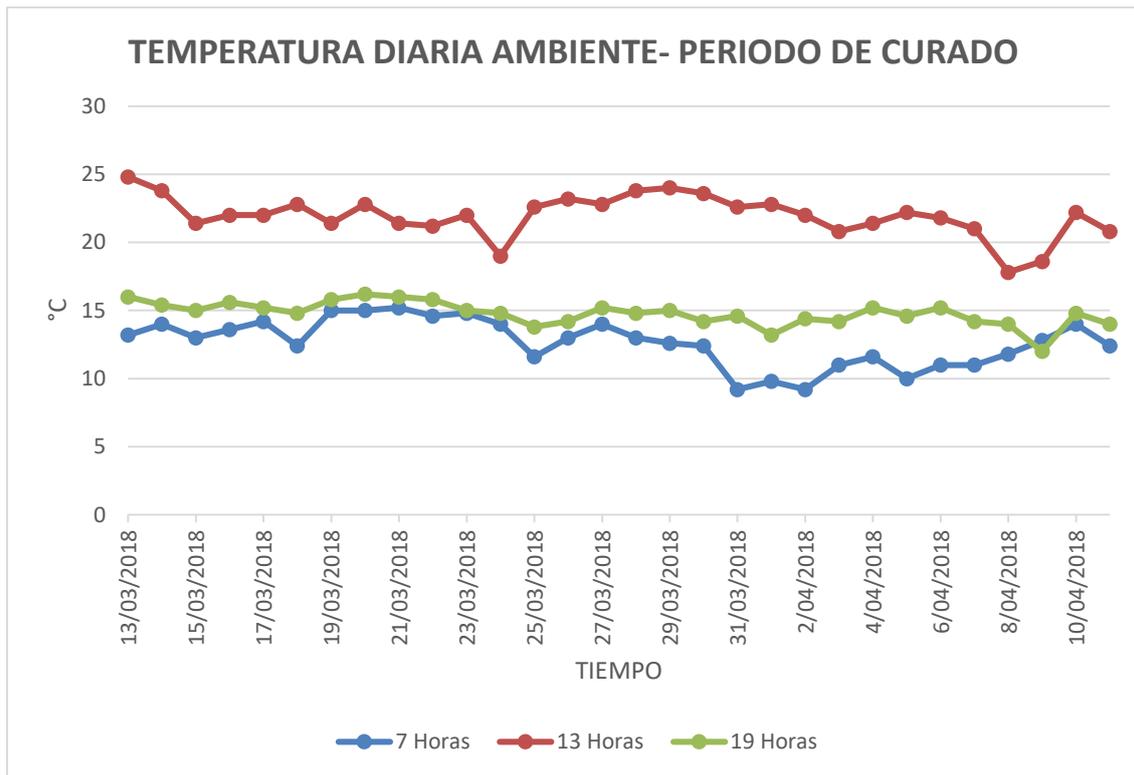


Figura 6-1: Temperatura diaria ambiente-periodo de curado

(Fuente: Propia)

Tabla 6-2: Humedad Relativa diaria –Periodo de Curado

| | HUMEDAD RELATIVA (%) | | |
|------------|----------------------|----------|----------|
| | 7 Horas | 13 Horas | 19 Horas |
| 13/03/2018 | 68 | 28 | 74 |
| 14/03/2018 | 57 | 35 | 72 |
| 15/03/2018 | 63 | 47 | 73 |
| 16/03/2018 | 70 | 46 | 75 |
| 17/03/2018 | 78 | 45 | 75 |
| 18/03/2018 | 73 | 42 | 71 |
| 19/03/2018 | 72 | 48 | 53 |
| 20/03/2018 | 65 | 35 | 66 |
| 21/03/2018 | 68 | 42 | 69 |
| 22/03/2018 | 76 | 51 | 79 |
| 23/03/2018 | 76 | 45 | 82 |
| 24/03/2018 | 78 | 54 | 75 |
| 25/03/2018 | 80 | 40 | 85 |

| | | | |
|------------|----|----|----|
| 26/03/2018 | 81 | 46 | 81 |
| 27/03/2018 | 73 | 49 | 75 |
| 28/03/2018 | 77 | 42 | 66 |
| 29/03/2018 | 56 | 34 | 75 |
| 30/03/2018 | 50 | 42 | 78 |
| 31/03/2018 | 55 | 47 | 75 |
| 1/04/2018 | 59 | 37 | 72 |
| 2/04/2018 | 74 | 43 | 71 |
| 3/04/2018 | 78 | 47 | 81 |
| 4/04/2018 | 71 | 41 | 68 |
| 5/04/2018 | 61 | 42 | 66 |
| 6/04/2018 | 52 | 25 | 67 |
| 7/04/2018 | 63 | 45 | 71 |
| 8/04/2018 | 78 | 56 | 78 |
| 9/04/2018 | 77 | 56 | 80 |
| 10/04/2018 | 64 | 41 | 70 |
| 11/04/2018 | 79 | 46 | 64 |

(Fuente: Propia)

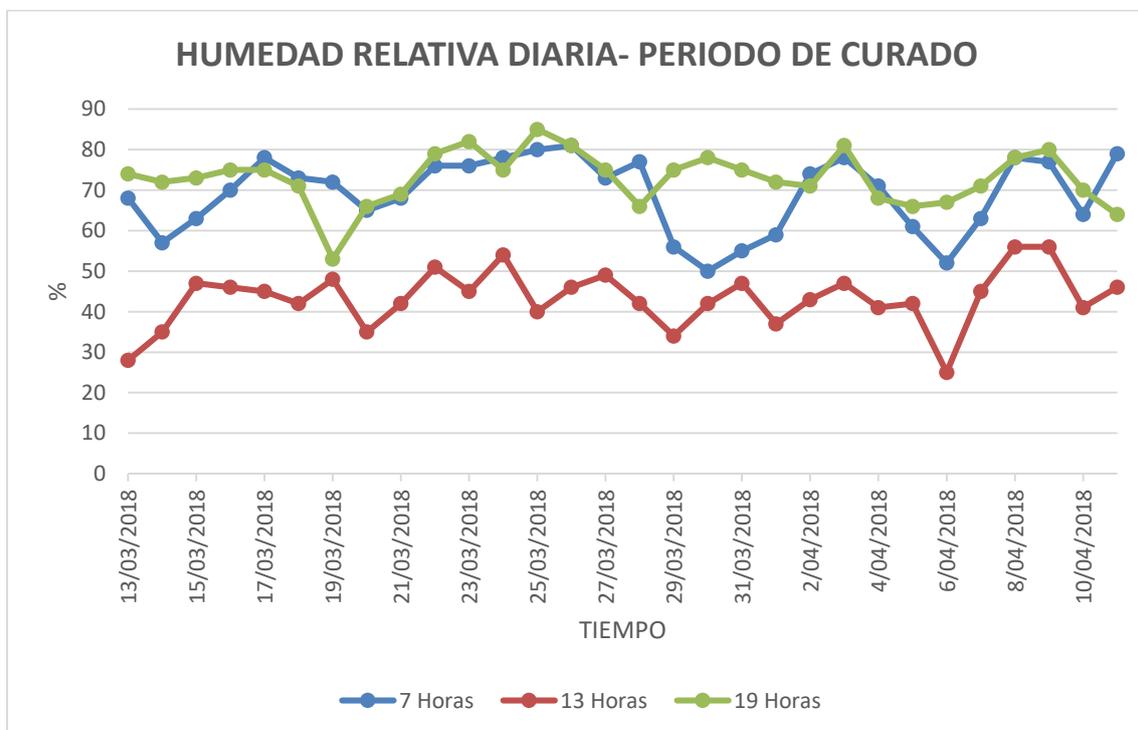


Figura 6-2: Humedad relativa diaria-periodo de curado

(Fuente: Propia)

Tabla 6-3: Velocidad del viento diario-periodo de curado

| | VELOCIDAD DEL VIENTO | | | | | |
|------------|----------------------|---------|-----|----------|-----|----------|
| | DIR | 7 Horas | DIR | 13 Horas | DIR | 19 Horas |
| 13/03/2018 | SW | 2 | SW | 8 | SW | 6 |
| 14/03/2018 | SW | 2 | W | 7 | SW | 5 |
| 15/03/2018 | SW | 1 | SW | 8 | SW | 5 |
| 16/03/2018 | SW | 1 | SW | 7 | SW | 6 |
| 17/03/2018 | SW | 2 | SW | 7 | SW | 5 |
| 18/03/2018 | SW | 2 | SW | 7 | SW | 5 |
| 19/03/2018 | SW | 1 | SW | 7 | SW | 6 |
| 20/03/2018 | SW | 1 | SW | 7 | SW | 6 |
| 21/03/2018 | SW | 1 | SW | 8 | SW | 5 |
| 22/03/2018 | SW | 1 | W | 5 | SW | 5 |
| 23/03/2018 | SW | 1 | SW | 8 | SW | 5 |
| 24/03/2018 | SW | 2 | W | 8 | SW | 5 |
| 25/03/2018 | SW | 2 | SW | 8 | SW | 5 |
| 26/03/2018 | SW | 2 | SW | 7 | SW | 6 |
| 27/03/2018 | SW | 1 | SW | 8 | SW | 6 |
| 28/03/2018 | SW | 2 | SW | 7 | SW | 5 |
| 29/03/2018 | S | 1 | WSW | 4 | SW | 6 |
| 30/03/2018 | SW | 2 | W | 5 | SW | 3 |
| 31/03/2018 | N | 1 | W | 5 | SW | 3 |
| 1/04/2018 | WSW | 2 | SW | 6 | SW | 5 |
| 2/04/2018 | S | 1 | WSW | 6 | SW | 5 |
| 3/04/2018 | SW | 2 | WSW | 6 | SW | 6 |
| 4/04/2018 | SW | 1 | WSW | 7 | SW | 6 |
| 5/04/2018 | S | 1 | W | 7 | SW | 5 |
| 6/04/2018 | SW | 2 | SW | 8 | S | 6 |
| 7/04/2018 | S | 1 | W | 7 | SW | 6 |
| 8/04/2018 | SW | 2 | SW | 7 | SW | 6 |
| 9/04/2018 | S | 1 | SW | 8 | SW | 6 |
| 10/04/2018 | SW | 1 | SW | 7 | SW | 6 |
| 11/04/2018 | SW | 2 | SW | 7 | SW | 6 |

(Fuente: Propia)

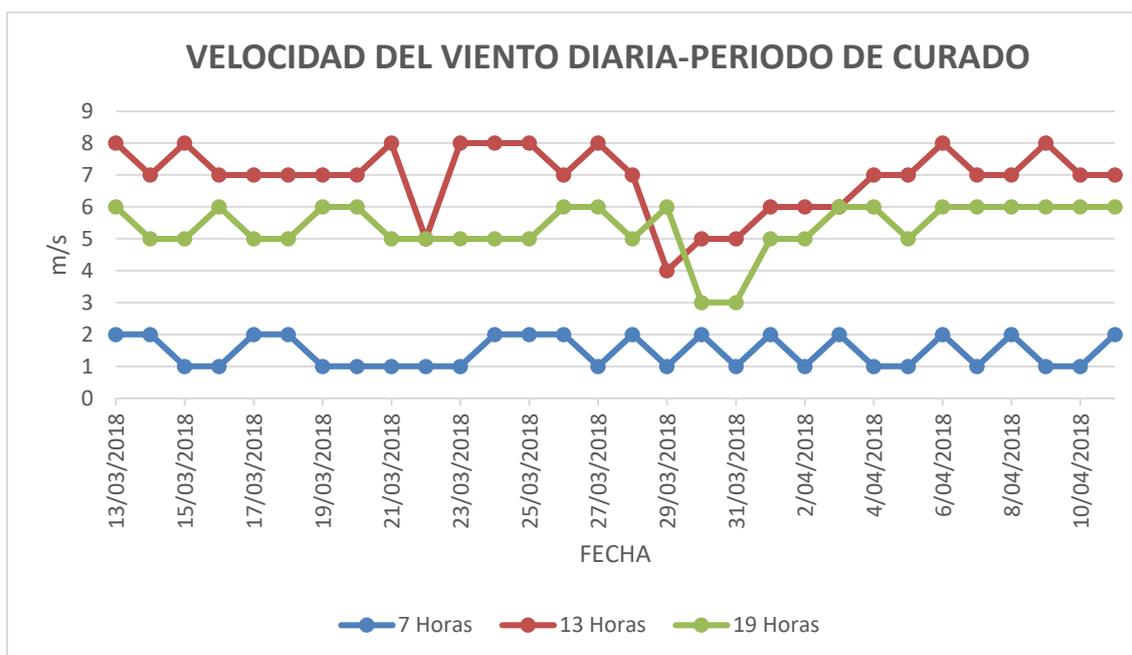


Figura 6-3: Velocidad del viento diaria-periodo de curado
(Fuente: Propia)

