



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DESEMPEÑO DEL CONCRETO CON CEMENTO ANTISALITRE
FRENTE A ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LEOPOLDO VALERIANO FUENTES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Leopoldo

A mi madre por el inagotable empuje, pues sin ella no lo habría logrado. Tu bendición a diario a lo largo de este camino que es la vida me protege.

A mis queridos hermanos por la insistencia y apoyo en cada momento.

A mi compañera de vuelo que siempre se las arreglas para arrancarme una sonrisa, por su insistencia y apoyo.



AGRADECIMIENTOS

A mi institución, Universidad Nacional del Altiplano, y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por haberme dado la oportunidad de escalar un peldaño más, en el campo del conocimiento.

A mis jurados, Ing. Mariano Roberto García Loayza, Ing. Guillermo Néstor Fernández Sila e Ing. Gleny Zoila De La Riva Tapia. Por las correcciones y recomendaciones brindada en la investigación.

A mi Director de Tesis, Ing. Gino Frank Laque Córdova, por el apoyo incesante en la elaboración y concepción de este proyecto.

Al laboratorio de Construcciones de nuestra facultad, así como también al técnico Ing. Yvanni Aragon y los compañeros practicantes, por su constante apoyo y colaboración en la realización de este trabajo experimental. A mis familiares por el apoyo económico y motivacional incesante.

Y a todos los demás colaboradores que de forma directa e indirecta ayudaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 17

ABSTRACT..... 18

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO..... 20

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN 20

1.4.1. Objetivo General 20

1.4.2. Objetivos Específicos 20

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES. 21

2.2. EL CONCRETO 25

2.2.1. Generalidades. 25

2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO 26

2.3.1. El Cemento Portland 26

2.3.2. Agua 39

2.3.3. Agregados..... 45

2.3.4. Granulometría de Agregados..... 52

2.4. CORROSIÓN EN EL CONCRETO 58

2.4.1. Durabilidad de Estructuras de Concreto..... 58

2.4.2. Naturaleza Porosa del Concreto. 58

2.4.3. Proceso de Corrosión..... 60



2.4.4. Tipos de Corrosión	60
2.5. SOLUCIONES A PROBLEMAS DE ATAQUE DE CLORUROS Y SALITRES.....	66
2.5.1. Medidas Preventivas.....	66
2.5.2. Medidas Correctivas.....	73
CAPITULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. MATERIALES.....	85
3.2. METODOLOGÍA.....	85
3.2.1. Diseño de Investigación	85
3.2.2. Tipo de Investigación	86
3.2.3. Nivel de Investigación.....	86
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	86
3.3.1. Población	86
3.3.2. Muestra.....	86
3.4. VARIABLES DE ANÁLISIS	87
3.4.1. Variables Independiente (X)	87
3.4.2. Variable Dependiente (Y)	87
3.4.3. Operacionalización de Variables.....	87
3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	89
3.5.1. Instrumentos de Recolección de Datos.	90
3.6. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.....	90
3.6.1. Contenido de Humedad	90
3.6.2. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	92
3.6.3. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.....	94
3.6.4. Peso Unitario.	96
3.6.5. Análisis Granulométrico.....	98
3.7. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS EN GENERAL (CEMENTO TIPO IP Y HS).	103
3.8. ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO CON EL CONO DE ABRAMS.....	105
3.8.1. Procedimiento.....	105



3.9. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS	109
3.9.1. Determinación de la Cantidad de Probetas.....	109
3.9.2. Elaboración del Concreto	110
3.9.3. Método Estándar para la Elaboración de Probetas de Concreto	111
3.10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	115
3.10.1. Norma.....	115
3.10.2. Método.....	115
3.10.3. Equipo Utilizado.....	116
3.10.4. Procedimiento de Ensayo	116
3.10.5. Cálculo.....	116
3.10.6. Tipos de Fractura.....	117
3.11. VELOCIDAD POR ABSORCIÓN CAPILAR	119
3.11.1. Introducción.....	119
3.11.2. Ensayo Normalizado de Capilaridad	119
3.11.3. Determinación de la Velocidad de Absorción de los Concretos de Cemento Hidráulico.....	120

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. GENERALIDADES	127
4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO A LOS 7,14 Y 28 DÍAS	127
4.2.1. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo IP Rumi, con Exposición a Sulfatos y Cloruros	131
4.2.2. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura, con Exposición a Sulfatos y Cloruros	132
4.2.3. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos de Control.	133
4.2.4. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos Sometidos a Cloruros.....	134
4.2.5. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos de Sometidos a Sulfatos.....	135
4.3. VELOCIDAD DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DE CONCRETO CON DIFERENTES TIPOS DE RELACIÓN A/C.....	136



4.4. ENCUESTA DEL GRADO DE INFORMACIÓN DE ALUMNOS DE INGENIERÍA CIVIL UNA PUNO.	143
4.4.1. Sección I: Identificación del Problema.	143
4.4.2. Sección II: Conocimientos.	144
4.4.3. Sección III: Intereses	154
4.4.4. Interpretación de Resultados.	155
4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	156
4.5.1. Resistencia a la Compresión.....	156
4.5.2. Interpretación de los Valores de Desviación Estándar.....	185
V. CONCLUSIONES.....	189
VI. RECOMENDACIONES.....	191
VII. REFERENCIAS.....	193
ANEXOS.....	195

ÁREA : Construcciones
TEMA : Concreto
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Construcciones y Gerencia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10 DE FEBRERO DEL 2021



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Aplicaciones para los Cementos más Populares en los EE.UU.	35
Tabla 2.2: Criterios de Aceptación para Abastecimiento de Aguas Dudosas (ASTM C94, AASHTO M 157).....	40
Tabla 2.3: Límites Químicos para Aguas de Lavado Usadas con Agua de Mezcla (ASTM C 94, AASHTO M 157)	41
Tabla 2.4: Normas de la Calidad del Agua para el Uso en Morteros y Concretos	43
Tabla 2.5: Límites Permisibles para el Agua de Mezcla y Curado Según la Norma NTP 339.088	43
Tabla 2.6: Límites Granulométricos del Agregado Fino	53
Tabla 2.7: Requisitos para Concreto Expuesto a Soluciones con Sulfatos.....	63
Tabla 2.8: Soluciones a Problemas de Ataque de Cloruros y Sulfatos.....	66
Tabla 3.1: Operacionalización de Variables	89
Tabla 3.2: Contenido de Humedad, Agregado Fino Cantera Isla.....	91
Tabla 3.3: Contenido de Humedad, Agregado Grueso Cantera Isla.....	92
Tabla 3.4: Peso Específico y Absorción del Agregado Fino Cantera Isla	94
Tabla 3.5: Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso Cantera Isla.....	95
Tabla 3.6: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino	97
Tabla 3.7: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino	97
Tabla 3.8: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso	98
Tabla 3.9: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso	98
Tabla 3.10: Análisis Granulométrico del Agregado Fino Cantera Isla.....	101
Tabla 3.11: Análisis Granulométrico del agregado Grueso Cantera Isla	102
Tabla 3.12: Propiedades de los Materiales	103
Tabla 3.13: Propiedades de los Materiales Tabla Resumen	105
Tabla 3.14: División del Slump o Asentamiento.....	107
Tabla 3.15: Revenimientos Recomendables para Varios Tipos de Construcción.	107
Tabla 4.1: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras a los 7 días.	128
Tabla 4.2: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras a los 14 días.	129
Tabla 4.3: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras a los 28 días.	130
Tabla 4.4: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo IP Rumi.....	131



Tabla 4.5: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo HS Yura.....	132
Tabla 4.6: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras de los 2 Grupos de Curado a los 7, 14 y 28 días.....	133
Tabla 4.7: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras de los 2 Grupos de Curado a los 7, 14 y 28 Días Curado en Cloruros.	134
Tabla 4.8: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras de los 2 Grupos de Curado a los 7, 14 y 28 días Curado en Sulfatos.	135
Tabla 4.9: Incremento en Peso (gr) de Muestras Sometidas al Ensayo de Capilaridad.....	136
Tabla 4.10: Resultado de la Encuesta a la Pregunta 101	143
Tabla 4.11: Resultado de la Encuesta a las Pregunta 201 al 210.....	144
Tabla 4.12: Resultado de la Encuesta a las Pregunta 211 al 217.....	148
Tabla 4.13: Resultado de la Encuesta a las Pregunta 218 al 224.....	151
Tabla 4.14: Resultado de la Encuesta a las Pregunta 301.....	154
Tabla 4.15: Medios de Información por las Cuales Recolectan Temas de Concreto ...	154
Tabla 4.16: Importancia de Información de Temas Científicos	155
Tabla 4.17: Análisis Estadístico: Concreto Normal - 7 días – Grupo Control.	156
Tabla 4.18. Dispersión: Concreto Normal - 7 días – Grupo Control.....	158
Tabla 4.19: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS 7 días Grupo Control....	160
Tabla 4.20: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Cloruros.....	161
Tabla 4.21: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo HS- 7 días Curado en Cloruros.....	163
Tabla 4.22: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Sulfatos.	164
Tabla 4.23: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo HS Yura 7 días Curado en Sulfatos.....	166
Tabla 4.24: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Grupo de Control	167
Tabla 4.25: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días - Grupo Control.	169



Tabla 4.26: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Curado en Cloruros.....	170
Tabla 4.27: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Cloruros.....	172
Tabla 4.28: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Sulfatos	173
Tabla 4.29: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Sulfatos.....	175
Tabla 4.30: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días - Grupo de Control	176
Tabla 4.31: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días - Grupo Control.	178
Tabla 4.32: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Cloruros.....	179
Tabla 4.33: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Cloruros.....	181
Tabla 4.34: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Sulfatos	182
Tabla 4.35: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Sulfatos.....	184
Tabla 4.36: Desviación Estándar de Ensayos de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo IP Rumi.....	186
Tabla 4.37: Desviación Estándar de Ensayos de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento HS Yura.....	187
Tabla 4.38: Coeficiente de Variación en % de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo IP Rumi.....	187
Tabla 4.39: Coeficiente de Variación en % de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento HS Yura Antisalitre.....	188
Tabla 4.40: Valores de Dispersión en el Control del Concreto	188



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Condiciones de Humedad de los Agregados	51
Figura 2.2: Granulometría Óptima Combinada de Agregado para Concreto	56
Figura 2.3: Estructura Porosa del Concreto	59
Figura 2.4: Esquema del Ataque de Sulfatos	62
Figura 2.5: Colocación de Membranas Impermeables	67
Figura 2.6: Barrera Anticapilar	70
Figura 2.7: Drenaje y Revestimiento Impermeable	75
Figura 2.8: Corte Transversal en un Muro Tratado con Juntas Impermeables.	76
Figura 2.9: Ubicación de Juntas Impermeables en Muros.....	76
Figura 2.10: Tratamiento Electro-Osmótico (Patente Ernst)	78
Figura 2.11: Electro- Osmosis Activa.....	79
Figura 2.12: Cámara de Aire, Drenaje y Revestimiento Impermeable.....	81
Figura 2.13: Inyección de Polímeros a Muros	82
Figura 2.14: Estructura e Instalación de Sifones	84
Figura 3.3: Pesaje del Agregado Grueso Secado al Horno.....	100
Figura 3.4: Material Seleccionado por Tamices para su Pesado	100
Figura 3.5: Pesaje de Material Seleccionado por Tamices	100
Figura 3.6: Curva Granulométrica del Agregado Fino	101
Figura 3.7: Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	102
Figura 3.8: Ensayo del Cono de Abrams	106
Figura 3.9: Determinación del Slump del Concreto Fresco con Cemento Tipo I	108
Figura 3.10: Determinación del Slump del Concreto Fresco con Cemento Tipo HS... ..	108
Figura 3.11: Medición del Slump del Concreto Fresco	109
Figura 3.12: Limpieza y Preparación de Moldes Cilíndricos	111
Figura 3.13: Proceso de Mezcla de Concreto	112
Figura 3.14: Elaboración de Probetas de Concreto.....	113
Figura 3.15: Pesaje de Insumos para Elaborar la Solución de Curado	114
Figura 3.16: Mezcla del Sulfato de Magnesio y Cloruro de Sodio con el Agua de Curado	114
Figura 3.17: La Exposición de las Probetas de Concreto a la Solución de Curado.....	115
Figura 3.18: Tipos de Fracturas de Probetas Sometidas a Compresión Simple	117



Figura 3.19: Probetas Listas para Ser Sometidas al Ensayo de Compresión Simple ...	117
Figura 3.20: Rotura de Probetas	118
Figura 3.21: Probetas Curadas en Solución con Sulfato de Magnesio Sometidas a Compresión Simple	118
Figura 3.22: Variación del Volumen por Absorción Capilar.....	120
Figura 3.23: Esquema del Ensayo.....	123
Figura 3.24: Especímenes Luego de ser Habilitadas para el Ensayo.....	125
Figura 3.25: Sellado de Superficies Laterales de Especímenes.....	125
Figura 3.26: Codificación de Especímenes.....	125
Figura 3.27: Inmersión de Muestras	126
Figura 4.1: Ensayo de Compresión Simple	127
Figura 4.2: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo IP Rumi, con Exposición a Sulfatos y Cloruros	131
Figura 4.3: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura, con Exposición a Sulfatos y Cloruros	132
Figura 4.4: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos de Control.	133
Figura 4.5: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Curado en Cloruros.....	134
Figura 4.6: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Curado en Cloruros.....	135
Figura 4.7 Preparación de Muestras para Determinar la Velocidad de Absorción por Capilaridad	137
Figura 4.8: Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi. A/C= 0.4	137
Figura 4.9 Probetas elaboradas para Determinar la Velocidad de Absorción por Capilaridad	139
Figura 4.10 Ensayo para Determinar la Velocidad de Absorción por Capilaridad	140
Figura 4.11: Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento A/C= 0.5 Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi.	140
Figura 4.12: Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento A/C= 0.6 Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi.	141



Figura 4.13: Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento HS Yura con un A/C= 0.4, 0.5 y 0.6	142
Figura 4.14: Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento IP Rumi con un A/C= 0.4, 0.5 y 0.6	142
Figura 4.16: Nivel de Información sobre Eflorescencia	145
Figura 4.17: Nivel de Información sobre Humedad en Edificaciones.....	145
Figura 4.18: Nivel de Información sobre Tipos de Cemento	145
Figura 4.19: Nivel de Información sobre Patologías del Concreto.....	146
Figura 4.20: Nivel de Información sobre Degradación del concreto.....	146
Figura 4.21: Nivel de Información sobre Absorción Capilar	146
Figura 4.22: Nivel de Información sobre Efectos de Salitres	147
Figura 4.23: Nivel de Información sobre Efectos de Cloruros	147
Figura 4.24: Nivel de Información sobre Marcas de Cemento.....	147
Figura 4.25: Nivel de Información sobre Diseños de Concretos por Durabilidad	148
Figura 4.26: Nivel de Información sobre Uso de Cementos.....	149
Figura 4.27: Nivel de Información sobre Uso de Aditivos.....	149
Figura 4.28: Nivel de Información sobre Estudio Químicos de Agregados	149
Figura 4.29: Nivel de Información sobre Métodos Hidrófugos.....	150
Figura 4.30: Nivel de Información sobre Membranas Impermeables	150
Figura 4.31: Nivel de Información sobre Revestimientos Impermeables	151
Figura 4.32: Nivel de Información sobre Drenaje en Edificaciones.....	151
Figura 4.33: Nivel de Información sobre Juntas Impermeables	152
Figura 4.34: Nivel de Información sobre Método Electro-Osmótico	152
Figura 4.35: Nivel de Información sobre Cámaras de Aire Externas	152
Figura 4.36: Nivel de Información sobre Inyecciones de Aditivos	153
Figura 4.37: Nivel de Información sobre Uso de Sifones.....	153
Figura 4.38: Nivel de Información sobre Uso de Impermeabilizantes	153
Figura 4.39: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado Normal. .	156
Figura 4.40: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado Normal.....	157
Figura 4.41: Probabilidad: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado Normal.	160
Figura 4.42: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado Normal.....	161



Figura 4.43: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado en Cloruros.	162
Figura 4.44: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado en Cloruros	162
Figura 4.45: Probabilidad: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado en Cloruros..	163
Figura 4.46: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado en Cloruros	164
Figura 4.47: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Sulfatos.	165
Figura 4.48: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Sulfatos.	165
Figura 4.49: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo HS Yura - 7 días - Curado en Sulfatos.	166
Figura 4.50: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo HS Yura - 7 días Curado en Sulfatos.	167
Figura 4.51: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Grupo de Control.....	168
Figura 4.52: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Grupo de Control	168
Figura 4.53: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días - Grupo de Control.....	169
Figura 4.54: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días - Grupo de Control.....	170
Figura 4.55: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Cloruros	171
Figura 4.56: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Cloruros	171
Figura 4.57: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura 14 días Curado en Cloruros	172
Figura 4.58: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Cloruros	173
Figura 4.59: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Sulfatos	174



Figura 4.60: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Sulfatos	174
Figura 4.61: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Sulfatos	175
Figura 4.62: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Sulfatos	176
Figura 4.63: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días - Grupo de Control	177
Figura 4.64: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días - Grupo de Control	177
Figura 4.65: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días - Grupo de Control	178
Figura 4.66: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS YURA - 28 días - Grupo de Control	179
Figura 4.67: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Cloruros	180
Figura 4.68: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Cloruros	180
Figura 4.69: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Cloruros	181
Figura 4.70: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Cloruros	182
Figura 4.71: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Sulfatos	183
Figura 4.72: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Sulfatos	183
Figura 4.73: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Sulfatos	184
Figura 4.74: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Sulfatos	185



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ASTM:	Siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
A/c :	Relación agua/cemento para diseño de mezclas.
C°:	Definición conocida al Concreto.
g:	Gramos.
IP:	Cemento Puzolánico.
kg:	Kilogramos.
NTP:	Norma Técnica Peruana.
PES:	Peso específico de los sólidos.
PESSS:	Peso específico de sólidos saturados con superficie seca.
PH:	Medida de acides o alcalinidad de una sustancia.
PUC:	Peso unitario compactado.
PUS:	Peso unitario suelto.
RNE:	Reglamento Nacional de Edificaciones.
S-C-H:	Silicato de calcio hidratado.
F´c:	Resistencia de diseño a la compresión.
F´cr:	Resistencia promedio de diseño a la compresión.
W%:	Contenido de humedad.
°C:	Grados centígrados.
n:	Número de pruebas realizadas.
TMN:	Tamaño máximo nominal



RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Ciudad Universitaria de la UNAP en las instalaciones del Laboratorio de Construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil en la ciudad de Puno, durante los meses de Agosto a Noviembre del 2019. Y tiene como objetivo principal el comprobar si el uso del cemento antisalitre en el concreto protege al mismo de los efectos de cloruros y sulfatos para lo cual se elaboró probetas de concreto elaboradas con cemento Tipo IP Rumi y con cemento Tipo HS Yura antisalitre, las mismas que fueron sometidas a curado en soluciones de: cloruro de Sodio al 10%, donde a los 28 días de curado las probetas con cemento tipo IP alcanzaron el 96,7% y las con cemento HS el 99.3% de la resistencia de diseño y sulfato de Magnesio al 10% donde obtuvimos resistencias a la compresión del 88.3% con cemento IP y 94.6% con cemento HS. Luego se calculó la velocidad de absorción capilar de concreto con los 2 tipos de cementos y con diferentes relaciones agua/cemento para $a/c = 0.4$ el concreto con tipo IP resulto 45% más absorbente del concreto con cemento, para $a/c = 0.5$ y 0.6 resulto 18% y 17% respectivamente más absorbente que el concreto con cemento HS. Se concluye que el cemento HS antisalitre reduce los efectos de los sulfatos y cloruros, no protege al 100% como también presenta menores valores de velocidad capilar respecto al cemento tipo IP. También se encuestó a alumnos de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la UNA sobre los efectos del ataque de sulfatos y cloruros por absorción capilar. Un 83% identificó el problema, entre el 65% al 85 % informo tener conocimientos generales del fenómeno y entre el 45% al 87% dijo que tenían poca a regular información sobre medidas preventivas y correctivas del fenómeno.

Palabras Clave:

CORROSION DE CONCRETO, CLORUROS, SULFATOS, CAPILARIDAD Y ANTISALITRE



ABSTRACT

The present investigation was carried out in the University City of the UNAP in the facilities of the Construction Laboratory of the Professional School of Civil Engineering in the city of Puno, during the months of August to November 2019. And its main objective is to check if The use of anti-salt cement in concrete protects it from the effects of chlorides and sulphates, for which concrete specimens were made made with Type IP Rumi cement and with Type HS Yura anti-salt cement, the same that were subjected to curing in solutions of : 10% sodium chloride, where after 28 days of curing the specimens with IP-type cement reached 96.7% and those with HS cement 99.3% of the design resistance and Magnesium sulfate at 10% where we obtained resistance 88.3% compression with IP cement and 94.6% with HS cement. Then the capillary absorption rate of concrete with the 2 types of cements and with different water / cement ratios was calculated for $a / c = 0.4$, the concrete with IP type was 45% more absorbent than concrete with cement, for $a / c = 0.5$ and 0.6 resulted 18% and 17% respectively more absorbent than concrete with HS cement. It is concluded that HS antisalitre cement reduces the effects of sulfates and chlorides, it does not protect 100% as it also has lower values of capillary speed compared to IP type cement. Students from UNA's Civil Engineering career were also surveyed on the effects of sulfate and chloride attack by capillary absorption. 83% identified the problem, between 65% to 85% reported having general knowledge of the phenomenon and between 45% to 87% said they had little to regulate information on preventive and corrective measures of the phenomenon.

Keywords:

CONCRETE CORROSION, CHLORIDES, SULFATES, CAPILLARITY AND ANTI SALITER



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo se presentan problemas de humedad proveniente del suelo en muchas edificaciones, estos se manifiestan de diversa forma desde eflorescencias a rajaduras de elementos estructurales, la presente investigación trata sobre determinar las propiedades de resistencia a la compresión simple y la velocidad de absorción por capilaridad de concretos elaborados con el cemento antisalitre y evaluar su eficiencia respecto al cemento tipo IP.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La capilaridad es la cualidad que tiene un material en absorber un fluido, esto posibilita el ascenso en particular del agua, en caso de una edificación el agua asciende por los poros del concreto hasta un cierto nivel y luego se evapora hacia el ambiente. El agua que asciende muchas veces contiene sales disueltas y sulfatos que terminan dañando el concreto, estas sales se cristalizan y se van depositando en la superficie de las estructuras, además de corroer el acero de refuerzo, esto sumado a los esfuerzos de los elementos estructurales por carga y sismo en casos agravados pueden llevar al colapso de la edificación poniendo en riesgo la vida y la propiedad.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica para tener un punto de referencia del comportamiento del concreto con cemento antisalitre HS cuando es usado en estructuras que están expuestas a la humedad, además tener un punto de referencia a la hora de tomar decisiones cuando se tenga que mitigar los efectos de la capilaridad, como eflorescencia, carbonatación del acero de refuerzo y pérdida de capacidad de carga de las estructuras en una edificación. Frente a estos problemas urge la necesidad de investigar sobre todas las



medidas preventivas para evitar futuros daños y/o para proponer medidas correctivas.

1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO.

El Uso de cemento Antisalitre en el concreto protege al concreto de la degradación por ataques de cloruros y sulfatos.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento del concreto elaborado con cemento antisalitre frente a ataques de sulfatos y cloruros.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Describir las diferentes patologías de las construcciones de concreto sometidas a ataques de humedad por capilaridad.
- Determinar la resistencia a la compresión simple de concreto elaborados con cemento HS antisalitre frente a ataques de sulfatos y cloruros.
- Determinar la resistencia a la compresión simple de concreto elaborados con cemento Tipo I frente a ataques de sulfatos y cloruros.
- Determinar la tasa de absorción capilar en concretos elaborados con cemento Tipo I y con cemento HS con relaciones agua/cemento: 0.4,0.5 y 0.6
- Relacionar la absorción capilar con el tipo de cemento empleado y en función de la relación a/c.
- Evaluar el grado de información en estudiantes de Ingeniería Civil, sobre problemas generados por ataques de sulfatos y salitres a edificaciones.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.

En nuestro país existe algunas investigaciones respecto a la degradación del concreto por parte de agentes químicos externos, inherentes a los ambientes donde este presta servicio, ello nos han llevado a deducir los mecanismos que puedan calcular la magnitud del daño, así como simular en laboratorio un ambiente natural agresivo.

Como resultado de investigaciones similares es de destacar ensayos de corrosión acelerada por humedecido en un medio saturado de cloruros, secado y pesado de muestras, sustentado por el Ing. José L. Díaz Lazo en su tesis “Corrosión del cemento por ataque de sulfatos”, (UNI-FIC 1994) ensayo que trata de alcanzar los resultados físicos obtenidos por experiencias mucho más amplias y más largas en el tiempo llevadas en otro países, también hay varias investigaciones sobre el ataque de cloruros al concreto elaborados generalmente con el cemento Tipo I más el uso de aditivos y se acuña el término “corrosión del concreto” como termino para definir la degradación del concreto al ser sometido a condiciones de ataques severos de agentes externos.

El concepto utilizado de corrosión del concreto es utilizado por:

- ImreBiczok, Corrosión y Protección del Concreto Budapest (1964)
Akademaiai Kiado,
- Casabonne, Carlos - Cimentaciones de Concreto Armado en Edificaciones /
Patología de las Cimentaciones
- Cap. XII ACI - Capitulo Peruano I Congreso Nacional de Ingeniería
Estructural y Construcción - 1998
- Girón Vargas Humberto Alejandro Ataque por Cloruros en el Concreto



Facultad de Arquitectura- Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM

- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCYC
- Centro Regional de Ayuda Técnica Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.) México Corrosión y Cómo Evitarla Primera edición en español 1966

En cuanto a los estudios por ataque de sulfatos del concreto podemos mencionar a una investigación que usaremos como referencia:

- “Evaluación del Ataque por Sulfatos en Morteros de Cemento Portland Mediante Técnicas no Destructivas” presentado en el 54 Congreso Brasileiro de Concreto en Octubre del 2012.
- Garzon P. W. (2013) “Estudio de Durabilidad al Ataque de Sulfatos del Concreto con Agregado Reciclado” Bogotá: Universidad Nacional de Colombia 2013.
- Todos esos estudios en concretos fueron elaborados con cemento tipo I y en algunos casos más aditivos, la aparición de los cementos Antisulfato nos da pie a investigar el comportamiento de concretos elaborados con este tipo de cemento.

Investigaciones sobre la capacidad de absorción capilar que está estrechamente ligada a la cantidad de vacíos y la relación agua/cemento se realizaron muy pocas entre las que podemos mencionar:

- “Impacto de las adiciones para concreto en la reducción de la permeabilidad al ión cloruro vs la relación agua cemento”. Desarrollado en la Universidad Católica de Colombia donde se adicionaron a la mezcla materiales como: Metacaolín, Filler, Microsílice y Cerámico blanco (Puzolana). Se realizaron



mezclas con relación agua material cementante de 0.25, 0.35, 0.50, 0.65 y 0.75 para ensayos de resistencia a la compresión a edades de 3, 7, y 28 días y Permeabilidad Ión Cloruro (método rápido) según norma ASTM C1202 con cada una de las mezclas. Algunas adiciones se comportaron como material cementante y llenante, aumentando la resistencia a la compresión y disminuyendo la permeabilidad al ión cloruro, otras solamente como material llenante sin ningún aporte representativo en resistencia.