Tabla 6-4: Precipitaciones diarias-periodo de curado

| | PRECIPITACION DIARIA | |
|------------|-----------------------------|-----------------|
| | (mm/dia) | |
| | 7 horas | 19 horas |
| 13/03/2018 | 0 | 0 |
| 14/03/2018 | 0 | 0 |
| 15/03/2018 | 0 | 0 |
| 16/03/2018 | 0 | 0 |
| 17/03/2018 | 0 | 0 |
| 18/03/2018 | 0 | 0 |
| 19/03/2018 | 0 | 0 |
| 20/03/2018 | 0 | 0 |
| 21/03/2018 | 0 | 0.6 |
| 22/03/2018 | 5.2 | 0 |
| 23/03/2018 | 0 | 0 |
| 24/03/2018 | 0 | 0 |
| 25/03/2018 | 0 | 0 |
| 26/03/2018 | 0 | 0 |

| | | |
|------------|---|---|
| 27/03/2018 | 0 | 0 |
| 28/03/2018 | 0 | 0 |
| 29/03/2018 | 0 | 0 |
| 30/03/2018 | 0 | 0 |
| 31/03/2018 | 0 | 0 |
| 1/04/2018 | 0 | 0 |
| 2/04/2018 | 0 | 0 |
| 3/04/2018 | 0 | 0 |
| 4/04/2018 | 0 | 0 |
| 5/04/2018 | 0 | 0 |
| 6/04/2018 | 0 | 0 |
| 7/04/2018 | 0 | 0 |
| 8/04/2018 | 0 | 0 |
| 9/04/2018 | 0 | 0 |
| 10/04/2018 | 0 | 0 |
| 11/04/2018 | 0 | 0 |

(Fuente: Propia)

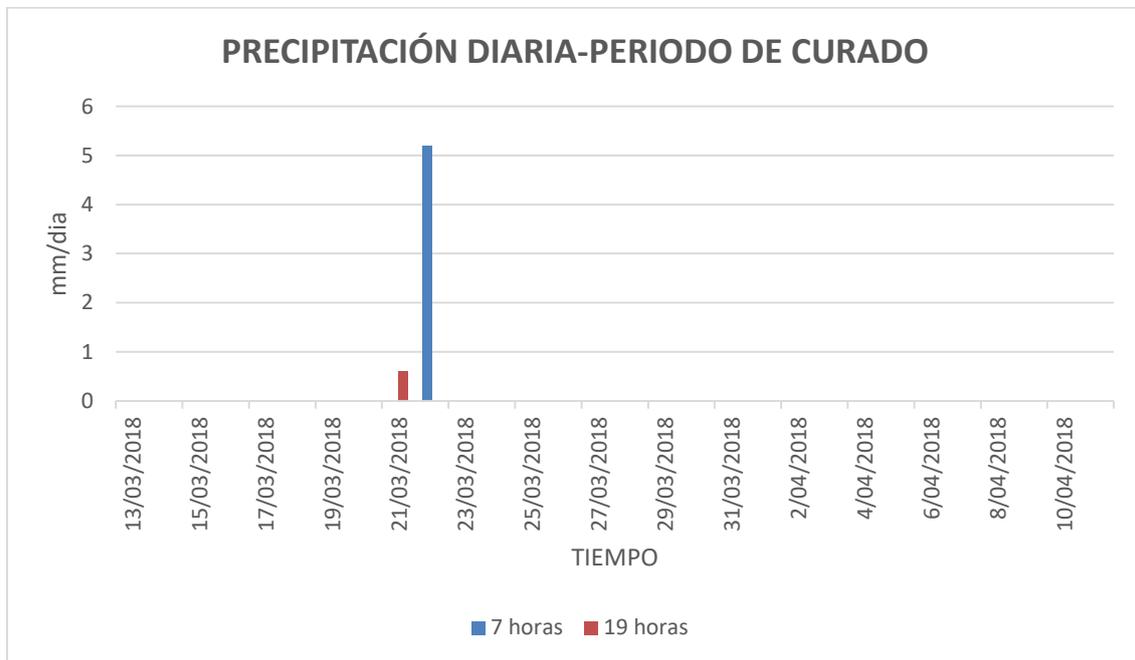


Figura 6-4: Precipitación diaria-periodo de curado

(Fuente: Propia)

6.1.2. TEMPERATURAS DEL AGUA DE CURADO HUMEDO REGISTRADO

A continuación, presentamos el cuadro con las temperaturas registradas del agua de curado aplicada los tres primeros días.

Tabla 6-5: Temperatura de agua de curado para testigos sometidos a compresión

| COMPRESIÓN | | |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| FECHA DE CURADO | TEMPERATURA 10:00hrs (°C) | TEMPERATURA 15:00hrs (°C) |
| 14/03/2018 | 22.5 | 22.1 |
| 15/03/2018 | 22.1 | 21.8 |
| 16/03/2018 | 22.2 | 21.5 |

(Fuente: Propia)

Tabla 6-6: Temperatura de agua de curado para testigos sometidos a tracción indirecta

| TRACCION INDIRECTA | | |
|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| FECHA DE CURADO | TEMPERATURA 10:00hrs (°C) | TEMPERATURA 15:00hrs (°C) |
| 15/03/2018 | 22.1 | 21.8 |
| 16/03/2018 | 22.2 | 21.5 |
| 17/03/2018 | 21.7 | 19.5 |

(Fuente: Propia)

6.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

6.2.1. COMPARATIVO ENTRE LAS RESISTENCIAS DE ROTURA F'c

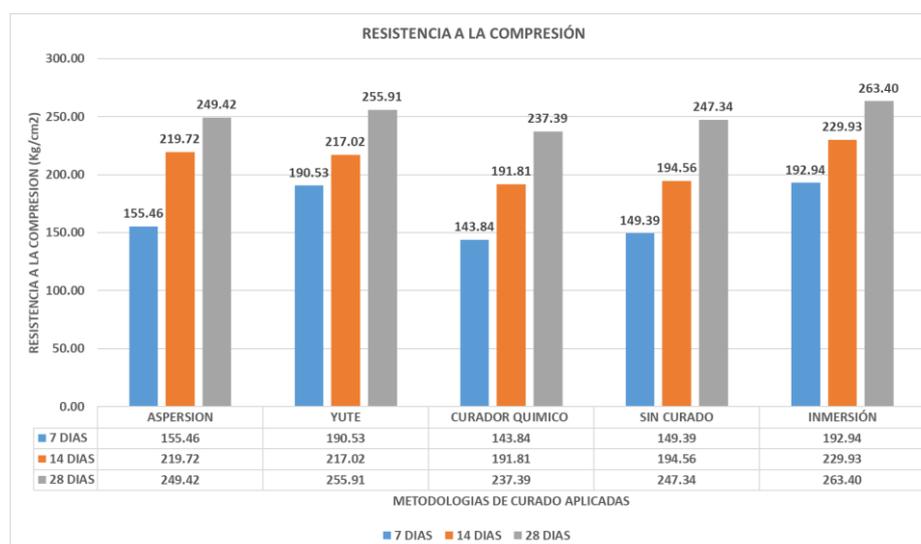


Figura 6-5: Comparativo entre las resistencias de rotura f'c
(Fuente: Propia)

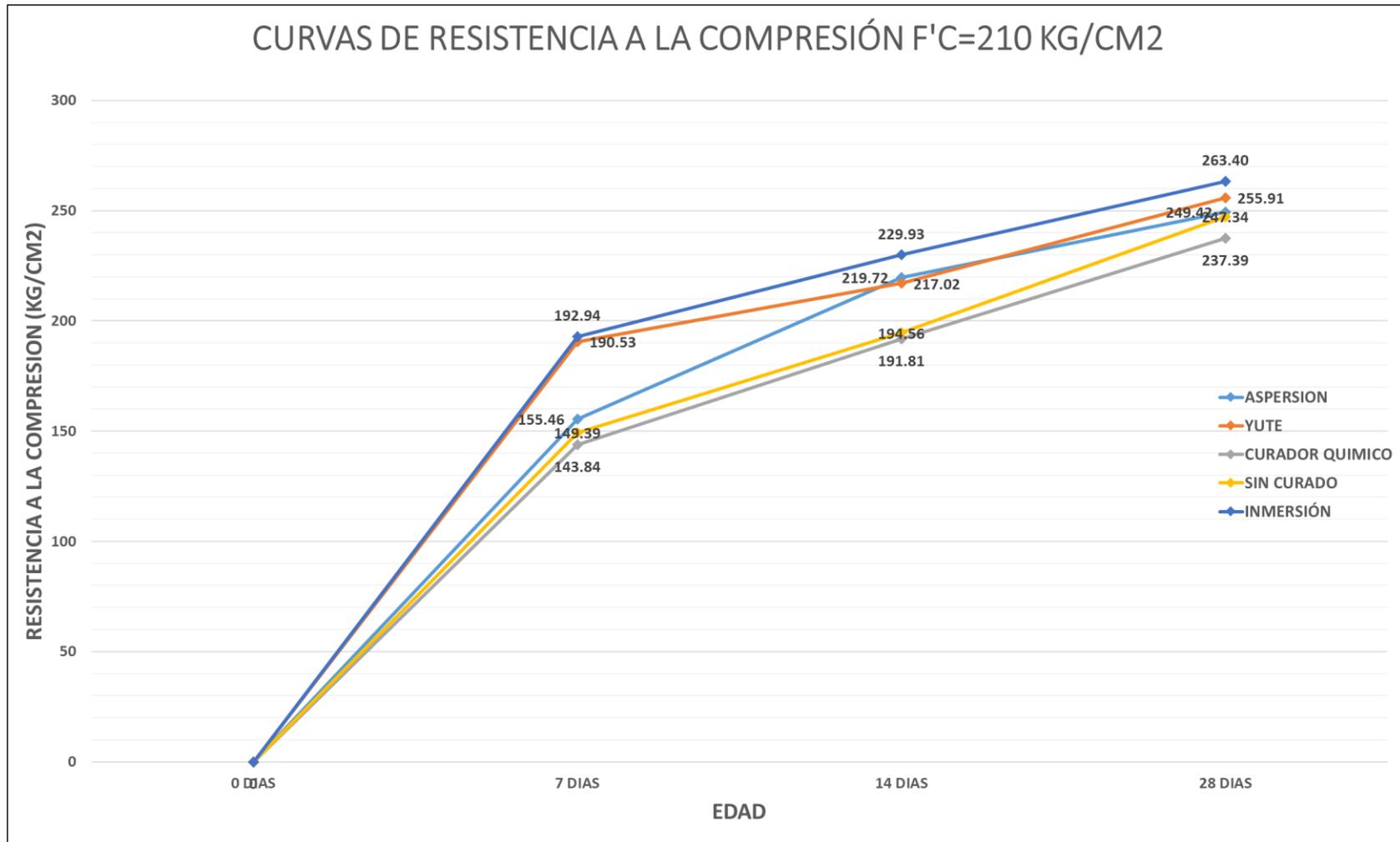


Figura 6-6: Curvas de resistencia la compresión $f'c=210$ kg/cm²
 (Fuente: Propia)