En Perú en la Universidad Católica del Perú se realizaron algunas investigaciones sobre permeabilidad y capacidad de absorción capilar una de ellas bajo el título: “Estudio de la Correlación entre la Relación Agua/cemento y la Permeabilidad al Agua de Concretos Usuales en Perú”. Llegando a la conclusión de la relación directa entre la relación agua/cemento y el coeficiente de permeabilidad es decir a mayor relación agua/cemento mayor coeficiente de permeabilidad y también se determina a mayor relación agua/cemento menor capacidad a la compresión del concreto

En otras latitudes se elaboraron normatividad para los ensayos para determinar la permeabilidad de un material entre los cuales podemos mencionar:

- EN 12390-8:2000 Profundidad de penetración de agua bajo presión. - Esta norma británica mide la profundidad de penetración de agua en muestras de concreto sometida a 0,5 MPa (72,5 psi, 5 bar) de presión hidrostática durante un periodo de tres días.
- Método Torrent- SIA 262-1 Anexo E.- El método Torrent incluido en la norma suiza SIA 262-1 Anexo E es empleado para medir la permeabilidad al aire del recubrimiento de concreto de forma no destructiva. Utilizando un equipo diseñado especialmente para el ensayo que calcula automáticamente el valor del coeficiente de permeabilidad al aire kT (m^2).



- CRC C 163 92 Método estándar para permeabilidad al agua del concreto usando celda triaxial. Este método de ensayo Normado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos cubre el procedimiento para determinar la permeabilidad al agua del concreto utilizando una triaxial (o Hassler) celular. Los cálculos de la permeabilidad se basan en la ecuación de Darcy para flujos en un medio permeable.
- DIN 1048 Parte 5 Ensayo en concreto de permeabilidad al agua. -Esta norma alemana da una medida de la resistencia del concreto contra la penetración de agua a los 28 días, los especímenes son sometidos a una presión de agua de 0.5 N/mm² durante un periodo de 3 días.

En referencia a la absorción capilar que son los ensayos que realizaremos tenemos la siguiente normatividad.

- ASTM C 1585 Método para medir la tasa de absorción de agua en concreto de cemento hidráulico.
- SIA 262-1 Anexo A Determinación de la permeabilidad al agua del concreto
- DIN 52 617 Medición de la absorción del agua.
- ASTM C 642 Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido.
- UNE-EN 1925:1999 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad"

Como bibliografía de apoyo en el tema de prevención y medidas correctivas de concretos atacados por humedad se revisó la tesis:

Fernández C. J. P. (2008) "Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones", Santiago Chile: Universidad De Chile.



2.2. EL CONCRETO

2.2.1. Generalidades.

El concreto (del inglés concrete, a su vez del latín concrētus, «agregado, condensado») u concreto, es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante (cemento) al que se añade áridos (agregado), agua y aditivos específicos.

El concreto simple (sin refuerzo) es un material que resiste muy bien los esfuerzos a compresión (esta propiedad se debe a las reacciones de hidratación del cemento, formando un gel que junto con los agregados forman un conglomerado similar a una piedra natural), sin embargo su aplicabilidad está limitada, ya que tiene baja resistencia a los esfuerzos de tensión, lo cual puede ocasionar su fisuras. Afortunadamente, estos esfuerzos de tracción que no puede soportar el concreto, son transferidos a la armadura embebida en él (generalmente barras, colocadas en zonas donde se prevé que se desarrollarán tensiones bajo las acciones de servicio) trabajando conjuntamente para su mejor desempeño.

Estas prestaciones mecánicas, además de la economía en sus materiales, la gran variedad geométrica en el moldeo, y hasta ahora su aceptable durabilidad, lo hacen una excelente opción en las obras civiles.

La estructura del concreto depende principalmente de:

- Las características fisicoquímicas y dosificación de los componentes empleados en su elaboración (cemento, agregados, agua, aditivos y el acero en caso de concreto reforzado)
- Del procedimiento seguido para la puesta en obra
- Del tipo de curado

Hasta hace algunos años se consideraba que un concreto reforzado bien ejecutado



tenía una duración prácticamente ilimitada. Ahora bien, tanto la experiencia como las investigaciones llevadas a cabo indican que diferentes agresiones de tipo físico, químico mecánico causan el deterioro del mismo y dan lugar a que aparezcan todo tipo de patologías asociadas. Debido a esto las reparaciones han aumentado, teniendo como un factor común el deterioro por corrosión, reduciendo su durabilidad.

2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO

Describiremos de forma detallada los componentes del concreto

- Cemento Portland
- Agua
- Agregados
- Aditivos

2.3.1. El Cemento Portland

2.3.1.1. Origen y Evolución.

Probablemente, los antiguos romanos fueron los primeros que utilizaron el concreto palabra de uso latino que deriva del latín “Concretus”, que significa crecido junto o compuesto basados en *cemento hidráulico*, un material que se endurece con el agua. En un momento del siglo II A.C. los romanos extrajeron cenizas volcánicas cerca de Pozzouli; pensando que era arena, la mezclaron con cal y descubrieron que la mezcla era mucho más resistente de las que produjeron anteriormente. El material no era arena sino ceniza volcánica fina conteniendo sílice y alúmina, las cuales combinadas con cal producen lo que se llama cemento puzolánico.

Durante la edad media el uso de puzolanas cayó en desuso cuando las prácticas de construcción eran menos refinadas que las antiguas. Las prácticas de la calcinación de la cal y el uso de puzolanas no se usaron sino hasta el siglo XIV.

En el siglo XVIII John Smeaton, llamado el padre de la ingeniería civil en



Inglaterra, descubrió que las calizas impuras y blandas, conteniendo materiales arcillosos producían mejores cementos hidráulicos. El empleo este cemento combinado con la puzolana importada de Italia en la reconstrucción del faro de Eddystone en el Canal de la Mancha, en Inglaterra obra que comenzó en 1759. Luego un gran número de descubrimientos se siguieron en la industria del cemento natural. Este tipo de cemento se fabricó en Rosendale, Nueva York en el inicio del siglo XIX (White 1820) y se empleó en la construcción del canal de Erie en 1818.

El desarrollo de los cementos comienza con el cemento Portland cuyo nombre proviene de la similitud en apariencia y el efecto publicitario que pretendió darle en el año 1924 Joseph Apsdin un constructor inglés, al patentar un proceso de calcinación de caliza arcillosa que producía un cemento que al hidratarse adquiría según él, la misma resistencia que la piedra de la isla de Portland cerca del puerto de Dorset.

Es en 1845 cuando se desarrolla el procedimiento industrial del cemento Portland moderno, que con algunas variantes persiste hasta nuestros días y que consiste en moler rocas calcáreas con rocas arcillosas en cierta composición y someter este polvo a temperaturas sobre los 1300 °C produciéndose lo que se denomina el clinker, constituido por bolas endurecidas de diferentes diámetros, que finalmente se muelen añadiéndoseles yeso para tener como producto definitivo un polvo sumamente fino.

La primera fábrica de cemento Portland se establece en Francia en 1840, luego en Inglaterra en 1845, en Alemania en 1855, en E.E.U.U. se fabricó en una planta en Coldplay, Pensilvania, en 1871. La producción de cemento en Latinoamérica empezó al final del siglo XIX y principios del XX: 1888 en Brasil, 1897 en Guatemala, 1898 en Cuba, 1903 en México, 1907 en Venezuela, 1908 en Chile, 1909 en Colombia, 1912 en Uruguay, 1916 en Perú, 1919 en Argentina, 1923 en Ecuador, 1926 en Paraguay, 1928 en Bolivia (Bowles, Taeves 1946).



2.3.1.2. Composición del Cemento Portland

Los componentes de las materias primas para la fabricación del cemento son:

- Óxido de calcio (CaO) (44 %), Obtenido a partir de Caliza
- Óxido de silicio (SiO₂) (14,5 %), Proporcionado por las areniscas
- Óxido de aluminio (Al₂O₃) (3,5 %), Proporcionado por arcillas.
- Óxidos de hierro (Fe₂O₃) (3 %), procedente de arcillas, mineral de hierro, piritita
- Óxido de magnesio (1,6 %).

Luego del proceso de formación del Clinker y molienda final, se obtienen los siguientes compuestos que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado y que estableceremos con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente:

2.3.1.2.1. Silicato Tricálcico: (3CaO.SiO₂ --> C3S --> Alita)

Define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.

2.3.1.2.2. Silicato Dicálcico: (2CaO.SiO₂ --> C2S --> Belita)

Define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación.

2.3.1.2.3. Aluminato Tricálcico: (3CaO.Al₂O₃) --> C3A

Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3% - 6%) para controlarlo. Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce Sulfo aluminatos con propiedades expansivas.



**2.3.1.2.4. Alumino-Ferrito Tetracalcico: ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \rightarrow C4AF \rightarrow$
Celita)**

Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.

2.3.1.2.5. Óxido de Magnesio (MgO)

Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.

2.3.1.2.6. Óxidos de Potasio y Sodio ($K_2O, Na_2O \rightarrow$ Alcalis)

Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos.

2.3.1.2.7. Óxidos de Manganeso y Titanio (Mn_2O_3, TiO_2)

El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su coloración, que tiende a ser marrón si se tienen contenidos mayores del 3%. Se ha observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo.

El segundo influye en la resistencia, reduciéndola para contenidos superiores a 5%. Para contenidos menores, no tiene mayor trascendencia.

De los compuestos mencionados, los silicatos y aluminatos constituyen los componentes mayores habiendo sido establecidos por Le Chatelier en 1887. En 1929 R.H.Bogue define las fórmulas para el cálculo de los componentes del cemento en base a la composición de óxidos y que han sido asumidas como norma por ASTM C-150 permitiendo una aproximación práctica al comportamiento potencial de cualquier cemento sin mezclas.

A continuación estableceremos las fórmulas de Bogue debiendo tenerse claro que



se basan en las siguientes hipótesis:

- Los compuestos tienen la composición exacta (no es del todo cierto pues en la práctica tienen impurezas).

-El equilibrio se obtiene a la temperatura de deformación del Clinker y se mantiene durante el enfriamiento (En la práctica, las formulas sobrestiman el contenido de C_3A y C_2S)

2.3.1.3. Fórmulas de Bogue (Composición Potencial)

Si $Al_2O_3 / Fe_2O_3 > 0.64$:

$$C_3S = 4.071 CaO - 7.6 SiO_2 - 6.718 Al_2O_3 - 1.43 Fe_2O_3 - 2.852 SO_3$$

$$C_2S = 2.867 SiO_2 - 0.7544 C_3S$$

$$C_3A = 2.65 Al_2O_3 - 1.692 Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3.04 Fe_2O_3$$

Si $Al_2O_3 / Fe_2O_3 < 0.64$ se forma ($C_4AF + C_2AF$) y se calcula:

$$(C_4AF + C_2AF) = 2.1 Al_2O_3 + 1.702 Fe_2O_3$$

Y en cuyo caso el Silicato Tricálcico se calcula como:

$$C_3S = 4.071 CaO - 7.6 SiO_2 - 4.479 Al_2O_3 - 2.859 Fe_2O_3 - 2.852 SO_3$$

(En estos cementos no hay C_3A por lo que la resistencia a los sulfatos es alta; el C_2S se calcula igual)

2.3.1.4. Tipos de Cemento Portland

Los Tipos de cementos Portland que podemos calificar de estándar se fabrican de acuerdo con las especificaciones ASTM C150, AASHTO M 85 o ASTM C 1157.

La ASTM C 150 designa 8 tipos de cementos, como sigue:

- Tipo I Normal
- Tipo IA Normal con aire incluido
- Tipo II De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de



hidratación.

- Tipo IIA Igual al tipo II con aire incluido
- Tipo III Alta resistencia inicial con elevado calor de hidratación.
- Tipo IIIA Igual al tipo III con aire incluido.
- Tipo IV De bajo calor de hidratación. Para concreto masivo.
- Tipo V Alta resistencia a los sulfatos.

2.3.1.4.1. Tipo I

Es el cemento de usos general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de los otros cementos no sean necesarias, Sus empleos en concreto incluyen pavimentos, pisos, edificios de concreto armado, puentes, tanques, embalses, tuberías, unidades de mamposterías y productos de concreto prefabricado y precolado.

2.3.1.4.2. Tipo II

Se usa donde sean necesarias precauciones contra el ataque por sulfatos. Se lo puede utilizar en estructuras normales o miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde la concentración de sulfatos sea más allá que la normal pero no severa. Este tipo de cemento tiene esas propiedades porque contiene no más del 8 por ciento del aluminato tricalcico (C_3A).

Los Sulfatos en suelos húmedos o en agua penetran al concreto y reaccionan con el C_3A hidratado, ocasionando expansión, descascaramiento y agrietamiento del concreto. Algunos compuestos de sulfato, tales como sulfato de magnesio, atacan directamente el silicato de calcio hidratado.

Para controlar el ataque del concreto por los sulfatos se debe emplear el cemento tipo II acompañado del uso de baja relación agua cemento y baja permeabilidad.

El Concreto expuesto al agua del mar normalmente se produce con el cemento tipo II en comparación al cemento tipo I. El agua de mar contiene cantidades



considerables de sulfatos y cloruros. A pesar de la capacidad de los sulfatos del agua del mar en atacar el concreto. La presencia de los cloruros inhibe la reacción expansiva, que es una característica del ataque por sulfatos.

Los cloruros y los sulfatos están ambos presentes en el concreto y compiten por las fases aluminato. Los productos de la reacción del ataque por sulfatos son mucho más solubles en la solución de cloruros y se puede lixiviar del concreto. Las observaciones de muchas fuentes muestran el desempeño en agua del mar en los concretos con cementos con contenidos de C3A de no más del 10 %. Estos concretos presentaron una durabilidad satisfactoria desde que su permeabilidad sea baja y haya un recubrimiento adecuado del acero de refuerzo. (Zhang, Bremner y Malhotra 2003).

2.3.1.4.3. Tipo III

Este tipo de cemento ofrece resistencia a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Este cemento es química y físicamente similar al cemento tipo I a excepción que sus partículas se muelen más finamente. Es usado cuando se requiere remover los encofrados lo más temprano posible o cuando la estructura se pondrá en servicio rápidamente. En clima frío, su empleo permite una reducción de tiempo de curado.

2.3.1.4.4. Tipo IV

Se usa donde se deban minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo tanto este cemento desarrolla la resistencia en una tasa mas lenta que otros tipos de cementos. Se puede usar en estructuras de concreto masivo, tales como grandes presas por gravedad donde la subida de temperatura derivada del calor generado durante el endurecimiento debe ser reducido. Este tipo de cemento es raramente disponible en el mercado.

2.3.1.4.5. Tipo V



Este tipo de cementos se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos principalmente donde el suelo y el agua subterránea tienen alta concentración de sulfatos. Su desarrollo de resistencia es más lenta que el cemento tipo I. La alta resistencia a los sulfatos de este tipo de cemento se atribuye a su bajo contenido de aluminato tricálcico no excediendo el 5 %. El uso de la baja relación agua – cemento y baja permeabilidad son fundamentales para el buen desempeño de cualquier estructura expuesta a los sulfatos.

2.3.1.5. Tipos de Cementos Hidráulicos Adicionados

Estos cementos se usan de la misma forma que los cementos portland, son estos modificados con adición de puzolanas o escoria.

Este tipo de cementos se producen por la molienda uniforme y conjunta de 2 o más tipos de materiales finos. Los principales son:

- Cemento Portland
- Escoria granulada de alto horno
- Ceniza volante
- Humo de sílice
- Arcilla calcina
- Cal hidratada
- Puzolanas y combinaciones mezcladas

Los cementos hidráulicos mezclados tienen que cumplir la ASTM C 595 (A ASHTO M 240), Especificaciones de Cementos Hidráulicos Mezclados (Specification for Blended Hydraulic Cements) o ASTM C 1157.

La ASTM C595 establece cinco tipos de cementos adicionados:

- Tipo IS Cemento Portland con escoria de alto horno
- Tipo IP y Tipo P Cemento Portland puzolánico



- Tipo I(PM) Cemento Portland modificado con Puzolana
- Tipo S Cemento de escoria o siderúrgico
- Tipo I(SM) Cemento Portland modificado con escoria

2.3.1.6. Tipos de Cementos por Desempeño.

En los años 90 se crearon las especificaciones de desempeño para los cementos hidráulicos – ASTM C 1157, Especificación de Desempeño para Cementos Hidráulicos (Performance Specification for Hydraulic Cements), Los cementos de acuerdo a los requisitos de la ASTM C1157 satisfacen los requisitos de ensayos de desempeño físico, oponiéndose a las restricciones de ingredientes o de composición química del cemento que se encuentra en las otras especificaciones. La ASTM C1157 presenta 6 tipos:

- Tipo GU Uso general
- Tipo HE Alta resistencia inicial
- Tipo MS Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo HS Alta resistencia a los sulfatos
- Tipo MH Moderado calor de hidratación
- Tipo LH Bajo calor de hidratación

Tabla 2.1: Aplicaciones para los Cementos más Populares en los EE.UU.

Especificación del cemento	Uso General	Aplicaciones*					Resistencia a la reacción álcali-silice (RAS)**
		Moderado calor de hidratación	Alta resistencia inicial	Bajo calor de hidratación	Moderada resistencia a sulfatos	Alta resistencia a sulfatos	
ASTM C 150 (AASHTO M 85) Cementos Portland	I	II	III	IV	II	V	Opción de bajo álcalis
ASTM C 595 (AASHTO M 240) Cementos Hidráulicos mezclados	IS IP I(PM) I(SM) S,P	IS(MH) IP(MH) I(PM)(MH) I(SM)(MH)		P(LH)	IS(MH) IP(MH) P(MS) I(PM)(MH)) I(SM)(MH))		Opción de baja reactividad
ASTM C 1157 Cementos Hidráulicos**	GU	MH	HE	LH	MS	HS	Opción R

* Fuente: Portland Cement Association

2.3.1.7. Tipos De Cementos en el Perú.

Perú tiene una variedad de cementos definidos por las normas:

- NTP 334.009 (Cementos cemento portland – requisitos)
- NTP 334.090 (Cemento. Cemento portland adicionados – requisitos)
- NTP 334.082 (Cementos portland especificaciones por performance)

Los cementos portland definidos en la norma NTP 334.009 son:

- Tipo I (normal) con resistencia a los 7 días de 19 Mpa (190 kg/cm²)
- Tipo II (mejorada resistencia a los sulfatos) con una resistencia a los 7 días de 17 Mpa (170 kg/cm²) y C₃A máximo 8 %
- Tipo III (alta resistencia inicial)
- Tipo IV (bajo calor de hidratación), con una resistencia a los 28 días de 17



Mpa (170 kg/cm²)

- Tipo V (alta resistencia a los sulfatos) con una resistencia a los 28 días de 21 Mpa (210 kg/cm²) y C₃A máximo de 5 %.

Esta norma trae los requisitos químicos y físicos para estos cementos. Los cementos adicionados son:

- Cemento portland puzolánico (IP y P), el cual puede tener del 15 % al 40 % de puzolana en masa.
- Cemento puzolánico modificado I (PM), que tiene hasta un 15 % de puzolana
- Cemento portland de escoria, el cual tiene del 25 % al 70 % de escoria de alto horno
- Cemento portland de escoria modificado I(SM), el cual tiene hasta el 25 % de escoria de alto horno
- Cemento portland Compuesto I(Co), que puede tener una adición de caliza o material inerte hasta del 30 %, desde que este material tenga como mínimo 75 % de CaCO₃.

Estos cementos pueden presentar una combinación de propiedades como la moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación, a través de la adición de los sufijos MS y MH. El requisito de resistencia a los 28 días de estos cementos es de 25 Mpa (260kg/cm²), a excepción de los cementos tipo IS (MH) y IP (MH), los cuales deben tener como mínimo 20 Mpa (200 kg/cm²) y el cemento P debe tener mínimo 21 Mpa (210 kg/cm²) a los 28 días.

La norma NTP 334.082 nos proporciona los requisitos de desempeño para los cementos portland para aplicaciones generales y especiales, sin restricción a la composición o constituyentes de estos. La norma tiene como base la ASTM C 1157. La norma diferencia a los cementos portland modificados con hasta 15 % de adiciones de los



cementos portland adicionados con más del 15 % de adiciones y los clasifica según su desempeño:

- GU (uso general)
- HE (alta resistencia inicial)
- MS (moderada resistencia a los sulfatos)
- HS (alta resistencia a los sulfatos)
- MH (moderado calor de hidratación)
- LH (bajo calor de hidratación)
- R (baja reactividad a los álcalis con agregados reactivos)

Los cementos disponibles en el mercado peruano son:

2.3.1.7.1. Cementos Yura

La marca ofrece variado tipo de cementos como:

- Cemento Portland Tipo IP
- Cemento Portland Tipo HE
- Cemento Portland Tipo HS.
- Cemento para acabados LH Su uso es exclusivamente para Tarrajeo.
- Cemento Portland Puzolánico Frontera GU Ultra Fuerte
- Cemento Portland Puzolánico RUMI IP

2.3.1.7.2. Cemento Andino S.A.

Unión Andina de Cementos (UNACEM) es la fusión de Cementos Lima y Cemento Andino. Cuenta con dos plantas industriales:

- Planta Atocongo (Villa María del Triunfo, Lima).
- Planta Condorcocha (La Unión Leticia, Tarma, Junín).

Sus productos embolsados son los siguientes:

- Cemento Andino Ultra (Portland HS/MH/R)



- Cemento Andino tipo I (Portland tipo I)
- Cemento Sol (Portland Tipo I)
- Cemento Apu (tipo Portland tipo GU)
- Cemento Andino tipo IP (Portland tipo IP)
- Cemento Andino tipo IPM (Portland tipo IPM)
- Cemento Andino tipo V (Portland tipo V)
- Cemento Atlas (Portland tipo IP).

2.3.1.7.3. Cementos Pacasmayo

Inició su construcción en la década de los 50, pero no es hasta los años 70 que ingresa al mercado nacional con cierta fuerza, para que el año 1989 se creara la Distribuidora del Norte Pacasmayo (DINO), ya en la década de los 90 empieza a tener cierta presencia en el mercado nacional. Ofrece los siguientes tipos de cemento:

- El Cemento Fortimax (MS(MH)), moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación
- El Cemento Extraforte (ICo), para estructuras que no requieran propiedades especiales.
- El Cemento Portland TIPO I, uso general, para proyectos que no requieran propiedades especiales.
- El Cemento Portland TIPO V, para estructuras que requieran alta resistencia a los sulfatos.
- Cemento para prefabricados, Ideal para fabricar elementos prefabricados de concreto como: bloques, cercos, bordillo, adoquín y postes
- Cemento Víaforte Estabilizador de Suelos, Uso en estabilización de caminos.
- Cemento Amazónico GU, para uso general.
- El Cemento MOCHICA (GU), Uso general.



- El Cemento Mochica Antisulfato (MS), moderada resistencia a los sulfatos.

2.3.1.7.4. Cementos Inka

- Cemento Con Adición Microfiller Calizo Tipo I Co, moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
- Cemento Anti Salitre Con Adiciones Activas +LH+R TIPO HS, bajo calor de hidratación y alta resistencia a los sulfatos, así como baja reactividad con agregados álcali-reactivos.
- Cemento Portland Tipo I
- Cemento Albañilería, menor tiempo de secado

2.3.1.7.5. Cemex Cementos Quisqueya

- Cemento Quisqueya Uso General (GU)
- Cemento Quisqueya Uso Estructural con rápido fraguado
- Cemento Quisqueya Uso Albañilería con aditivos para tarrajeo.
- Cemento Quisqueya Zona Costera Tipo V, para la fabricación de concretos y morteros de obras expuestas a la acción de sulfatos, el agua de mar y los agregados álcali-reactivos.

2.3.2. Agua

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar en la elaboración de concreto, sin embargo también se puede emplear algunas aguas que no se consideran potables.

El agua tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad de la mezcla.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que el producto de hidratación tenga espacios para desarrollarse.



El agua que interviene en la mezcla de concreto, es normalmente por razones de trabajabilidad mayor a la necesaria para la hidratación del cemento.

El agua debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las normas para la calidad del agua son variables de país a país, y también pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar. Las normas que se detallan a continuación son por lo tanto generales. Esta deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará asimismo exenta de arcilla, lodo y algas.

Se puede emplear el agua dudosa en concreto, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo se aconseja que los cubos de mortero (ASTM C 109° AASHTO T 106) preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos el 90 % de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada.

Las normas ASTM C 94 (AASHTO M 157) y AASHTO T 26 presentan criterios de aceptación para el agua usada en el concreto.

Tabla 2.2: *Criterios de Aceptación para Abastecimiento de Aguas Dudosas (ASTM C94, AASHTO M 157)*

Criterio	Límites	Método de ensayo
Resistencia a compresión, porcentaje mínimo en relación al control a los 7 días	90	C 109 T 106
Tiempo de fraguado, diferencia en relación al control, hr:min	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	C 191 T 131

Fuente: Portland Cement Association

Tabla 2.3: *Limites Químicos para Aguas de Lavado Usadas con Agua de Mezcla (ASTM C 94, AASHTO M 157)*

Sustancia Química o Tipo de Construcción	Concentración máxima en ppm*	Método de ensayo**
Cloruro como Cl		ASTM D 512
Concreto pretensado (presfuerzo, presforzado, precomprimido) o concreto en tablero de puentes	500***	
Otros tipos de concreto reforzado (armado) en ambiente húmedo o conteniendo elementos de aluminio o metales distintos inseridos o cimbras permanentes de metal galvanizado	1 000***	
Sulfato, como SO ₄	3 000	ASTM D 516
Álcalis, como (Na ₂ O + 0.658K ₂ O)	600	
Total de solidos	50 000	AASHTO T 26

*El agua de lavado usada como agua para la preparación del concreto puede exceder los límites de cloruros y sulfatos presentados si se puede mostrar que las concentraciones totales calculadas en el agua de la mezcla, incluyendo agua en los agregados y otras fuentes, no excedan a los límites establecidos.

**Se puede usar otros métodos de ensayos que han establecido resultados semejantes.

***Para condiciones que permitan el uso de aditivos aceleradores a base de CaCl₂ se puede ignorar los límites de cloruros.

Fuente: Portland Cement Association

En Perú La Norma NTP 339.084 considera que los tiempos de fraguado inicial y final de la pasta preparada con el agua en estudio podrán ser hasta 25% mayores o menores, respectivamente, que los correspondientes a las pastas que contienen el agua de referencia. Al exceder la concentración de sales los límites establecidos, se realizará ensayos de compresión a edades de 180 y 365 días.

2.3.2.1. Aguas No Aptas para Concretos

- Aguas ácidas
- Aguas calcáreas; minerales; carbonatadas; o naturales.
- Aguas provenientes de minas, relaves o que contengan residuos industriales
- Aguas con contenido de NaCl $> 3\%$; o SO₄ $> 3\%$; o SO₄ $> 1\%$.
- Aguas que contengan algas; materia orgánica; humus; partículas de carbón;



turba; azufre; o descargas de desagües.

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

2.3.2.2. *Normas de Ensayo para el Agua*

- NTP 339.070: Toma de muestras de agua para la preparación y curado de morteros y concretos de cemento portland.
- NTP 339.071: Ensayo para determinar el residuo sólido y el contenido de materia orgánica de las aguas.
- NTP 339.072: Método de ensayo para determinar por oxidabilidad el contenido de materia orgánica de las aguas.
- NTP 339.073: Método de ensayo para determinar el ph de las aguas.
- NTP 339.074: Método de ensayo para determinar el contenido de sulfatos de las aguas.
- NTP 339.075: Método de ensayo para determinar el contenido de hierro de las aguas.
- NTP 339.076: Método de ensayo para determinar el contenido de cloruros de las aguas.