6.2.2. COMPARATIVO EN FUNCIÓN A LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA f'_{cr}

Tabla 6-7: Comparativo en función a la resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr}

| COMPRESIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | | |
|--|---------------|------------------|------|-----------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | GRUPO CONTROL | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | F'C PROMEDIO (Kg/cm ²) | FC'R (Kg/cm ²) | RESISTENCIA GANADA(%) |
| A S P E R S I Ó N | I | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 155.46 | 294.00 | 52.88% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 219.72 | 294.00 | 74.74% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 249.42 | 294.00 | 84.84% |
| Y U T E | II | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 190.53 | 294.00 | 64.81% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 217.02 | 294.00 | 73.82% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 255.91 | 294.00 | 87.04% |
| C Q U R I A M D I O C R O | III | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 143.84 | 294.00 | 48.93% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 191.81 | 294.00 | 65.24% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 237.39 | 294.00 | 80.74% |
| C U R I A M D I O C R O | IV | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 149.39 | 294.00 | 50.81% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 194.56 | 294.00 | 66.18% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 247.34 | 294.00 | 84.13% |
| I N M E R S I Ó N | V | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 192.94 | 294.00 | 65.63% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 229.93 | 294.00 | 78.21% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 263.40 | 294.00 | 89.59% |

(Fuente: Propia)

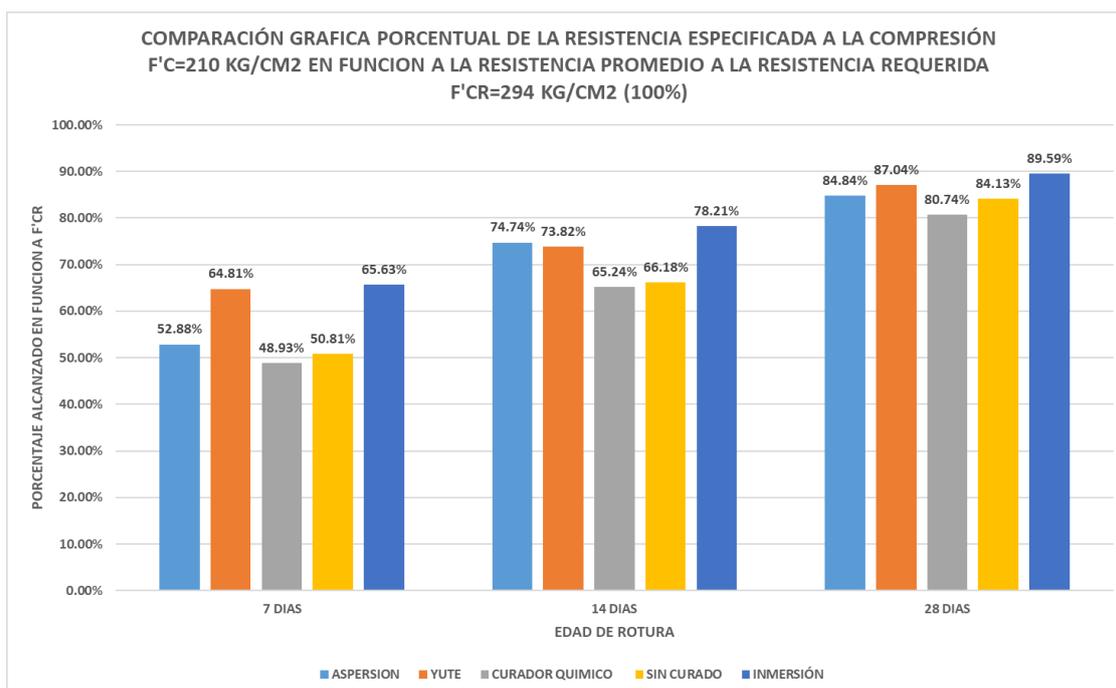


Figura 6-7: Comparación grafica porcentual de la resistencia a la compresión f'_c en función a la resistencia f'_{cr}
(Fuente: Propia)

6.2.3. COMPARATIVO EN FUNCIÓN A LA RESISTENCIA DE CURADO POR INMERSIÓN

Tabla 6-8: Comparativo en función a la resistencia de curado por inmersión

| COMPRESIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | |
|--|---------------|------------------|------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| | GRUPO CONTROL | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | F'C PROMEDIO (Kg/cm2) | RESISTENCIA GANADA(%) |
| A S P E R S I O N | I | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 155.46 | 80.57% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 219.72 | 95.56% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 249.42 | 94.69% |
| Y U T E | II | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 190.53 | 98.75% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 217.02 | 94.39% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 255.91 | 97.16% |

| | | | | | | |
|--|-----|------------|----|------------|--------|---------|
| C U R A M D I C R O | III | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 143.84 | 74.55% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 191.81 | 83.42% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 237.39 | 90.13% |
| C U R A D O | IV | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 149.39 | 77.43% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 194.56 | 84.62% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 247.34 | 93.90% |
| I N M E R S I O N | V | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 192.94 | 100.00% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 229.93 | 100.00% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 263.40 | 100.00% |

(Fuente: Propia)

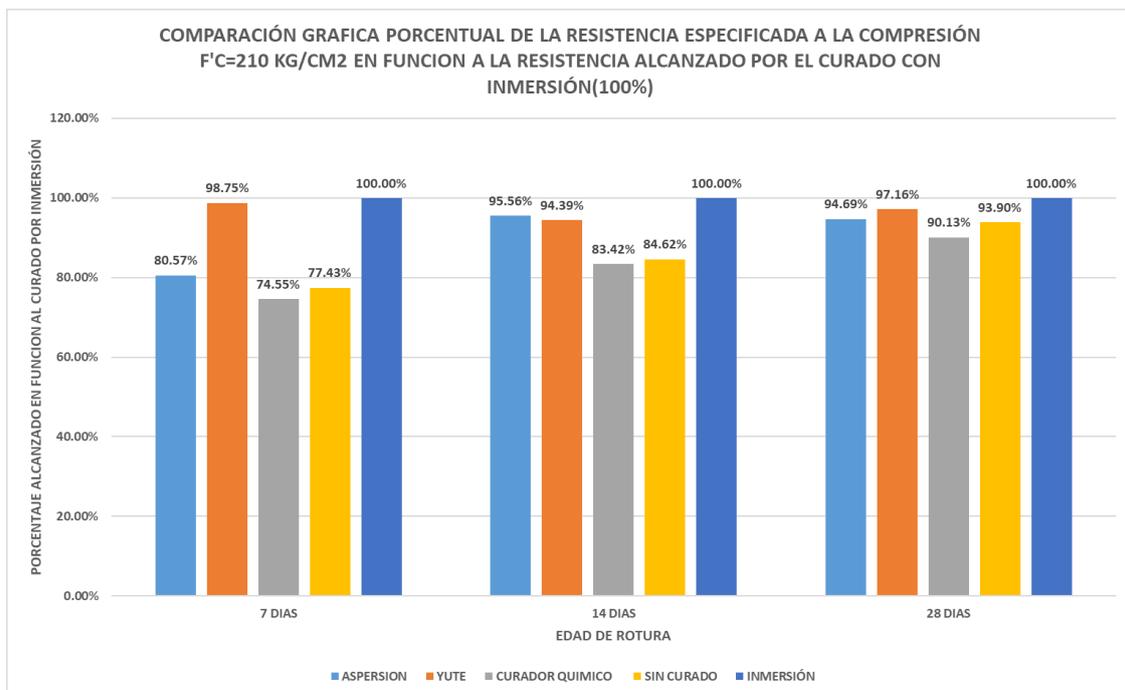


Figura 6-8: Comparación grafica porcentual de la resistencia a la compresión $f'_c=210$ kg/cm² en función a la resistencia alcanzada por el curado con inmersión (Fuente: Propia)

6.2.4. COMPARATIVO DE LA VARIACIÓN PORCENTUAL DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN A LOS TESTIGOS SIN CURADO ALGUNO.

Tabla 6-9: Comparativo de la variación porcentual de resistencia en función a los testigos sin curado alguno

| COMPRESIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | |
|--|---------------|------------------|------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| | GRUPO CONTROL | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | F'C PROMEDIO(Kg/cm2) | VARIACION PORCENTUAL (%) |
| A S P E R S I Ó N | I | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 155.46 | 4.06% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 219.72 | 12.93% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 249.42 | 0.84% |
| Y U T E | II | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 190.53 | 27.54% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 217.02 | 11.54% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 255.91 | 3.46% |
| C Q U R I A M D I C R O | III | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 143.84 | -3.71% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 191.81 | -1.41% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 237.39 | -4.02% |
| C U R A D O | IV | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 149.39 | 0.00% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 194.56 | 0.00% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 247.34 | 0.00% |
| I N M E R S I Ó N | V | 13/03/2018 | 7 | 20/03/2018 | 192.94 | 29.16% |
| | | 13/03/2018 | 14 | 27/03/2018 | 229.93 | 18.18% |
| | | 13/03/2018 | 28 | 10/04/2018 | 263.40 | 6.49% |

(Fuente: Propia)

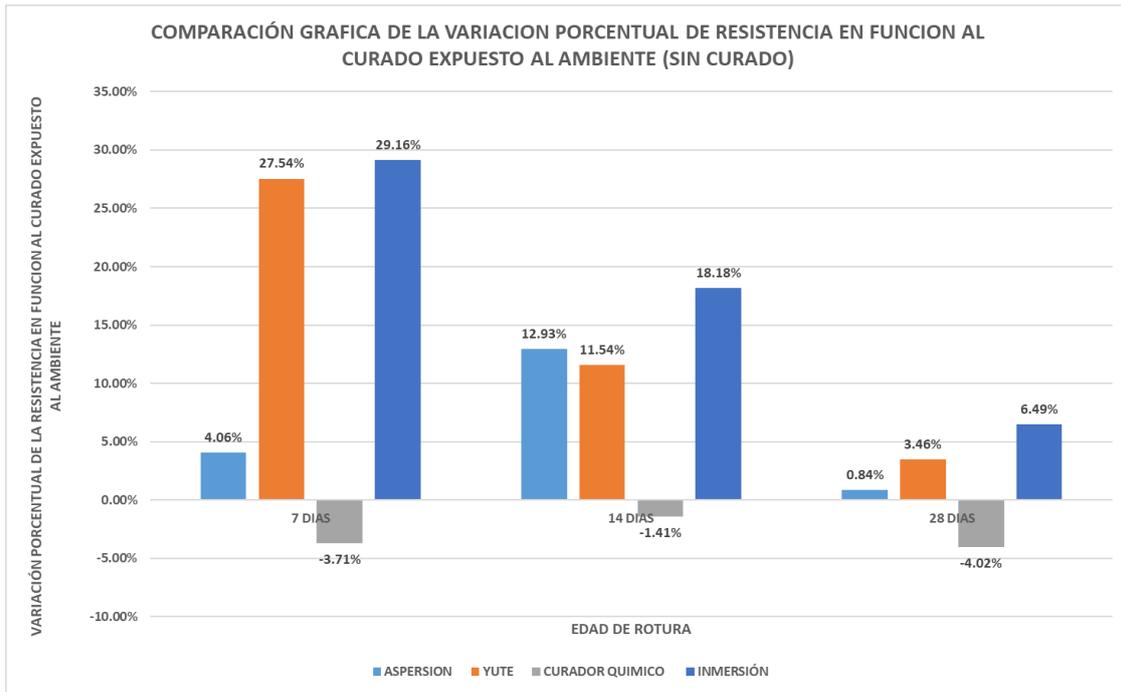


Figura 6-9: Comparación grafica de la variación porcentual de resistencia en función al curado expuesto al medio ambiente (sin curado)
(Fuente: Propia)

6.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

6.3.1. COMPARATIVO ENTRE RESISTENCIAS DE ROTURA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

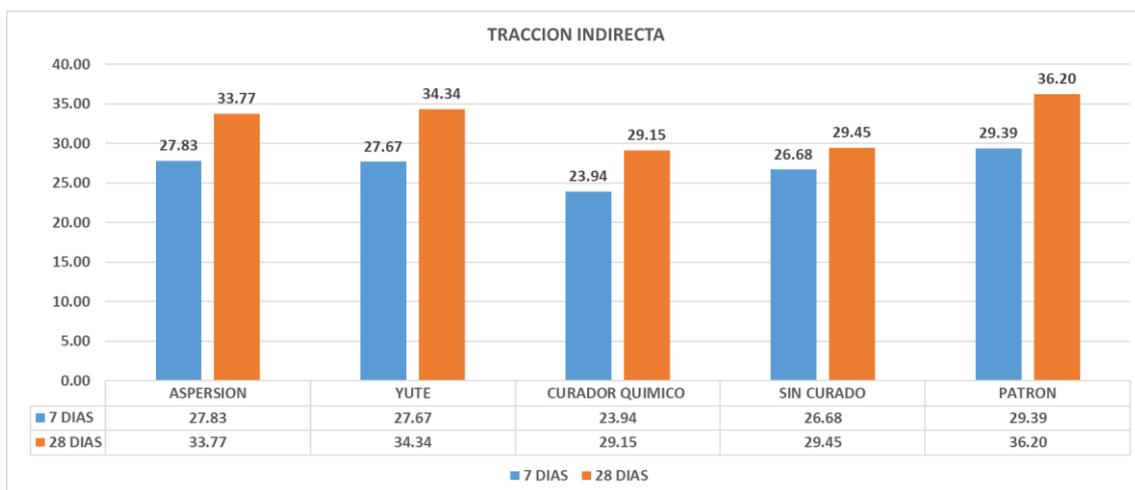
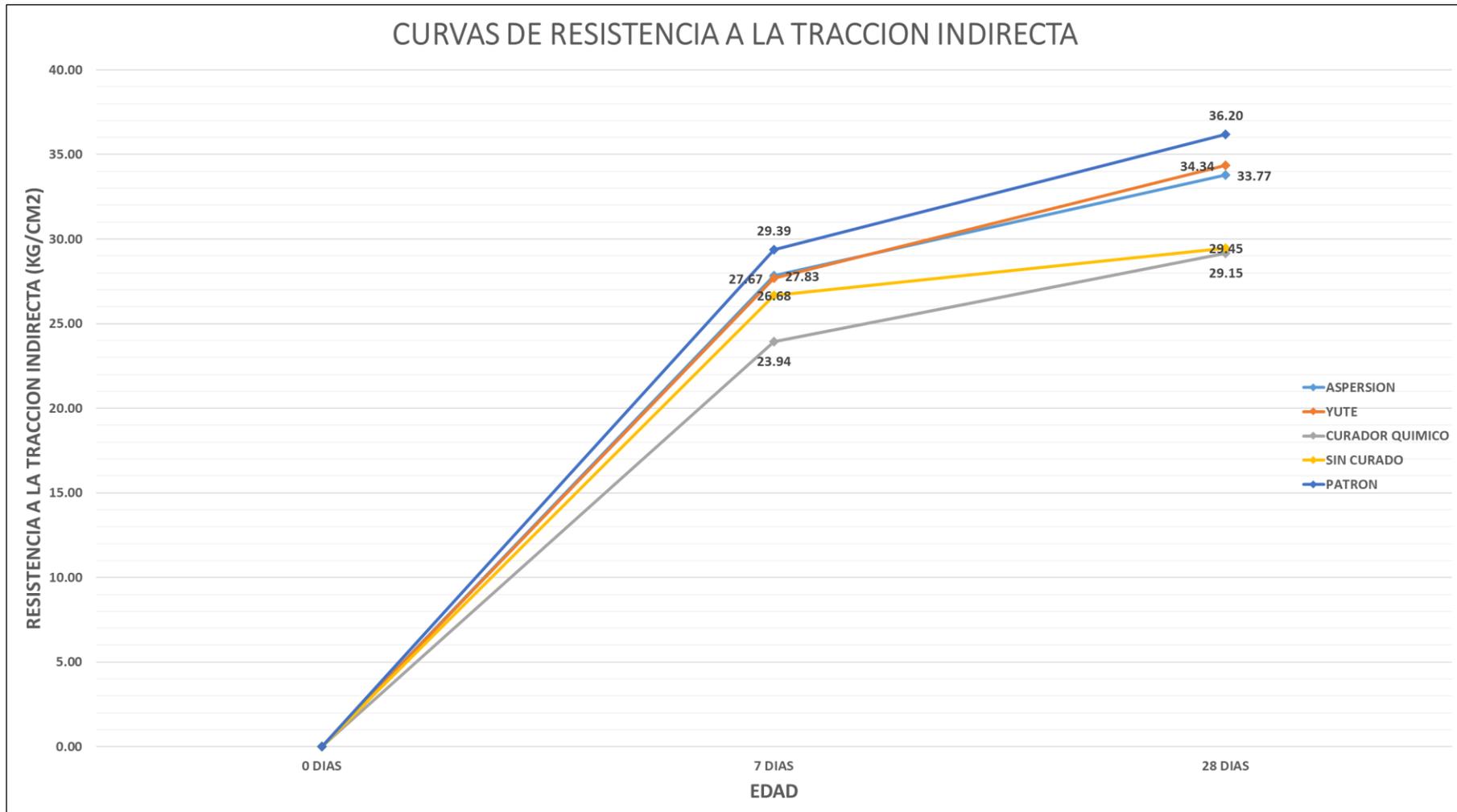


Figura 6-10: Comparativo entre resistencia de rotura a la tracción indirecta
(Fuente: Propia)



**Figura 6-11: Curvas de resistencia la tracción indirecta
(Fuente: Propia)**

6.3.2. COMPARATIVO EN FUNCION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA DEL CURADO POR INMERSION

Tabla 6-10: Comparativo en función de la resistencia a la tracción indirecta del curado por inmersión

| | TRACCIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | RESISTENCIA GANADA (%) |
|--|-------------------------------|------------------|------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| | GRUPO CONTROL | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | fsp PROMEDIO (Kg/cm ²) | |
| A S P E R S I | I | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 27.83 | 94.70% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 33.77 | 93.30% |
| Y U T E | II | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 27.67 | 94.18% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 34.34 | 94.88% |
| C Q U R I A M D I O C R O | III | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 23.94 | 81.46% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 29.15 | 80.54% |
| C S I A D O | IV | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 26.68 | 90.78% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 29.45 | 81.37% |
| I N M E R S I | V | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 29.39 | 100.00% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 36.20 | 100.00% |

(Fuente: Propia)

6.3.3. COMPARATIVO DE LA VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN FUNCIÓN A LOS TESTIGOS SIN CURADO ALGUNO

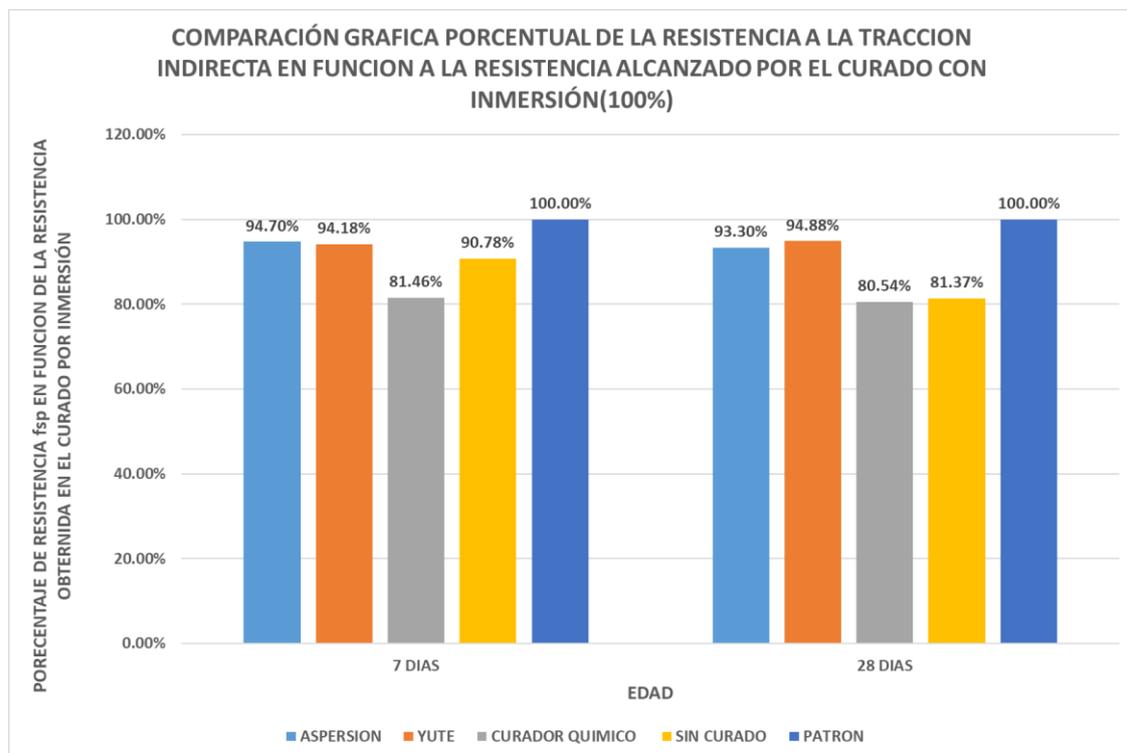


Figura 6-12: Comparación grafica porcentual de la resistencia a la tracción indirecta en función a la resistencia alcanzado por el curado con inmersión (Fuente: Propia)

Tabla 6-11: Comparativo de la variación porcentual de la resistencia a la tracción indirecta en función a los testigos sin curado alguno

| TRACCIÓN-TESTIGOS DIAMANTINOS | | | | | | |
|---|---------------|------------------|------|-----------------|------------------------------------|--------------------------|
| | GRUPO CONTROL | FECHA DE VACIADO | EDAD | FECHA DE ROTURA | fsp PROMEDIO (Kg/cm ²) | VARIACIÓN PORCENTUAL (%) |
| A S P E R S I O N | I | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 27.83 | 4.31% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 33.77 | 14.66% |
| Y U T E | II | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 27.67 | 3.74% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 34.34 | 16.60% |

| | | | | | | |
|---|-----|------------|----|------------|-------|---------|
| C U R A M I D O C R O | III | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 23.94 | -10.26% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 29.15 | -1.02% |
| C U R A D O | IV | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 26.68 | 0.00% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 29.45 | 0.00% |
| I N M E R S I O | V | 14/03/2018 | 7 | 21/03/2018 | 29.39 | 10.15% |
| | | 14/03/2018 | 28 | 11/04/2018 | 36.20 | 22.90% |