Tabla 2.4: Normas de la Calidad del Agua para el Uso en Morteros y Concretos

País	Norma	Nombre de la norma
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento portland
Chile	NCh 1498.Of1982	Hormigón – Amasado – Requisitos
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración de concreto
EE.UU.	ASTM C 94	Standart specification for ready mixed concrete
Peru	NTP 339.088-1982	Hormigón (concreto). Agua para morteros y hormigones de cementos portland
Mexico	NMX-C-122-82	Agua para concretos
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. Requisitos

Fuente: Portland Cement Association

Tabla 2.5: Límites Permisibles para el Agua de Mezcla y Curado Según la Norma NTP 339.088

Descripción		Limite permisible	
Sólidos en suspensión	5000	ppm	Máximo
Materia orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ión SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ión C-)	1000	ppm	Máximo
Ph		5 a 8	

Fuente: NTP 339.088

2.3.2.3. Agua de Mar.

Al utilizar agua de mar en el concreto, deberá conocerse el contenido de conocerse el contenido de sales solubles. El proyectista y el supervisor serán los que darán la autorización para usar agua de mar en el mezclado; esta deberá figurar en el Cuaderno de Obras. Su uso se prohíbe en los siguientes casos:

- Concreto preesforzado
- Concretos cuya resistencia a la compresión a los 28 días sea mayor de 175 kg



/cm² Concretos con elementos de aluminio o fierro galvanizado embebidos.

- Concretos preparados con cementos de alto contenido de óxidos de alúmina.
- Concretos con acabado superficial de importancia.
- Concretos expuestos.
- Concretos masivos.
- Concretos colocados en climas cálidos.
- Concretos expuestos a la brisa marina.
- Concretos con agregados reactivos.
- Concretos en los que se utiliza cementos aluminosos.

Al usar el agua de mar como agua de mezclado, se debe recordar que:

- No hay evidencia de fallas de estructuras de concreto simple preparadas con agua de mar.
- El concreto preparado con agua de mar no produce variación en el asentamiento.
- Puede presentarse una aceleración en el fraguado y endurecimiento inicial de la mezcla.
- La resistencia de los morteros es mayor en los primeros días, en relación con los morteros preparados con agua potable.
- Disminuye la resistencia a la compresión a los 28 días aproximadamente en un 12%.f.Luego de 7 días la resistencia de los concretos tiende a disminuir.
- El agua de mar puede provocar corrosión en los elementos metálicos embebidos, por lo que su recubrimiento debe ser no menor de 70 mm.
- El concreto debe ser bien compactado, buscando la máxima densidad y la menor porosidad.
- Puede provocar eflorescencias.



2.3.3. Agregados.

Se entiende por "agregado" a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable, estos entre finos y gruesos ocupan el 60 x 100 al 75 x 100 del volumen del concreto e influyen fuertemente en las propiedades del mismo, tanto en estado fresco y endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto.

Los Agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas inferiores a 5mm (0.2pulg.), los agregados gruesos constituyen en una o la combinación de partículas superiores a 5mm (0.2pulg.), y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 1 ½ pulg.).

Algunos depósitos naturales de agregados, llamados gravas de mina consisten en arena y grava que se pueden utilizar inmediatamente después de un proceso mínimo. La arena y grava naturales normalmente se excavan o dragan de la mina en lechos de ríos, de lagos o lecho marino.

Los agregados a usarse en la elaboración del concreto deben cumplir ciertas normas para su uso óptimo; deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, arcillas o materiales finos que dificulten la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados disgregables o desmenuzables capaces de rajarse son indeseables. Se debe evitar agregados con contenido significativo de esquisto o rocas esquistosas, de materiales porosos o blandos.

Los agregados usados más frecuentemente (arena, grava y escoria) producen concretos frescos de peso normal a granel de 2200 a 2400 kg/m³ (140 a 150 lb/pies³). Otros agregados como arcillas endurecidas, pizarras, esquisto y escoria expandida se usan para producir concretos ligeros con unas densidades de entre 1350 a 1850 kg/m³ (90 a 120 lb/pies³). Otros materiales como piedra pómez, cagafierro, perlita, vermiculita y diatomita se usa para producir concretos ligeros aislantes con densidad de 250 a 1450



kg/m³ (15 a 90 lb/pies³).

Materiales pesados usados como agregado como barita, limonita, ilmenita, magnetita, hematina y pelotas de hierro se usan para producir concretos de elevada densidad y blindaje para la radiación (ASTM C 637 y C 638).

Las normas que rigen las características optimas de agregados son: ASTM C 33, AASHTO M 6/M80 y en el caso peruano la norma NTP 400.037.

2.3.3.1. Funciones del Agregado

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

2.3.3.2. Propiedades Físicas De Los Agregados

2.3.3.2.1. Densidad.

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción. Tenemos que diferenciar 2 tipos de densidades:

a. Densidad Suelta (Peso Unitario Suelto)

La densidad suelta (peso volumétrico, peso unitario, masa unitaria, peso específico, densidad a granel) de un agregado es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado.



El volumen a que se refiere aquí es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado.

La densidad suelta aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/m³ (75 a 110 lb/pe³). La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos varía de cerca del 30% a 45% para el agregado grueso y de cerca del 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta la cantidad de vacíos, mientras que los tamaños mayores de un agregado bien graduado y la mejoría de la granulometría disminuyen el contenido de vacíos

Los métodos para la determinación de la densidad del agregado y el contenido de vacíos se encuentran en las normas ASTM C 29 (AASHTO T 19), y en Perú la NTP400.017. En estas normas, se describen tres métodos para la consolidación del agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala. La medición del contenido de vacíos suelto del agregado fino se presenta en la ASTM C 1252.

b. Densidad Relativa (Peso Específico)

La densidad relativa (densidad absoluta, gravedad específica) de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se la usa en algunos cálculos de proporcionamiento y del control de la mezcla, tales como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla.

Normalmente no se la usa como una medida de la calidad del agregado, aunque algunos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado por congelación-deshielo presentan baja gravedad específica. La mayoría de los agregados naturales tiene densidades relativas que varían de 2.4 a 2.9, con densidad correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 kg/m³ (150 y 181 lb/pe³).



Los métodos de ensayo para la determinación de la densidad relativa de los agregados fino y grueso se describen en las normas ASTM C 127 (AASHTO T 85), NTP400.022 respectivamente. La densidad relativa de un agregado se puede determinar en la condición seca al horno o saturada con superficie seca. Ambas densidades se pueden utilizar en los cálculos del proporcionamiento del concreto. Los agregados secos al horno no contienen ninguna agua absorbida ni tampoco agua libre. Se las seca en un horno hasta la constancia de masa. Los agregados saturados con superficie seca son aquéllos cuyos poros de cada partícula de agregado están llenos de agua, pero no hay exceso de agua en la superficie de las partículas.

2.3.3.2.2. Porosidad.

La porosidad en el agregado es el volumen de espacios dentro de sus partículas. Los poros en los agregados, determinan la exposición ambiental del material y daños provenientes de los líquidos y de los gases que lo penetran, tales como dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros, sulfatos, etc.

2.3.3.2.3. Forma y Textura Superficial de las Partículas del Agregado

La forma y la textura superficial dependen de la naturaleza de la roca de origen, de su dureza, tamaño de los granos, porosidad, así como de las acciones a que hayan estado sometidos los agregados. Si bien los agregados para concretos de diferentes orígenes, pueden tener una composición granulométrica semejante, muchas veces se comportan de manera bastante diferente debido a la forma y textura de las partículas.

La forma y textura superficial de los agregados tiene una gran influencia en algunas propiedades del concreto fresco y endurecido, como la trabajabilidad y las resistencias mecánicas. Sabemos que las partículas de los agregados son cuerpos de tres dimensiones y es difícil describir la forma de las mismas, aunque se las puede clasificar en redondeadas o cantos rodados, que son generalmente procedentes de ríos en las que



por rozamiento se eliminan las partes salientes de las mismas; y las angulosas que son las que presentan ángulos, aristas vivas y superficies más o menos planas, procedentes generalmente de trituraciones; planas o laminares en las que predominan dos dimensiones sobre la tercera y aciculares que son las que predomina una dimensión sobre las otras dos dando lugar a agregados en forma de agujas. La forma de los agregados triturados depende de la naturaleza de la roca de origen, del tipo de la trituradora, de su relación de reducción siendo estos factores preponderantes para obtener la forma final de los agregados. Con los cantos rodados se obtienen concretos trabajables y su mejor forma es cuando se aproxime la forma de ellos a la esfera, con las trituradas se obtienen hormigones menos trabajables, lo que dificulta la compactación del concreto y su efecto será tanto menor cuando más se aproximen a un cubo. Los agregados laminares y aciculares producen hormigones de peor calidad donde esas formas repercuten negativamente en las resistencias y en la durabilidad. (Skalny y Mindess, 1998) La textura superficial depende de la naturaleza de la roca de origen, de su dureza, tamaño de los granos, porosidad, así como de las acciones a que hayan estado sometidos los agregados. Tanto la forma como la textura afectan la movilidad del agregado que se entiende como la facilidad con que las partículas se mueven unas sobre las otras cuando son manipuladas. La movilidad del agregado afecta la trabajabilidad del concreto fresco, observándose que, cuando son empleados agregados de baja movilidad, es exigida mayor energía para alcanzar el mismo grado de compactación o hay necesidad de aumentar el porcentaje de agregado fino en la mezcla para garantizar adecuada trabajabilidad. (Skalny y Mindess, 1998)

El agregado debe ser relativamente libre de partículas planas y alongadas. Una partícula se considera plana y alongada cuando la relación entre longitud y espesor supera un valor especificado. Consulte la ASTM D 4791 para la determinación de las partículas planas y/o alongadas. La ASTM D 3398, COVENIN 0264. IRAM 1681, IRAM 1687,



UNIT 1029 proporcionan un método indirecto para establecer un índice como una medida general de la textura y forma de las partículas, mientras que la ASTM C 295, IRAM 1649, NMX-C-265, NTC 3773 y UNIT-NM 54 proporcionan procedimientos para el examen petrográfico del agregado.

Las partículas planas y alargadas se deben evitar o, por lo menos, limitar a cerca del 15% de la masa total del agregado. Este requisito es igualmente importante para el agregado grueso y para el agregado fino triturado, pues el agregado fino obtenido por la trituración de la roca frecuentemente contiene partículas planas y alargadas.

2.3.3.2.4. Tenacidad:

Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material.

2.3.3.2.5. Dureza:

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

2.3.3.2.6. Absorción y Humedad de Agregados.

La absorción y la humedad superficial de los agregados se deben determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, ASTM C 128, NTP400.022, ASTM C 566 (AASHTO T 255), NTP339.185 así el agua total del concreto se puede controlar y las masas correctas de los materiales de la revoltura se pueden determinar. La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y los vacíos que pueden o no contener agua.

estado	Secado al horno	Secado al aire	Saturado con superficie seca	Húmedo
--------	-----------------	----------------	---------------------------------	--------

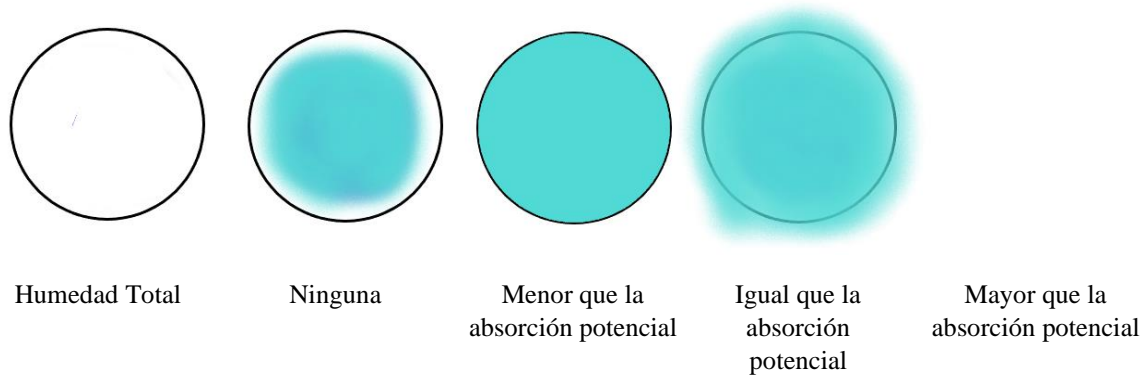


Figura 2.1 *Condiciones de Humedad de los Agregados*

Nota: En la figura 2.1 Observamos el esquema gráfico del grado de saturación en los agregados. Extraído de Portland Cement Association

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura 2.1 y se las puede definir como:

- Secado al horno – totalmente absorbente
- Secado al aire – la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
- Saturado con superficie seca (SSS) – no absorben ni ceden agua al concreto
- Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

La cantidad de agua que se adiciona en la planta de concreto se debe ajustar para las condiciones de humedad de los agregados, a fin de que se atienda a la demanda de agua del diseño de la mezcla de manera precisa. Si el contenido de agua del concreto no se mantiene constante, la relación agua-cemento variará de una amasada a la otra, resultando en la variación de otras propiedades, tales como la resistencia a compresión y la trabajabilidad.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente.

Los contenidos de agua libre generalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La



mayoría de los agregados finos puede mantener un contenido máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

2.3.3.2.7. *Propiedades Químicas de los Agregados*

Los agregados que contienen ciertos constituyentes pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos en el concreto. La reactividad es potencialmente perjudicial sólo cuando produce una expansión significativa (Mather 1975). Esta reactividad álcali-agregado (RAA) se presenta en dos formas—reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La RAS es más preocupante que la RAC porque la ocurrencia de agregados que contienen minerales reactivos de sílice es más común. Los agregados de carbonatos reactivos con álcalis tienen una composición específica que no es muy común.

2.3.4. Granulometría de Agregados

2.3.4.1. Agregado Fino.

El agregado fino es aquel que pasa la malla # 4 y es retenido en la malla número 200. Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

Los requisitos de la norma ASTM C33, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes.

La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas



más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada malla resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad.

En general, si la relación agua/cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales.