(Fuente: Propia)

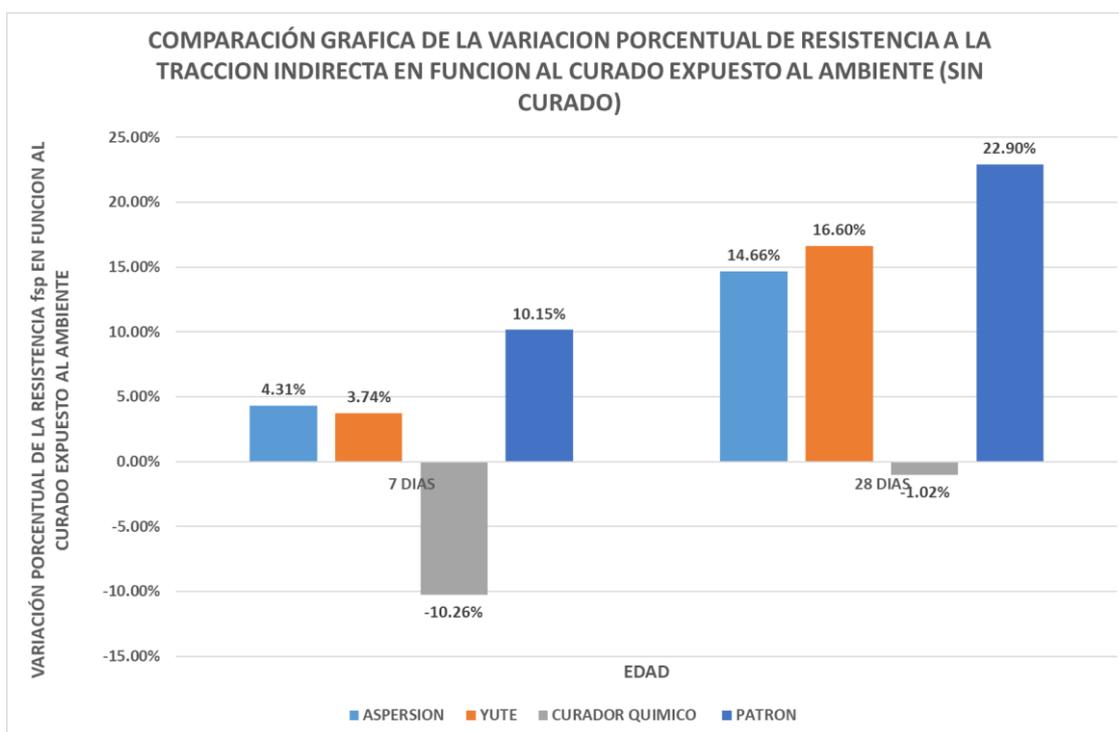


Figura 6-13: Comparación gráfica de la variación porcentual de resistencia a la tracción indirecta en función al curado expuesto al ambiente (sin curado)

(Fuente: Propia)

6.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

6.4.1. GENERALIDADES

En este último capítulo abordaremos los precios unitarios correspondientes a la presente tesis; vamos a establecer los precios tanto para la fabricación y colocación del concreto, y para los diferentes métodos de curado propuestos.

Además, revisaremos las siguientes variantes en cada caso:

APU's Fabricación y Colocación de Concreto

- ✓ Fabricación y Colocación de Concreto $f'c=210$ kg/cm² hecho en obra – Columnas
- ✓ Colocación de Concreto Premezclado $f'c=210$ kg/cm² -Columnas

APU's Métodos de curados aplicados

- ✓ Curado por el método de aspersión dos aplicaciones diarias – Columnas
- ✓ Curado por el método de aspersión más membrana de yute dos aplicaciones diarias – Columnas
- ✓ Curado con aplicación de curador químico- Columnas

6.4.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y COMPARATIVOS

6.4.2.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS: FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE CONCRETO

a) FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE CONCRETO $F'C=210$ KG/CM² HECHO EN OBRA – COLUMNAS

Tabla 6-12: Análisis de precio unitario de fabricación de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ hecho en obra-columnas

| FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO F'C=210 KG/CM2 HECHO EN OBRA-COLUMNAS | | | | | |
|---|---------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Rendimiento | 10.000 | m3/DIA | | C.U.DIRECTO | 343.35 |
| Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| Capataz de Concreto | hh | 0.100 | 0.080 | 26.376 | 2.11 |
| Operario de Concreto | hh | 1.000 | 0.800 | 17.584 | 14.07 |
| Oficial de Concreto | hh | 1.000 | 0.800 | 14.263 | 11.41 |
| Peón de Concreto | hh | 8.000 | 6.400 | 12.849 | 82.23 |
| | | | | | 109.82 |
| MATERIALES | | | | | |
| Piedra Chancada TMN 3/4 | m3 | | 0.680 | 31.500 | 21.42 |
| Arena Gruesa | m3 | | 0.490 | 37.000 | 18.13 |
| Cemento Portland Puzolánico IP 42.5 kg | m3 | | 8.800 | 19.900 | 175.12 |
| Agua | m3 | | 0.216 | 4.490 | 0.97 |
| Madera para andamiaje | p2 | | 0.036 | 4.950 | 0.18 |
| Gasolina 90 octanos | gln | | 0.030 | 11.070 | 0.33 |
| | | | | | 216.15 |
| EQUIPOS | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %MO | | 0.030 | 109.822 | 3.29 |
| ANDAMIO METALICO | hm | 2.000 | 1.600 | 0.300 | 0.48 |
| VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40" | hm | 1.000 | 0.800 | 7.000 | 5.60 |
| MEZCLADORA DE CONCRETO 9-11p3 | hm | 1.000 | 0.800 | 10.000 | 8.00 |
| | | | | | 17.37 |

(Fuente: Propia)

- Los precios HH de la mano de obra están acorde a la tabla salarial sindical vigente hasta mayo del presente año.
- Las cantidades de agregados, agua y cemento por m3 de partida, pertenecen al diseño obtenido en la presente tesis.
- Se debe considerar andamiaje para el vaciado de columnas (muchas veces obviado en los análisis de costos)

b) COLOCACIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2 – COLUMNAS

Tabla 6-13: Análisis de precio unitario de concreto premezclado

f'c=210kg/cm2 - columnas

| COLOCACIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2 –COLUMNAS | | | | | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| Rendimiento | | 35.00 | m3/DIA | C.U.DIR | 348.06 |
| Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| Capataz de Concreto | hh | 0.100 | 0.023 | 26.376 | 0.60 |
| Operario de Concreto | hh | 1.000 | 0.229 | 17.584 | 4.02 |
| Oficial de Concreto | hh | 1.000 | 0.229 | 14.263 | 3.26 |
| Peón de Concreto | hh | 2.000 | 0.457 | 12.849 | 5.87 |
| | | | | | 13.76 |
| MATERIALES | | | | | |
| Concreto Premezclado Tipo IP f'c=210 kg/cm2 HUSO 57 | m3 | | 1.050 | 282.520 | 296.65 |
| Madera para andamiaje | p2 | | 0.036 | 4.950 | 0.18 |
| Gasolina 90 octanos | gln | | 0.030 | 11.070 | 0.33 |
| | | | | | 297.16 |
| EQUIPOS | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | %MO | | 0.030 | 13.756 | 0.41 |
| ANDAMIO METALICO | hm | 2.000 | 0.457 | 0.300 | 0.14 |
| VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40" | hm | 1.000 | 0.229 | 7.000 | 1.60 |
| BOMBA DE CONCRETO | m3 | | 1.000 | 35.000 | 35.00 |
| | | | | | 37.15 |

(Fuente: Propia)

- La cuadrilla la integran solo 4 miembros, eso debido al pequeña y limitada área de trabajo.
- Los precios HH de la mano de obra están acorde a la tabla salarial sindical vigente hasta mayo del presente año.
- El precio del concreto premezclado, ha sido corroborado con el de la Revista Costos.
- Se debe considerar andamiaje para el vaciado de columnas (muchas veces obviado en los análisis de costos)

6.4.2.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS: MÉTODOS DE CURADOS APLICADOS

Hemos de aclarar en primera instancia, que no se ha realizado el análisis de precios unitarios para el curado por inmersión, ya que es un caso irreal en obra, aplicable únicamente para situación de laboratorio o probetas en obra.

Las cantidades de agua empleadas en los métodos de curado, han sido tomadas de los casos reales aplicados en la presente tesis.

Otro punto importante a tomar en cuenta es el siguiente: para nuestros análisis de costos de las metodologías de curado, estamos empleando un equipo pulverizador de agua, el cual genera rendimientos muchos más elevados comparados a otros tipos de aplicación.

La ficha técnica del curador químico Sika Antisol S (de igual viscosidad a nuestro curador empleado), afirma que “Haciendo uso de un equipo pulverizador operado por una sola persona, se puede aplicar alrededor de 1000 m² de superficie en una jornada de 8 horas”.

Claro está que este valor, ha sido obtenido en condiciones óptimas y en una superficie plana, por tal motivo y siendo moderados hemos optado por asignar un rendimiento de 800 m²/día en superficies planas (losas de techo); y 550 m² en superficies con aristas (columnas y placas).

A continuación, presentamos los análisis de precios unitarios de las metodologías empleadas:

a) **CURADO POR EL MÉTODO DE ASPERSIÓN DOS APLICACIONES DIARIAS – COLUMNAS**

Tabla 6-14: Análisis de precio unitario de curado por aspersión dos aplicaciones diarias-columnas

| CURADO POR EL METODO DE ASPERSIÓN DOS APLICACIONES DIARIAS-COLUMNAS | | | | | | |
|--|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--|
| Rendimiento | 275.0 m2/DIA | | | | C.U. | |
| | | | | DIR | 0.45 | |
| Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. | |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Peón de Concreto | hh | 1.000 | 0.029 | 12.849 | 0.37 | |
| | | | | | 0.37 | |
| MATERIALES | | | | | | |
| Agua | m3 | | 0.012 | 4.490 | 0.05 | |
| | | | | | 0.05 | |
| EQUIPOS | | | | | | |
| EQUIPO PULVERIZADOR DE AGUA TIPO | | | | | | |
| FUMIGADORA CON MOCHILA 15L | hm | 1.000 | 0.029 | 1.000 | 0.03 | |
| | | | | | 0.03 | |

(Fuente: Propia)

- El rendimiento es de 275 m2/día y no 550 m2/día, esto debido a que según nuestra metodología planteado se realizaran dos aplicaciones diarias.
- La cantidad de agua aplicada para el método de aspersión para los elementos de 0.15x0.15x0.50 fue en total de 0.012 m3 durante los tres días; por ende, la cantidad correspondiente por día para el área de nuestros elementos (0.345 m2) fue de 0.004 m3.
- De lo cual se concluye, que la cantidad de agua aplicada para 1 m2 de área es de 0.0116 m3.

b) CURADO POR EL MÉTODO DE ASPERSIÓN MÁS MEMBRANA DE YUTE DOS APLICACIONES DIARIAS – COLUMNAS

Tabla 6-15: Análisis de precio unitario de curado por aspersión más membrana de yute dos aplicaciones diarias-columnas

| CURADO POR EL METODO DE ASPERSIÓN MAS MEMBRANA DE YUTE DOS APLICACIONES DIARIAS-COLUMNAS | | | | | | |
|--|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--|
| Rendimiento | 34.537 m2/DIA | | | C.U. | DIR 10.26 | |
| Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. | |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Peón de Concreto | hh | 1.000 | 0.232 | 12.849 | 2.98 | |
| | | | | | 2.98 | |
| MATERIALES | | | | | | |
| Agua | m3 | | 0.0116 | 4.490 | 0.05 | |
| Yute | m2 | | 2.000 | 3.500 | 7.00 | |
| | | | | | 7.05 | |
| EQUIPOS | | | | | | |
| EQUIPO PULVERIZADOR DE AGUA TIPO FUMIGADORA CON MOCHILA 15L | | | | | | |
| | hm | 1.000 | 0.232 | 1.000 | 0.23 | |
| | | | | | 0.23 | |

(Fuente: Propia)

Para el cálculo del rendimiento se empleó el criterio de unión de partidas, ya que es necesario considerar la colocación de la membrana de yute, el retiro de la membrana y el curado en sí, a través del método de aspersión.

Para hallar el rendimiento de la actividad COLOCACIÓN DE LA MEMBRANA DE YUTE, no sería del todo correcto multiplicar el tiempo empleado en nuestros ensayos por un área determinada, ya que para columnas de hasta 2.40m se puede forrar con relativa facilidad las columnas independientemente de sus dimensiones.

El tiempo empleado para nuestros ensayos fue de 8 minutos aproximadamente, para el caso de columna estándar de dimensiones 2.40x0.30x0.30 m estamos considerando un tiempo de 20 min (incluido el tiempo que demora en trasladarse de un punto a otro).

Con estas dimensiones (2.88 m²) y para una jornada de 8 horas, determinamos un rendimiento de 69.12 m²/día.

Para el rendimiento de la actividad RETIRO DE LA MEMBRANA DE YUTE, se calculó en base a las mismas dimensiones con la diferencia que el tiempo es menor, en este caso corresponde un tiempo de 15 minutos (incluido el tiempo empleado en disponer de las telas de yute), con lo cual se obtuvo un rendimiento de 92.16 m²/día.

UNIÓN DE RENDIMIENTOS DE PARTIDAS

| | | |
|--------------------------------|-----|----------------------------|
| Colocación de membrana de yute | 1pe | 69.12 m ² /día |
| Retiro de membrana de yute | 1pe | 92.16 m ² /día |
| Curado de elemento | 1pe | 275.00 m ² /día |

$$Pe = \frac{1pe * 8h}{69.12} + \frac{1pe * 8h}{92.16} + \frac{1pe * 8h}{275.00} = 0.232 \frac{hh}{m^2}$$

$$Pe = 0.232 \frac{hh}{m^2} = \frac{1Pe * 8h}{X m^2}$$

$$X = 34.537 \frac{m^2}{día}$$

- La cantidad de agua aplicada en el presente método para los elementos de 0.15x0.15x0.50 fue en total de 0.012 m³ durante los tres días; por ende, la cantidad correspondiente por día para el área de nuestros elementos (0.345 m²) fue de 0.004 m³.
- De lo cual se concluye, que la cantidad de agua aplicada para 1 m² de área es de 0.0116 m³.
- El yute según las recomendaciones estudiadas debiera aplicarse en dos capas, con la finalidad de retener mayor cantidad de agua; por tal motivo se colocó la cantidad de 2 m² yute /m² de curado.

c) **CURADO CON APLICACIÓN DE CURADOR QUÍMICO- COLUMNAS****Tabla 6-16: Análisis de precio unitario de curado con aplicación de curador químico – Columnas**

| CURADO CON APLICACIÓN DE CURADOR QUIMICO-COLUMNAS | | | | | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|-------------------|----------------|------|
| | | | | | C.U. | |
| Rendimiento | 550.000 m2/DIA | | | | DIR | 2.56 |
| | | | | | Parcial | |
| Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | S/. | |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Peón de Concreto | hh | 1.000 | 0.015 | 12.849 | 0.19 | |
| | | | | | 0.19 | |
| MATERIALES | | | | | | |
| Curador químico x Balde de 20 L | Balde | | 0.029 | 81.270 | 2.36 | |
| | | | | | 2.36 | |
| EQUIPOS | | | | | | |
| EQUIPO PULVERIZADOR DE AGUA TIPO | | | | | | |
| FUMIGADORA CON MOCHILA 15L | hm | 1.000 | 0.015 | 1.000 | 0.01 | |
| | | | | | 0.01 | |

(Fuente: Propia)

- El rendimiento es de 550 m2/día ya que según la metodología planteada (situación real en obras) se realiza una aplicación única.
- La cantidad de curador aplicada por el presente métodos, para los elementos de 0.15x0.15x0.50 fue en total de 200 ml (0.0002 m3), lo cual corresponde a un área de 0.345 m2.
- Por ende, para el área de 1 m2 el consumo será de 0.00058 m3 de curador, lo cual representa la 0.029 parte de un balde de curador químico de 20 L de presentación.

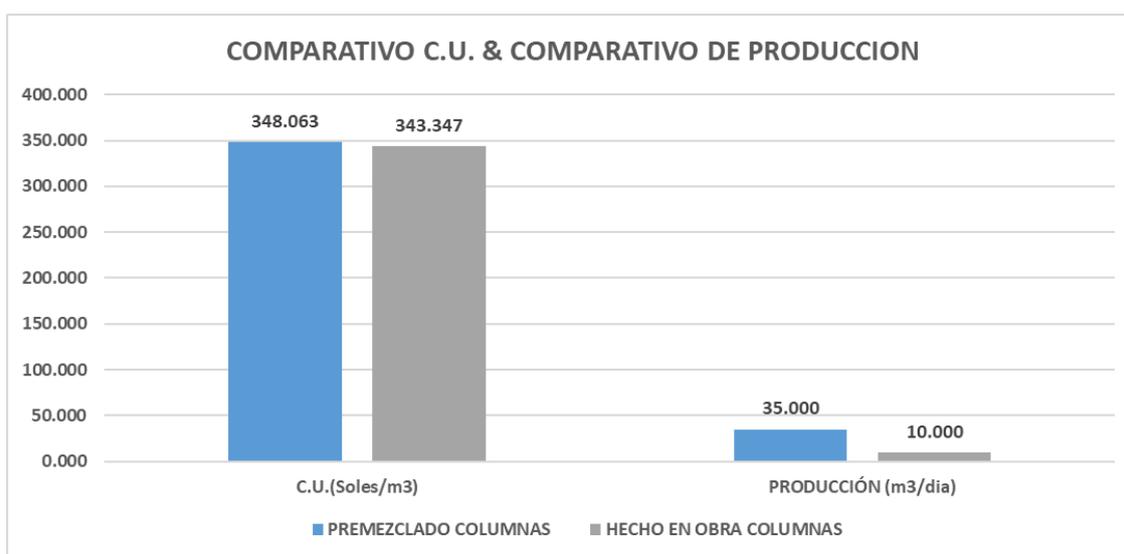
6.4.2.3. ANALISIS COMPARATIVO COSTO-PRODUCCIÓN DE LA FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE CONCRETO

De los análisis de costos planteados, resumimos en los siguientes cuadros:

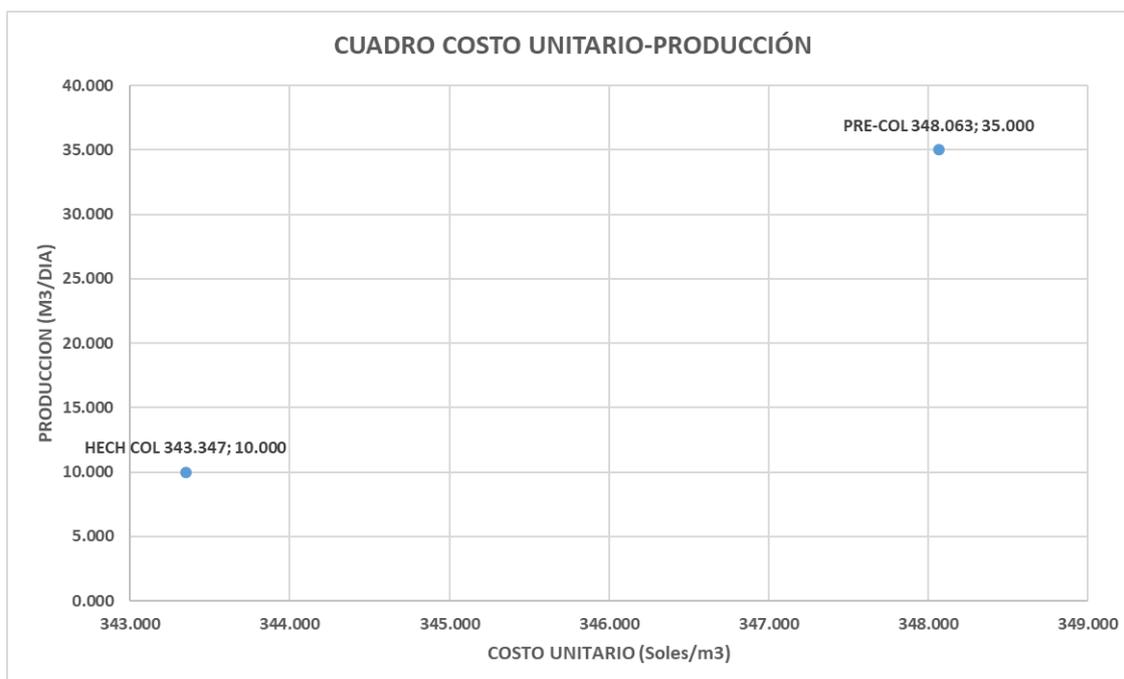
Tabla 6-17: Cuadro Resumen para fabricación y colocación de concreto

| | C.U.(Soles/m3) | PRODUCCIÓN (m3/dia) |
|-------------------------------|----------------|---------------------|
| PREMEZCLADO COLUMNAS | 348.063 | 35.000 |
| HECHO EN OBRA COLUMNAS | 343.347 | 10.000 |

(Fuente: Propia)

**Figura 6-14: Comparativo Costos Unitarios y Comparativo de producción**

(Fuente: Propia)

**Figura 6-15: Análisis Costo-Producción: concreto hecho en obra vs premezclado**

(Fuente: Propia)

De la gráfica anterior podemos apreciar que, para el caso de vaciado de columnas, indiscutiblemente el concreto premezclado es la mejor opción en cuestiones de tiempo, y aunque su precio se vea incrementado en 4.72 soles que representa solo 1.37% más, este pequeño “exceso”, se ve compensado por la producción diaria, ya que una producción más rápida representa disminución en el coste de mano de obra y equipos; la ventaja en términos de producción en concreto premezclado en columnas es de 250% por encima del concreto hecho en obra.

6.4.2.4. ANÁLISIS COMPARATIVO COSTO-RESISTENCIA y COSTO-PRODUCCIÓN DE LOS MÉTODOS DE CURADOS APLICADOS

En esta parte, nos enfocaremos principalmente en el comparativo costo de curado; eficiencia del método del curado (en términos de la resistencia obtenida en función al curado por inmersión) y la producción o avance; para ello presentamos los siguientes cuadros resumen.

Tabla 6-18: Resumen metodologías de curado para elementos tipo columna

| | % RESISTENCIA A LA COMPRESION EN FUNCION AL CURADO POR INMERSIÓN | C.U. x m2 | Producción (m2/día) |
|---|---|----------------------|--------------------------------|
| ASPERSION 2 MANOS-COLUMNAS | 94.69% | S/0.46 | 275.000 |
| YUTE + 2 MANOS DE ASPERSIÓN-COLUMNAS | 97.16% | S/10.26 | 34.537 |
| CURADOR QUÍMICO - COLUMNA | 90.13% | S/2.56 | 550.000 |
| SIN CURADO ALGUNO | 93.90% | S/0.00 | 0.000 |

(Fuente: Propia)

Para poder realizar una comparación acorde a las metodologías planteadas en la presente tesis, haremos uso de los precios unitarios analizados, plantearemos para lo cual dos situaciones de obra:

- ELEMENTOS TIPO COLUMNA**

Planteamos el caso en el que deseamos curar 10 elemento de concreto (columnas) de dimensiones 2.40x0.30x0.60 m, lo cual hace un área total de 43.20 m².