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma ASTM C33 con respecto al tamaño de las mallas se indican a continuación:

Tabla 2.6: *Limites Granulométricos del Agregado Fino*

Tamiz		Porcentaje que pasa (en masa)
9.5mm	(3/8 pulg.)	100
4.75mm	(No 4)	95 a 100
2.36mm	(No 8)	80 a 100
1.18mm	(No 16)	50 a 85
0.60mm	(No 30)	25 a 60
0.30mm	(No 50)	10 a 30*
0.15mm	(No 100)	2 a 10**

*De acuerdo con la norma ASTM C 33 y la NTP 400.037 este límite es del 5 x100 al 30 x 100.

**De acuerdo con la norma ASTM C 33 y la NTP 400.037 este límite es del 0 x100 al 10 x 100.

Fuente: Portland Cement Association

Las cantidades de agregados fino que pasan a través de los tamices de 0.30 mm (No 50) y de 0.15mm (No 100) afectan la trabajabilidad, la textura superficial, el contenido de aire y la exudación del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten un porcentaje de 5% al 30% de material que pasa la malla No 50, a porcentajes



cerca del límite inferior son suficientes para colocar el concreto mecánicamente. Mientras que en caso de pisos acabados manualmente el porcentaje debe ser de por lo menos del 15% de material que pase la malla No. 50 y 3% o más la malla No. 100.

Módulo de Fineza

El módulo de fineza (MF) tanto del agregado fino y grueso se calcula de acuerdo a la ASTM C 125, NTP 400.011, sumándose los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de las mallas de la serie especificada y dividiéndose esta suma entre 100.

La serie especificada de mallas para la determinación del MF es la Nro. 100, Nro. 50, Nro. 30, Nro. 16, Nro. 8, Nro. 4, 9.5mm, 19 mm, 37.5 mm, 75 mm y 150 mm.

El MF es un índice de fineza del agregado que cuanto mayor es más grueso es el agregado. Se da el caso que agregados de diferente granulometría puedan tener el mismo módulo de fineza. El MF de los agregados finos es útil para estimar las proporciones del agregado grueso y fino en el concreto.

2.3.4.2. *Granulometría del Agregado Grueso*

Los requisitos de granulometría del Agregado Grueso según las normas ASTM C 33 (AASHTO M 80), NTP 400.037, permiten límites amplios en la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos.

La granulometría del agregado grueso con un determinado tamaño máximo puede variar moderadamente dentro de un rango, sin que afecte de forma significativa las demandas de cemento y agua de la mezcla, si las proporciones de agregado fino con relación a la cantidad total de agregados, producen un concreto con buena trabajabilidad.

El tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía del concreto. Corrientemente se necesita más agua y cemento en concretos con agregados de tamaño máximo menor comparado con mezclas con agregado de tamaño máximo mayor, debido



al aumento del área superficial total del agregado.

El agua y cemento necesario para obtener un revenimiento de 75 mm esta en relación al tamaño máximo permitido y muestra gran variación por ejemplo desde unos 230 lt/m³ para un tamaño máximo de 3/16 pulgadas. A solo 150 lt/m³ para un tamaño máximo de 3 pulgadas.

La terminología que se usa para especificar el tamaño de agregado máximo se debe especificar con detalle. El tamaño del agregado se determina por el tamaño de la malla que pasa el agregado y queda retenido por el tamiz inferior a este. La NTP 400.037 define el tamaño máximo nominal del agregado como el primer tamiz que produce el retenido pero no especifica el límite del porcentaje retenido.

El tamaño máximo de agregado que podemos utilizar depende del tamaño y la forma del elemento de concreto a vaciar y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. En la práctica el tamaño máximo de agregado no puede ser superior a:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del elemento de concreto
- Tres cuartos del espacio libre entre las barras de acero del refuerzo y entre las varillas de refuerzo y el encofrado.
- Un tercio de la profundidad de losas.

Podemos variar estos requisitos si en la opinión del ingeniero la mezcla presenta una trabajabilidad y fluidez los suficiente como para no producir agujeros y vacíos.

2.3.4.3. Granulometría Combinada del Agregado

También se analiza al agregado de forma combinada de los agregados finos y gruesos. La granulometría combinada se puede usar para mejorar la trabajabilidad, la retracción, la capacidad de ser bombeada además de otras propiedades del concreto. Abrams (1918) y Shilstone (1990) demostraron los beneficios de un análisis del agregado combinado:

- Para un contenido constante de cemento y una consistencia constante, existe una combinación óptima de agregados que producirá la relación agua-cemento más eficiente y la mayor resistencia.
- La mezcla óptima tiene la menor interferencia de las partículas y responde mejor a los vibradores de alta frecuencia y alta amplitud.

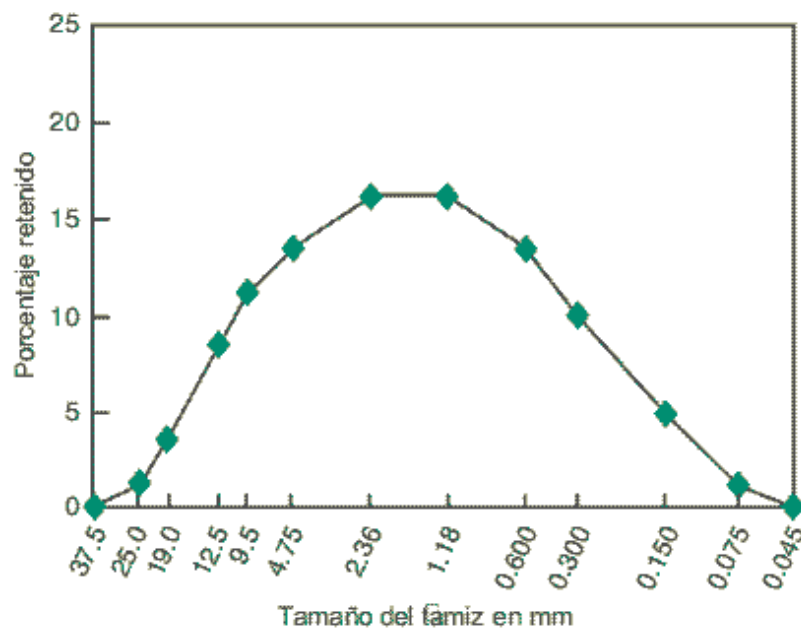


Figura 2.2 Granulometría Óptima Combinada de Agregado para Concreto
Fuente: Portland Cement Association

Sin embargo, la mezcla óptima no se puede utilizar en todas las obras debido a la variación de las necesidades de colocación y acabado, bien como de su disponibilidad. Crouch (2000) encontró, en su estudio de concretos con aire incluido, que la relación agua-cemento podría reducirse más del 8% con el uso de la granulometría combinada.



Shilstone (1990) también analiza la gradación del agregado, a través de factores de aspereza y trabajabilidad, para mejorar la granulometría del agregado.

2.3.4.4. Agregados con Granulometría Discontinua

Consisten en solo un tamaño de agregado grueso siendo todas las partículas de agregado fino capaces de pasar a través de los vacíos en el agregado grueso compactado. Las mezclas con granulometría discontinua se utilizan para obtener texturas uniformes en concretos con agregados expuestos. También se emplean en concretos estructurales normales, debido a las posibles mejoras en densidad, permeabilidad, contracción, fluencia, resistencia, consolidación, y para permitir el uso de granulometría de agregados locales (Houston 1962 y Litvin y Pfeifer 1965).

Para un agregado de 19.0 mm de tamaño máximo, se pueden omitir las partículas de 4.75 mm a 9.52 mm sin hacer al concreto excesivamente áspero o propenso a segregarse. En el caso del agregado de 38.1 mm, normalmente se omiten los tamaños de 4.75 mm a 19.0 mm.

Se debe tener cuidado al elegirse el porcentaje de agregado fino en la mezcla discontinua. Una elección incorrecta puede resultar en un concreto que esté propenso a segregarse o a formar agujeros, debido al exceso de agregado grueso. Además, un concreto con exceso de agregado fino puede tener una alta demanda de agua, resultando en un concreto con baja densidad. El agregado fino ocupa, normalmente, del 25% al 35% del volumen total de agregados. El porcentaje más bajo se usa con agregados redondeados y el más elevado con los agregados triturados. Para que se obtenga un acabado liso al retirarse el concreto de la cimbra, se puede usar un porcentaje de agregado fino con relación al agregado total un poco más elevado del aquél utilizado en el concreto con agregado expuesto, pero ambos utilizan una cantidad menor de agregados finos que los concretos con granulometría continua.



2.4. CORROSIÓN EN EL CONCRETO

2.4.1. Durabilidad de Estructuras de Concreto

La durabilidad del concreto de cemento hidráulico según ACI 201-01 se define como: "...su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un concreto durable conservará su forma, calidad y función de servicio originales al estar expuesto a su ambiente".

La permeabilidad del concreto es una propiedad relacionada íntimamente con su durabilidad, representa la facilidad con la cual el agua u otros fluidos pueden moverse a través de él, de este modo se presenta el transporte de agentes agresivos en el interior del concreto, su importancia es crítica en la degradación de éste (Metha, 1986).

Se entiende por degradación a la disminución gradual de las propiedades iniciales del material y son función de su ambiente de exposición y/o su función de servicio. Es así como las estructuras de concreto reforzado como cualquier material se degradan y se ven comprometidas a cumplir con el objetivo de edificarlas.

Entre las patologías a las que se enfrenta el concreto al estar en exposición se encuentran por mencionar algunas: el ataque por sulfatos, la resistencia a la congelación, la reacción álcali-agregado, la resistencia al fuego, el intemperismo, el ataque por sustancias ácidas y la corrosión del acero de refuerzo. De éstas, se destaca la corrosión del acero de refuerzo, siendo la que con mayor frecuencia se presenta, y a los altos costos que se derrochan en tratar de controlarla o detenerla en la medida de lo posible.

2.4.2. Naturaleza Porosa del Concreto.

La pasta de cemento posee poros de diferentes tamaños que se pueden clasificar como poros de gel (0.2 nm), propios del crecimiento del gel C-S-H, poros capilares con un tamaño que varía desde 50 nm hasta 1 μm y huecos ($> 10 \mu\text{m}$) debidos a la mala compactación del concreto. La mayoría de estos poros y los más importantes desde el

punto de vista de la corrosión son los poros capilares, los cuales forman una red de millones de poros interconectados entre sí tal como lo muestra la figura 2.3.

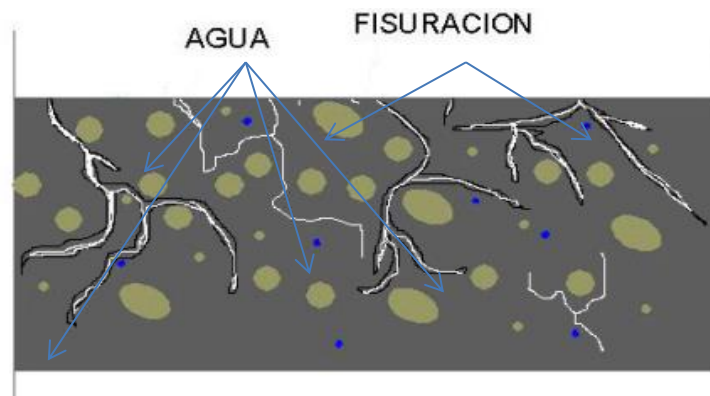


Figura 2.3: *Estructura Porosa del Concreto*

Nota: Observamos la estructura del concreto y la fisuración microscópica del concreto, Fuente: Aguilar J. (2013)

La cantidad de agua que se le agrega al cemento, es directamente proporcional a la cantidad de poros que existirán. El máximo de agua que se combina químicamente con el cemento en las reacciones de hidratación no es mayor que 0.24 veces su peso, pero para alcanzar una trabajabilidad adecuada en el concreto recién mezclado por lo general se usan relaciones a/c de entre 0.45 y 0.60.

Por tanto, la inherente porosidad del concreto es un factor crítico en la corrosión del acero de refuerzo, pero en realidad no es la porosidad sino el contenido de humedad dentro de los poros el factor desencadenante de la degradación del acero, ya que representa el electrolito necesario para que se dé el proceso de corrosión, y en muchos casos el medio a través del cual se transportan las sustancias agresivas como los iones cloruro y el gas CO_2 . De la humedad contenida en la estructura porosa, es el agua libre o solución de poro la que es la más importante desde el punto de vista de la corrosión, debido que es rica en iones Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} y OH^- , ya que el agua adsorbida en las paredes de los poros casi no contribuye al fenómeno de transporte por estar sometida a ciertas fuerzas de enlace.

Por último, el transporte de masa a través de los poros parcialmente saturados de



agua evaporable o solución de poro, se puede visualizar como un medio de transporte de gases N_2 , O_2 , CO_2 , vapor de agua, y de iones (transporte multifásico y multi especie), que entran y salen de la estructura gracias a cuatro mecanismos:

- Capilaridad, debida a esfuerzos de tensión (tensión capilar),
- Permeabilidad, debida a gradientes de presión,
- Difusión, debida a gradientes de concentración y
- Migración, debida a gradientes de potencial eléctrico.

2.4.3. Proceso de Corrosión

El proceso de corrosión es un fenómeno que se desarrolla de una manera invisible y lenta al interior de la estructura, hay varios factores que originan los procesos de corrosión entre los cuales tenemos: los que son dependientes del concreto, dependientes del medio ambiente y dependientes del acero de refuerzo propiamente dicho.

La presencia de cloruros en el concreto tienen dos caminos principales de acceso: la primera puede estar en la etapa de mezcla de la masa del concreto, ya que los cloruros pueden estar presentes en las materias primas de la masa o sea en los aditivos, agua, cementos agregados y la segunda desde el exterior ya sea que la estructura este en un ambiente marino o estar sometida a la acción de sales y cloruros.

2.4.4. Tipos de Corrosión

2.4.4.1. *Corrosión por Sulfatos*

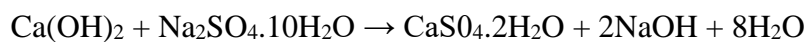
Los sulfatos solubles, especialmente los de sodio, calcio y magnesio presentes en los suelos, en las aguas y son denominados "alcalinos" son los responsables de las destrucciones del concreto, el ataque es usualmente acompañado por una expansión debido a la formación de uno o más productos de reacción. Soluciones al 0.5 % de sulfato de sodio, potasio o magnesio suelen atacar al concreto. Lo que es importante notar es que, en algunos casos, la densidad y permeabilidad del concreto influyen en su durabilidad a



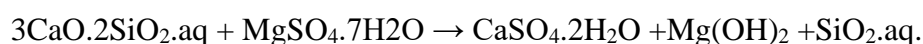
tal grado, que superan la influencia del tipo de cemento empleado

2.4.4.1.1. Mecanismos de Reacción de los Sulfatos.

Los sulfatos en estado sólido no afectan el concreto, pero en solución producen un fuerte ataque que se manifiesta en deformaciones y fisuras. Los sulfatos se encuentran en la naturaleza en forma sólida (yeso, anhidrita, etringita) o disueltos en aguas superficiales y subterráneas, así como en los suelos. Sus concentraciones difieren considerablemente. El mecanismo de la reacción química de ion sulfato como sustancia agresiva consiste en la formación de una sal fuertemente expansiva, que produce la fisuración y agrietamiento del concreto. En realidad, una solución de sulfato ataca el cemento, puesto que el sulfato reacciona con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y con los hidratos de aluminato de calcio. Los productos de la reacción, yeso y sulfoaluminato de calcio, tienen un volumen mucho mayor que los compuestos que reemplazan, de modo que su reacción con los sulfatos produce expansión y ruptura del concreto. La reacción entre el sulfato de sodio y el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se puede expresar como se indica a continuación:



En el agua que fluye, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se puede lixiviar completamente, pero si se acumula el NaOH se logra el equilibrio y se deposita únicamente parte del SO_3 como yeso. El sulfato de calcio ataca solamente el hidrato de aluminato de calcio y forma sulfoaluminato de calcio ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$). Por otra parte, el sulfato de magnesio ataca los hidratos de silicato de calcio y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, lo mismo que el hidrato de aluminato de calcio. El patrón de la reacción es:



Debido a la baja solubilidad del $\text{Mg}(\text{OH})_2$ la reacción llega a completarse de manera que, en ciertas condiciones, el ataque del sulfato de magnesio es más grave que el de otros sulfatos.

El ataque de sulfatos contra el concreto tiene una apariencia blanquecina característica. El daño suele iniciarse en bordes y esquinas, y va seguido de agrietamiento y descascaramiento progresivo que reduce el concreto a un estado quebradizo y hasta suave.

También se obtiene mejor resistencia al ataque de sulfatos añadiendo o reemplazando parcialmente el cemento por puzolanas. Estas eliminan el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ libre e inactivan las fases que portan aluminio, pero es necesario permitir que pase el tiempo suficiente para que las puzolanas entren en acción antes de exponer el concreto al ataque de sulfatos.

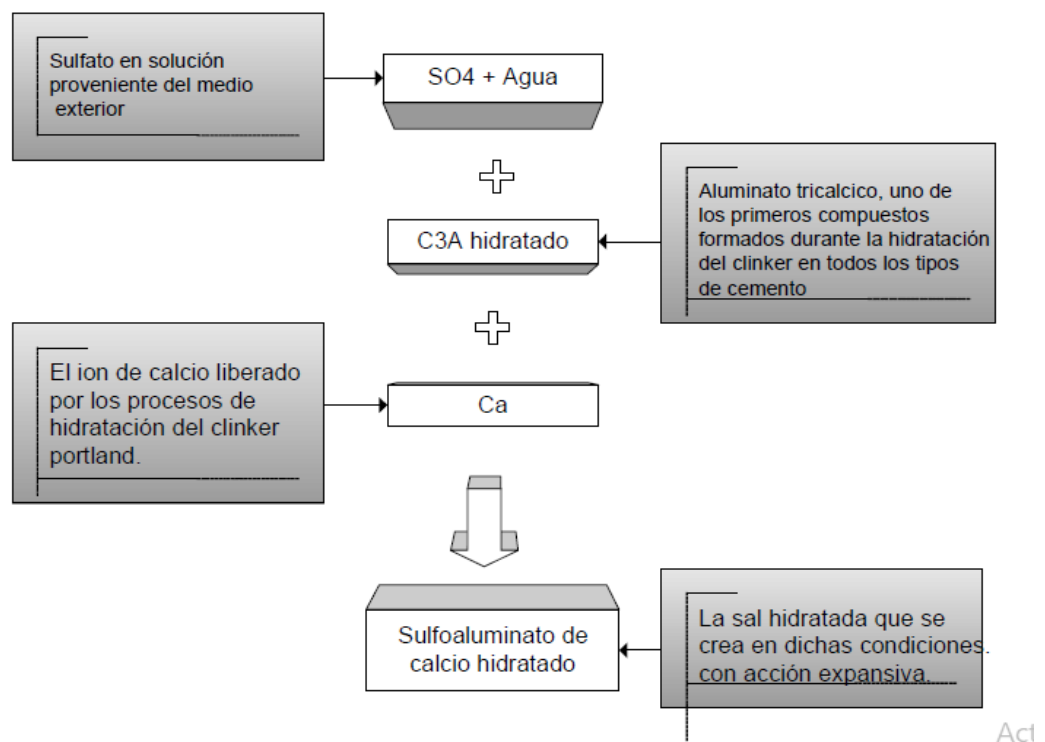


Figura 2.4: Esquema del Ataque de Sulfatos

Fuente: Portugal B. (2007) Tecnología del Concreto de Alto Desempeño

2.4.4.1.2. Control del ataque de sulfatos

El Reglamento Nacional de Construcciones (RNC), el Código del ACI y el

Código Europeo ENV 206, establecen 4 niveles agresivos para los concretos expuestos a la reacción de sulfatos, que pueden encontrarse como sulfatos solubles en el suelo o en el agua, según se expresa en resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2.7: *Requisitos para Concreto Expuesto a Soluciones con Sulfatos*

Tipo de Exposición a los Sulfatos	Sulfatos Solubles en Agua (SO ₄) Presentes en Suelos (% en peso)	Sulfatos (SO ₄) en Agua (p.p.m.)	Tipo de Cemento Recomendado	Relación agua/cemento Recomendado	f ^c Mínimo
Despreciable	0.0 a 0.10	0 a 150	-	-	-
Moderada	0.10 a 0.20	150 a 1500	II, IP (MS), IS(MS), IPM(MS), I(SM)	0.50	280
Severa	0.20 a 2.00	1500 a 10000	V	0.45	315
Muy severa	> 2.00	> 10000	V + Puzolana	0.45	315

Fuente: Portugal B. (2007) Tecnología del Concreto de Alto Desempeño

El código del ACI agrega la resistencia mínima, En la situación de moderada exposición a los sulfatos el RNC prescribe el cemento denominado de moderada resistencia a los sulfatos. El ACI considera además como aptos en esta circunstancia, a los cementos Portland puzolánicos y los cementos portland de escoria.

2.4.4.2. Corrosión por Cloruros

El cloruro de sodio (NaCl) más conocida como sal común es un compuesto químicos llamados sales y es el primordial constituyente del agua de mar, químicamente es inocuo al concreto, pero es un potente contribuidor a la corrosión del acero de refuerzo.

Cloruros en los agregados del concreto producen eflorescencias que se localizan fácilmente en forma de machas blanquecinas en la superficie del hormigón como consecuencia de la cristalización de sales (del propio hormigón o debido a la filtración de agua). En caso de que aparezcan acompañadas de manchas de óxido, puede ser indicativo

de que además existe corrosión del acero de refuerzo.

En el concreto el ion cloruro se encuentra combinado químicamente, adsorbido físicamente o en estado libre. Únicamente la parte de cloruro no combinado es la responsable de la corrosión del refuerzo. Se estima que aproximadamente el 0,4% del cloruro, con respecto al peso del cemento puede llegar a combinarse.

La difusión del ion cloruro en el concreto se reduce por la capacidad del cemento para combinarlo química o físicamente, en cuanto reacciona con los productos de hidratación.

Los componentes del cemento que reaccionan son el aluminato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C₃A) que forma cloro-aluminatos cálcicos de composición aproximada: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, reaccionando también el ferroluminato tetra cálcico, (C₄FA) ó $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ con la formación del cloro ferrito cálcico, de composición: $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

2.4.4.3. Corrosión por Aguas de Desagüe

Los desagües domésticos no tienen efectos corrosivos sobre un buen concreto y han sido verificados por el buen comportamiento en las tuberías de concreto usados en alcantarillados, pero en condición es especiales y bajo ciertas combinaciones como bajas velocidades de flujo o altas temperaturas, podrían generar gas hidrogeno sulfuro (H_2S) como resultado de la acción oxidante de las bacterias anaeróbicas sobre estos compuestos de azufre inorgánicos presentes en el desagüe.

Si los desagües tienen más de 150 ppm de sales solubles de sulfatos neutros podría ocurrir ataque por sulfatos, los que podrían contener estas cantidades serían los desagües industriales, porque los domésticos rara vez contienen esa cantidad de sales neutras.

2.4.4.4. Corrosión por Ácidos

La destrucción del concreto se produce porque los ácidos, después de la



destrucción de la capa carbonatada forman sales solubles en el agua con el Ca (OHh del concreto, sales que son arrastradas por el agua. La solubilidad del CaCO_3 es mayor en los ácidos que en las aguas blandas; esto se debe que la corrosión por ácidos propicie mayores estragos que la corrosión por lixiviación.

2.4.4.5. Corrosión del Acero de Refuerzo

Debido a su baja permeabilidad, su alta alcalinidad y alta resistencia eléctrica, el concreto tiene que proteger de corrosión a los elementos metálicos embebidos en él. Por eso el grado de protección proporcionado por este es función de su calidad, del espesor del recubrimiento y de su adecuado diseño en los procedimientos empleados en el proceso constructivo y del adecuado diseño de la estructura por las condiciones de servicio a las cuales va estar sometida. Principales casos de corrosión del acero:

2.4.4.5.1. Corrosión Uniforme.

El ataque se extiende en forma homogénea sobre toda la superficie metálica y la penetración media es igual en todos los puntos. Esta es la forma más benigna de corrosión pues permite calcular fácilmente la vida útil de los materiales corroídos.

2.4.4.5.2. Corrosión Localizada:

Corrosión por picaduras: durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficies metálicas pasivas, propagándose hacia el interior del metal en forma de canales cilíndricos. Este tipo de ataque generalmente resulta del ingreso del ión cloruro y es una de las formas más peligrosas bajo las cuales se puede presentar la corrosión.

Corrosión en espacios confinados: ocurre cuando sobre la superficie del metal existe un espacio lo suficientemente resguardado que evita el acceso continuo del oxígeno a esa zona, pudiéndose crear celdas diferenciales de oxígeno que inducen a la corrosión de refuerzo.

Corrosión bajo tensión: se presenta cuando un metal está sometido

simultáneamente a la acción de un medio corrosivo y de tensiones mecánicas de tracción. Se forman fisuras que pueden ser intergranulares o transgranulares y que se propagan hacia el interior del metal, se puede llegar hasta la fractura del metal.

2.5. SOLUCIONES A PROBLEMAS DE ATAQUE DE CLORUROS Y SALITRES

Existen diversas formas de defender una vivienda del ataque de la humedad proveniente del suelo. Éstas se pueden dividir en dos grandes grupos de acuerdo al momento en cual se ejecutan.

Si se llevan a cabo durante la construcción de la edificación se denominan preventivas ya que se está previniendo la aparición de la humedad.

Si se ejecutan con posterioridad a la construcción de la vivienda se denominan correctivas ya que se está corrigiendo un problema que se hizo presente posteriormente a la realización de la vivienda, ya sea por no haber tomado acciones preventivas o porque éstas fueron insuficientes para detener la humedad presente en el terreno.

Tabla 2.8: *Soluciones a Problemas de Ataque de Cloruros y Sulfatos*

Soluciones a Problemas de Ataque de Cloruros y Salitre	Aplicación de Soluciones	Problema
Preventivas	Durante la Construcción	Hipotético
Correctivas	Posterior a la Construcción	Tangible

Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) "Humedad Proveniente Del Suelo En Edificaciones". Universidad de Chile.

2.5.1. Medidas Preventivas.

Al momento de diseñar una construcción se debieran realizar sondajes en el terreno para conocer cuál es la composición del suelo donde se desea construir. No basta con revisar informes de construcciones aledañas que se hayan realizado con anterioridad, ya que los niveles freáticos varían con los años lo que puede llevar a conclusiones erróneas. Si una vez realizado el estudio, de preferencia por un mecánico de suelos, se

aprecia que se está en riesgo de tener problemas por exceso de humedad en el terreno, se hace indispensable tomar la decisión de realizar alguna acción preventiva que evite posteriores problemas.

Entre las medidas que se pueden tomar se encuentran las siguientes.

2.5.1.1. No construir.

Esta medida debería tomarse en casos donde se tiene un terreno con exceso de agua permanente o con una napa de agua demasiado superficial, razón por la cual crear alguna solución podría resultar demasiado costosa y compleja. Dependiendo del tipo e importancia de la edificación se tendrá que tomar una decisión.

2.5.1.2. Uso de Láminas o Membranas Impermeables.

Consiste en evitar el contacto muro-suelo o fundación-suelo, para lo cual se utilizan láminas impermeables para cubrir las fundaciones o cimientos, lo que impide que el agua presente en el suelo entre en contacto directo con los elementos constructivos, evitando así su ingreso a la malla de capilares por lo que no puede ascender a través de ellos.