Tabla 6-19: Costo total Situación práctica con curado por aspersión - columna

| CURADO CON ASPERSION 3 DIAS | | | | |
|---|---------------------------|---|---|------------------------------|
| Área a curar (m²) | Número de días | Área total de curado (m²) | Costo Unitario x m² | Costo Total (S/.) |
| 43.20 | 3.00 | 129.60 | 0.455 | 58.961 |

(Fuente: Propia)

Tabla 6-20: Costo total Situación práctica con curado por yute más aspersión - columna

| CURADO CON YUTE + ASPERSION (TOTAL 3 DIAS) | | | | |
|---|---------------------------|---|---|------------------------------|
| Área a curar (m²) | Número de días | Área total de curado (m²) | Costo Unitario x m² | Costo Total (S/.) |
| 43.20 | 1 | 43.20 | 10.26 | 443.234 |
| 43.20 | 2 | 86.40 | 0.455 | 39.307 |
| | | | | 482.541 |

(Fuente: Propia)

Tabla 6-21: Costo total Situación práctica de aplicación de curador químico - columna

| APLICACIÓN DE CURADOR QUIMICO – UNA SOLA MANO | | | | |
|--|---------------------------|---|---|------------------------------|
| Área a curar (m²) | Número de días | Área total de curado (m²) | Costo Unitario x m² | Costo Total (S/.) |
| 43.20 | 1 | 43.20 | 2.557 | 110.466 |

(Fuente: Propia)

A continuación, presentamos los cuadros resumen de las situaciones prácticas planteadas anteriormente:

Tabla 6-22: Resumen metodologías de curado para elementos tipo columna – situación práctica

| | % RESISTENCIA A LA COMPRESION EN FUNCION AL CURADO POR INMERSION | COSTO TOTAL | Producción (m2/día) |
|---|---|--------------------|----------------------------|
| ASPERSION 2 MANOS-COLUMNAS | 94.7% | S/58.96 | 275.00 |
| YUTE + 2 MANOS DE ASPERSION-COLUMNAS | 97.2% | S/482.54 | 34.54 |
| CURADOR QUÍMICO - COLUMNA | 90.1% | S/110.47 | 550.00 |
| SIN CURADO ALGUNO | 93.9% | S/0.00 | 0.00 |

(Fuente: Propia)

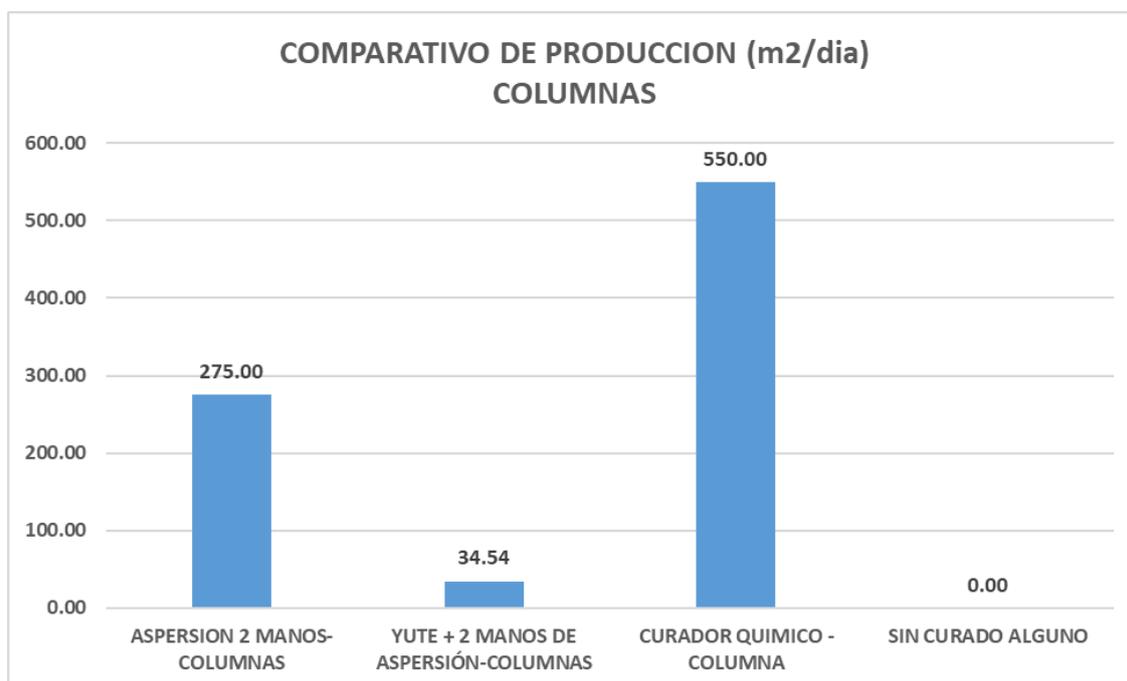


Figura 6-16: Comparativo de producción de métodos de curado –columnas

(Fuente: Propia)

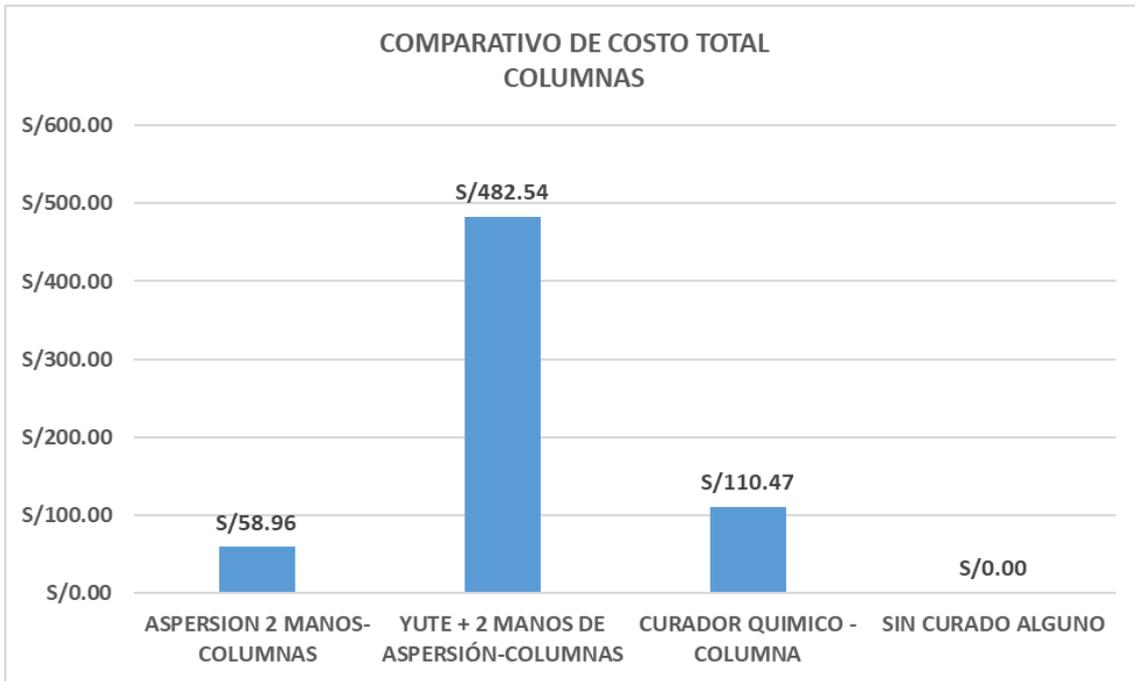


Figura 6-17: Comparativo de costo total de métodos de curado –columnas
(Fuente: Propia)

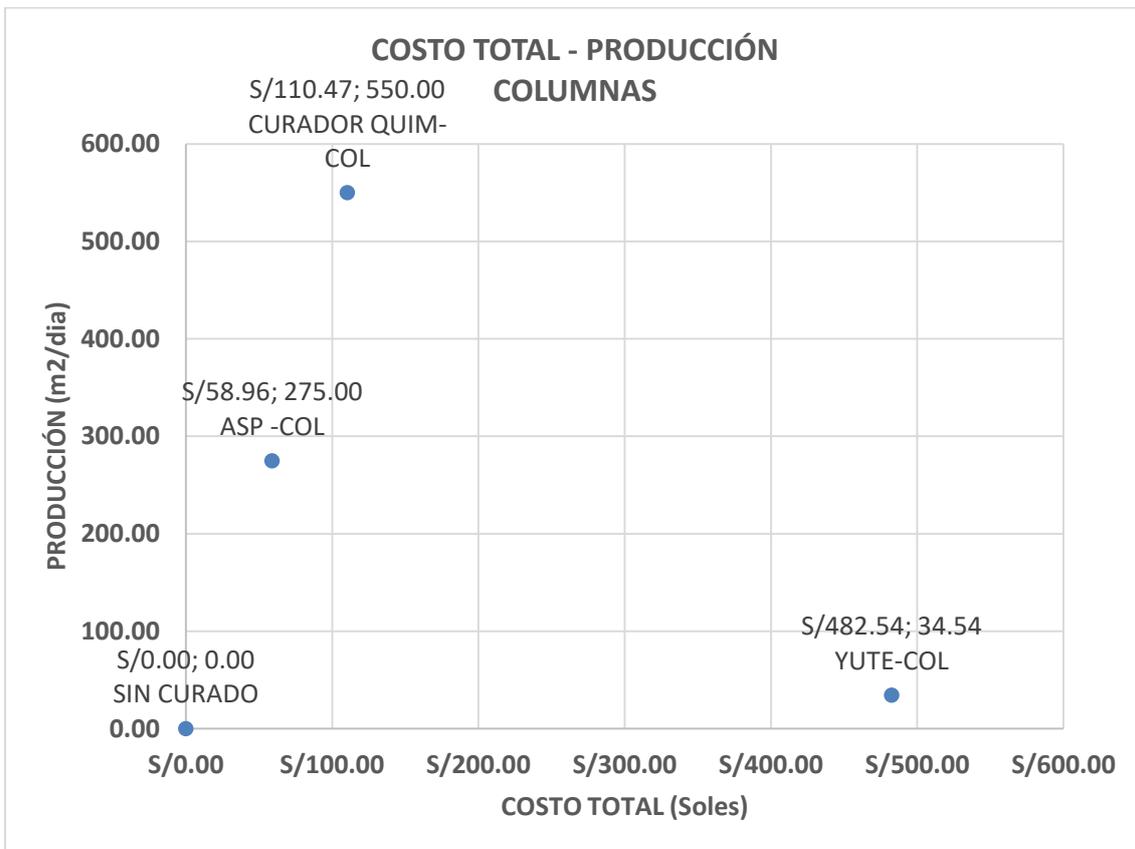
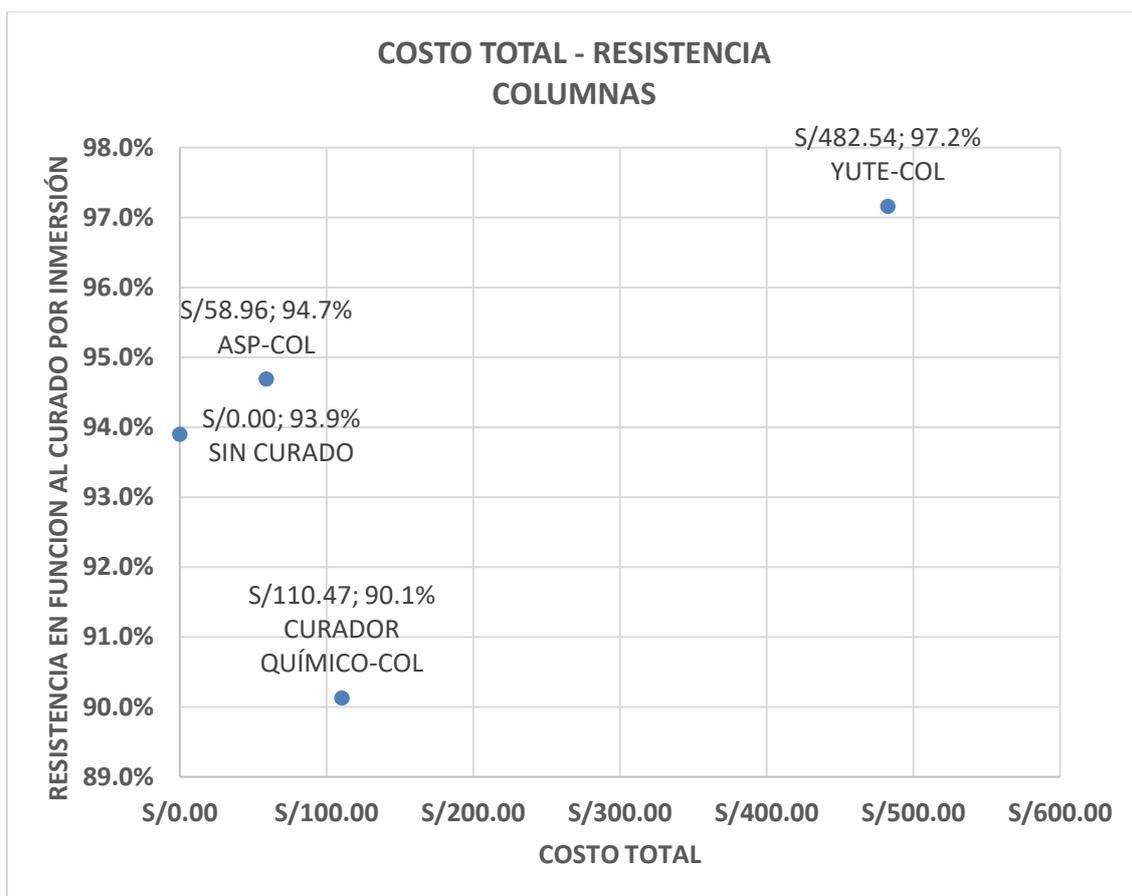


Figura 6-18: Análisis costo total-producción de métodos de curado –columnas
(Fuente: Propia)



**Figura 6-19: Análisis costo total-resistencia de métodos de curado –columnas
(Fuente: Propia)**

El análisis de las presentes graficas se plantearán como enunciados en las conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES

Habiéndose culminado los ensayos y análisis de datos correspondientes según lo planteado en la presente tesis “ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO $f'c=210$ KG/CM² APLICADO A CONDICIONES SIMULADAS DE CURADO EN OBRA, EN LA CIUDAD DE AREQUIPA CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP”, concluyo lo siguiente:

1. La metodología con aplicación del curador químico, es la más adecuada en términos de costo y tiempo, y permite además alcanzar las propiedades mecánicas en su estado endurecido.
2. De la comparación de resistencia a la compresión $f'c$ con respecto al curado por inmersión, se obtuvo los siguientes valores: curado por inmersión (100%), curado con membrana de yute (97.16%), curado por aspersion (94.69%), método sin curado (93.90%) y finalmente con curador químico (90.13%).
3. De la comparación de variación porcentual de $f'c$ con respecto al método sin curado, el curado por inmersión presenta un aumento de 6.49%, curado con yute 3.46%, curado con aspersion 0.84% y con aplicación del curador químico presenta una disminución de 4.02%; no obstante, la aplicación del curador químico también alcanzó el valor $f'c$ de diseño.
4. De la comparación de resistencia a la compresión $f'c$ con respecto al $f'cr = 294$ kg/cm², el curado por inmersión alcanzó el 89.59%, el curado con yute 87.04%, el curado por aspersion 84.84%, el método sin curado 84.13%, y finalmente con aplicación del curador químico alcanzó el 80.74%.

5. Con respecto al $f'c$ de diseño 210 kg/cm², se obtuvieron los siguientes resultados para las metodologías propuestas: curado por inmersión (263.40 kg/cm²), curado por aspersión (249.42 kg/cm²), curado con membrana de yute (255.91 kg/cm²), curado con aplicación del curador químico (237.39 kg/cm²), método sin curado (247.34 kg/cm²).
6. De la comparación de resistencia a la tracción por compresión diametral f_{sp} a los 28 días, con respecto al curado por inmersión, se obtuvo los siguientes valores: curado por inmersión (100%), curado con membrana de yute (94.88%), curado por aspersión (93.30%), método sin curado (81.37%) y finalmente con curador químico (80.54%).
7. De las conclusiones 2 y 6 se observa que los valores de resistencia a la rotura a los 28 días, tanto para compresión simple y para tracción por compresión diametral presentan comportamientos similares.
8. Se ha verificado la efectividad del curador químico, cumpliendo éste con alcanzar el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto en su estado endurecido.
9. Los resultados de las metodologías de curado de la presente tesis, han sido realizados sobre especímenes de columna de dimensiones 0.15x0.15x0.50m, para el clima y condiciones meteorológicas de la ciudad de Arequipa, durante el mes de marzo.
10. A modo referencial, se ha realizado los análisis de precios unitarios de las metodologías de curado para el caso de columnas, habiéndose estimado los siguientes costos: curado con aspersión 2 manos (0.46 soles/m²), aplicación de curador químico (2.56 soles/m²), curado con yute más dos manos de aspersión (10.26 soles/m²).

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar investigaciones en diversos meses del año en la ciudad de Arequipa, agrupándolos según condiciones meteorológicas similares, de modo que tengamos un estándar o base de los curados óptimos por temporadas en la ciudad de Arequipa; del mismo modo podría hacerse en otras localidades.
2. Se recomienda realizar investigaciones de la eficiencia de los métodos de curado tomando como primer plano la durabilidad del concreto, estas investigaciones podrían variar según climas y locaciones diferentes.
3. A partir de la conclusión 9, los resultados determinados a través de la presente investigación, pueden ser tomados como referencia para los curados de columnas de tamaño real, sin embargo, podría presentarse diferencias debido al factor escala.
4. Se sugiere realizar investigaciones específicamente en términos de resistencia a la tracción indirecta, ya que este valor es de relevancia en sistemas tales como: pavimentos rígidos y obras hidráulicas.
5. Se recomienda realizar estudios de adherencia sobre la película formada por la aplicación del curador químico, ya que podría acarrear problemas en la colocación de revestimientos.
6. Para determinar el uso o empleo del método de curado, se debe evaluar los aspectos de costo, tiempo, y calidad; este último aspecto involucra las condiciones meteorológicas y climas, las cuales en algunos casos pueden exigir medidas extras para lograr la eficiencia del curado como tal, como la creación de microclimas.

7. No existe mucha información disponible sobre la correcta aplicación de la membrana de yute, debería ahondarse en la investigación de dicho método.

8. Se recomienda realizar investigaciones sobre rendimientos y producciones de metodologías de curado en obra, a fin de que éstos, sean incluidos en la elaboración de presupuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2001). *Tecnología del concreto* (1era ed.)
- ACI Committee 211(1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)* (Reapproved 2002)
- Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM, 2000). *Cemento Boletines Técnicos*
- Consejo Nacional del Ambiente (2005). *Indicadores ambientes de Arequipa*
- Consejo Nacional del Ambiente (2005). *Plan a Limpiar el Aire Gesta Zonal de Aire Arequipa*
- Federación de Trabajadores en Construcción del Perú (2017). *Tabla Salarial con beneficios sociales de construcción civil (del 01.06.2017 al 31.05.2018)*
- Gonnerman, H. F. y Shuman, E. C. (1928). “*Flexure and tension tests of plain concrete*”. Report to the Chief. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Washington.
- Grupo S10 (2015). *Publicación mensual del grupo S10 COSTOS Construcción, arquitectura e ingeniería octubre 2015*
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2015). *Humedad Relativa promedio anual según departamento 2015*
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INE,2017). *Anuario de Estadísticas Ambientales*
- Monrroy, M. (2014). *Influencia de los tipos de curado en la resistencia del concreto*
- Neville, A. (1999). *Tecnología del Concreto* (1era ed.)
- Ottazi, G. (2011). *Apuntes del curso concreto armado I* (12va ed.)

- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (2da ed.)
- Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño* (1era ed.)
- Powers, T. (1947). *A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete*. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Bulletin 25, Washington.
- Ramos, P. (2000). *Influencia de un curador de aplicación externa sobre las propiedades del concreto de mediana a baja resistencia con cemento Portland Tipo I*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2018). *Información sobre Temperatura, Humedad Relativa, Velocidad del Viento y Precipitaciones meses marzo y abril 2018- Estación la Pampilla-Arequipa*
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2017). *Norma E.060 Concreto Armado*
- Rivva, L. (2010). *Materiales para el concreto* (2da ed.)
- Rómel Solís Carcaño y Eric I. Moreno (2005). *Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo*.
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (1era ed.)
- Sika Informaciones Técnicas (2009). *Curado del Concreto*
- Snyder, K., & Stutzman, P. (1997) *Hydration of portland cement: the effects of curing conditions*

FICHAS TÉCNICAS

- Sika Informaciones Técnicas (2014). *Hoja técnica Sika Antisol S* (10ma. Ed)
- Sika Informaciones Técnicas (2014). *Hoja técnica Curador químico* (2da. Ed)
- Yura Informaciones Técnicas (2017). *Ficha técnica Cemento Multipropósito IP*

NORMAS ASTM

- ASTM C39. “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*”
- ASTM C496 – 96. “*Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*”

NORMAS TÉCNICAS PERUANAS

NTP 339.033 (2009). *“Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo”*

NTP 339.037 (2008) *“Practica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón(concreto)”*

NTP 339.084 (2012) *“Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica.”*

NTP 339.034 (2008) *“Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.”*

NTP 339.059(2001) *“Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (concreto).”*

NTP 400.010(2001) *“Extracción y preparación de las muestras”*

NTP 400.012(2001) *“Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”*

NTP 400.017(2011) *“Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados*

NTP 400.021(2002) *“Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.”*

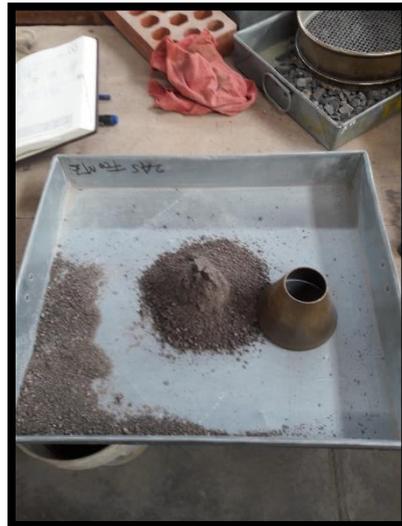
NTP 400.022(2013) *“Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”*

ANEXOS

1. PANEL FOTOGRÁFICO
2. FICHA TÉCNICA DE CURADOR QUÍMICO: SIKA CEM CURADOR
3. FICHA TÉCNICA DE CEMENTO PORTLAND YURA TIPO IP

PANEL FOTOGRÁFICO

ENSAYO DE MATERIALES





PREPARACIÓN ESPECIMENES



CURADO DE ESPECIMENES





**EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN
DE TESTIGOS**



ENSAYOS