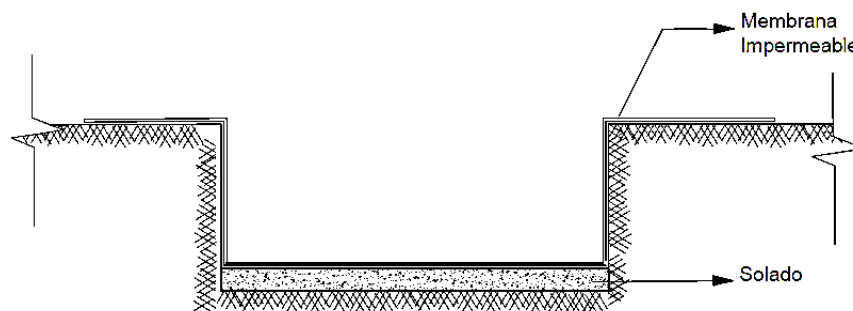


Figura 2.5: Colocación de Membranas Impermeables

Nota: Corte transversal de la colocación de las membranas impermeabilizantes. Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) "Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones". Universidad de Chile.

Aplicable también directamente sobre las fundaciones o los cimientos de la construcción, la forma de aplicación en este caso es la que sigue

Ubicar sobre el solado la membrana de manera que ésta cubra toda la superficie que posteriormente ocupará el concreto de la fundación, asegurando dejar un sobrante a



cada lado de la excavación.

Una vez vertido el concreto, tanto de la fundación como del muro o pilar que nace de ella, tomar los sobrantes antes dejados sobre el terreno y ubicarlos de manera que cubran la fundación y la parte baja del muro que pueda quedar en contacto con el terreno.

En el mercado nacional podemos encontrar diversos productos como:

- Membrana Asfáltica Geotrans (Chema)
- Membrana Asfáltica Meganor (Chema)
- Sika® Injection-101 espuma de poliuretano reactiva al agua
- Sika® Injection-201 resina de inyección de poliuretano muy viscosa,
- Sikadur-Combiflex® SG-20 M cinta de impermeabilización
- SikaProof® A-05 , sistema de impermeabilización
- Sikaplan® WP 1100-20HL , membrana impermeabilizante
- SikaProof® A-12, membrana de FPO de poliolefina en relieve para impermeabilización

Las membranas de impermeabilización son una muy buena solución. La razón es que se utilizan directamente sobre las fundaciones, los cimientos o sobre los muros de contención de la construcción y se logra aislar completamente la estructura del suelo, impidiendo absolutamente que el agua penetre en los materiales y pueda ascender por capilaridad.

Al existir alternativas de distintos materiales resulta necesario discriminar entre ellos (asfálticas, poliméricas y de PVC). La colocación es similar para los tres tipos ya que todas se distribuyen en forma de rollos de diámetros determinados o en forma líquida, que luego de ser aplicadas toman la consistencia de membrana.

Una diferencia entre los distintos tipos es la forma de unir una lámina con otra y su elasticidad. Los dos primeros tipos necesitan de sopletes a llama directa que vayan



derritiendo los bordes de las láminas para que se unifiquen y formen una gran membrana. Esto puede resultar un tanto peligroso para los trabajadores que las instalan, que aunque deben ser personas que hayan tenido la capacitación respectiva, los riesgos de accidentes aumentan al trabajar con fuego. El tercer tipo, las de PVC, no utilizan fuego para realizar las uniones sino que utilizan solamente aire caliente, que por si solo igualmente puede resultar peligroso pero comparado con el fuego claramente es menos dañino.

No confundir estas membranas con los rollos de plástico que se utilizan en algunas construcciones donde por ahorrar algo de dinero dejan de lado las membranas creyendo que solamente dando un mayor traslape al plástico logran el mismo efecto y no se dan cuenta que las selladuras deben ser completamente herméticas ya que de no ser así el agua igualmente logra penetrar y provocar daños.

Otra diferencia es su estiramiento siendo la de PVC la que alcanza un mayor rango. Esto es muy bueno porque se corren menos riesgos de rajaduras en el material ya que cuando el concreto se expanda o se agriete, modificando su volumen, la membrana se alargará y no sufrirá daños.

La impermeabilización que se logra a nivel de fundaciones con las membranas no líquidas es muy efectiva, ya que éstas se colocan sobre el emplantillado de las fundaciones cubriendo toda la excavación y con una holgura. Luego del hormigonado dichas holguras se levantan y se adhieren a la parte baja del muro para que ninguna superficie de concreto quede en contacto directo con el suelo.

2.5.1.3. Barreras Anticapilares.

Hay casos en los que puede resultar eficiente realizar barreras anticapilares. Esto consiste en interponer entre el terreno y el pavimento una capa de material que puede ser grava u concreto pobre de alta granulometría y poca dispersión, de manera de romper la red de capilares en la transición del suelo hacia los elementos constructivos.

La figura 2.6 muestra como se ve una solución de este tipo, en este caso se mejoró aún más la eficiencia dado que entre el relleno gravoso y el pavimento se ubicó una lámina impermeable para un mejor funcionamiento.

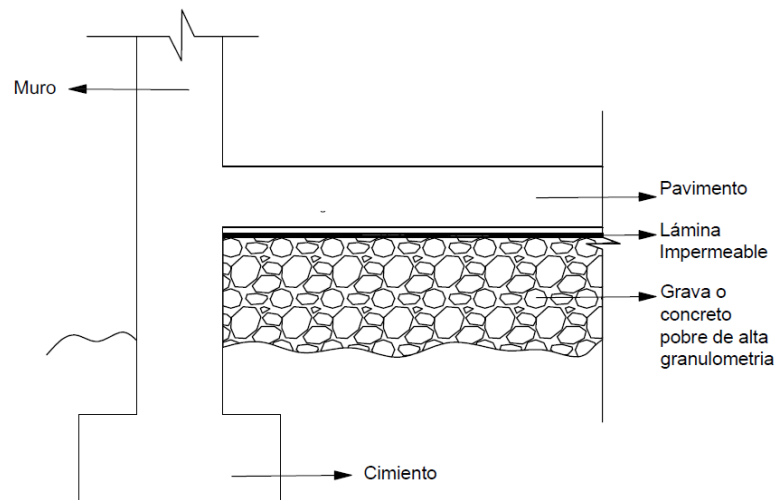


Figura 2.6: *Barrera Anticapilar*

Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) “Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones”. Universidad de Chile.

La explicación del buen funcionamiento de este sistema radica en que, tal como se explicó previamente, mientras más finos sean los espacios dejados en el material mayor es el ascenso del agua por lo que al utilizar grava o áridos de gran tamaño se dejan espacios de mayor diámetro lo que imposibilita la subida del agua.

Esta solución no presenta mayores problemas constructivos ya que sólo se necesita determinar el material granular que se va a utilizar.

Podría representar una buena solución para evitar un ascenso de agua directamente a través del pavimento de la vivienda ya que al dejar una barrera de material granular de alta granulometría no se forman capilares a través de los cuales el agua podría ascender.

La desventaja es que las fundaciones o cimientos igualmente quedan en contacto directo con el suelo húmedo. El agua, al no poder ascender a través del pavimento, buscará algún lugar por donde hacerlo y es allí donde las fundaciones o los cimientos se verán afectados y los problemas de humedad podrán aparecer.



Teniendo en cuenta lo anterior, puede decirse que esta solución puede ser recomendada como complemento de alguna otra en suelos donde la humedad sea muy alta y no baste sólo con aislar las fundaciones.

2.5.1.4. *Materiales Hidrófugos.*

Esta técnica consiste en evitar el ascenso del agua actuando directamente sobre los capilares del material.

Una forma de realizarlo es interviniendo, mediante el uso de aditivos, la composición del concreto a utilizar. Esto no siempre es recomendable ya que la mayoría de las veces se perjudica la resistencia mecánica del concreto a utilizar, lo que podría recuperarse modificando la dosificación y la granulometría.

Esta solución puede ser un arma de doble filo. Por un lado puede suponerse que basta con utilizar en el concreto, materiales aditivos que lo hagan impermeable y no es necesario preocuparse de nada más.

Este es un grave error que se comete ya que teóricamente el concreto queda impermeable pero en la práctica es muy difícil que así suceda. La explicación de esto es que para lograr el objetivo deseado hay que controlar factores que en una construcción son muy difíciles de controlar.

Un ejemplo de lo anterior es la consolidación del concreto. Para que las fundaciones, muros de contención, cimientos o sobrecimientos queden absolutamente impermeables es necesario un vibrado que bordee la perfección y un llenado lo más continuo posible para lograr elementos monolíticos. En una construcción es muy difícil que esto ocurra ya que los maestros encargados de realizar estos trabajos no son todo lo cuidadosos que debieran ser y las personas de calidad generalmente no dan abasto para cubrir todas las tareas que se realizan al mismo tiempo en un proyecto dado. Es por esto que muchos muros y elementos quedan mal consolidados formándose nidos de piedras o



juntas mal ejecutadas (porque se acaba el concreto a mitad de llenado y lo rellenan más tarde sin los cuidados que se deberían tomar) lo que lleva finalmente a que el concreto que debiera ser impermeable no lo sea y los problemas de humedad aparezcan de igual forma.

En consecuencia, ésta puede ser una buena solución al problema siempre y cuando se pueda llevar a cabo bajo estrictas medidas que supervisen un buen desarrollo de las actividades o como complemento de otras soluciones.

2.5.1.5. *Revestimientos Impermeables.*

Los tratamientos con revestimientos impermeables, tal como lo indica su nombre, trabajan sobre la superficie de los elementos impidiendo así la propagación de la humedad a través de ellos. Lo que se intenta hacer es bloquear superficialmente los capilares del material para evitar la propagación del agua.

Este tipo de solución puede aplicarse tanto bajo presión positiva de agua como bajo presión negativa. El concepto de presión negativa hace alusión a cuando el impermeabilizante es aplicado por el interior de los muros y presión positiva se refiere a cuando es aplicado en la superficie exterior del elemento.

Si es aplicado para actuar bajo presión negativa, no proporciona solución alguna al problema de ascensión de agua ya que lo único que se logra es evitar que el agua aparezca en algún sector del muro pero como se dijo previamente el agua va a encontrar otro lugar por donde aflorar. Si se impermeabilizan todos los muros tampoco puede asegurarse que se soluciona el problema ya que lo único que se está logrando es contener el agua por algún tiempo, después del cual los problemas volverán a aparecer.

Aplicar un impermeabilizante que trabaje a presión positiva resulta ser de mayor utilidad.

La mayor eficiencia que se logra actuando de esta manera, con respecto a la

lograda si se utiliza bajo presión negativa, dice relación con que se está evitando que el agua penetre en el material por lo que no habrá agua que produzca los problemas de humedad. Hay que tener en cuenta que igualmente esto por sí solo no presenta una solución efectiva ya que se han visto casos en que se impermeabiliza la parte baja de un muro y el agua asciende más de lo que había logrado hacerlo en un principio y crea los mismos problemas existentes previo a la aplicación del impermeabilizante.

Otro punto desfavorable para los revestimientos impermeables es que para su aplicación es sumamente importante que la superficie donde se aplicará esté absolutamente limpia, lo que en una obra es muy difícil de lograr. Además se necesita realizar un escobillado de la superficie para lograr una mayor adherencia del producto lo que implica un tiempo de trabajo extra no despreciable si las superficies son de gran tamaño.

En el mercado nacional podemos encontrar algunos productos como:

- Chema Bitumen, un líquido asfáltico modificado con solventes minerales.
- Igol® Imprimante, solución de asfalto de Sika
- Igol® Denso igualmente de Sika

2.5.2. Medidas Correctivas.

Tal como se dijo previamente, cuando por algún motivo no se tomaron las medidas preventivas necesarias y aparecieron los problemas de humedad en la vivienda, se hace estrictamente necesario tomar acciones en el asunto y realizar las correcciones que sean necesarias para restablecer lo máximo posible, el confort en la vivienda.

A continuación se presentan las soluciones históricamente conocidas para solucionar los problemas de humedad por ascensión capilar.

2.5.2.1. Drenaje.

Esta solución aplica en la medida que sea posible construir un drenaje para evitar



que las aguas del suelo puedan llegar a tener contacto con las fundaciones de la construcción y así evitar un ascenso de dicha agua que pudiera alcanzar los muros de la vivienda. Los drenajes consisten en una zanja perimetral a la construcción que sirve de desagüe para las aguas presentes en el suelo. En el fondo de la zanja se ubica un tubo que sirve de cañería para transportar el agua.

Esto se logra gracias a que la excavación se rellena con material gravoso y el tubo utilizado debe ser de un material altamente poroso para que el agua pueda ingresar a él.

Los tubos se disponen con una pendiente generalmente cercana al 1% aunque en ocasiones puede incrementarse hasta llegar a un 5% para permitir un buen escurrimiento del agua. Las uniones de los tubos generalmente se dejan abiertas para facilitar el acceso del fluido que al final de su recorrido se encuentra con un colector que puede ser, por ejemplo, la red de alcantarillado.

En la figura 2.7 se puede observar un ejemplo de una solución de este tipo donde además se utilizó un revestimiento impermeable en la superficie lateral de la fundación.

Con esta solución se logra bajar el nivel del agua en el suelo lo que permite aumentar el efecto de la gravedad en los capilares. Lo anterior, a veces ayudado por la evaporación de parte del agua, puede contrabalancear los esfuerzos intermoleculares que retienen el agua en un nivel no deseado, logrando llevarla a una cota en la que no genere problemas para la vivienda.



Figura 2.7: *Drenaje y Revestimiento Impermeable*

Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) "Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones". Universidad de Chile.

Esta solución es una buena opción por la cual optar si es que se tienen problemas de humedad severos en la vivienda. Su efectividad radica en que se logra bajar el nivel de agua lo que libera la saturación de los muros.

Por otra parte en la época de lluvias, donde abunda el agua presente en el suelo aumenta de forma considerable, las casas provistas de sistemas de drenaje poseen en él un importante sistema de protección ya que el relleno utilizado para tapar la zanja excavada debe ser un material de alta granulometría lo que permite al agua lluvia pasar a través de él directamente hacia las cañerías ubicadas en el fondo de la excavación para finalmente terminar en el colector de aguas y no en el suelo lo que evita una acumulación y previene de posibles ascensiones.

2.5.2.2. Juntas Impermeables.

Esta solución consiste en utilizar láminas impermeables al interior de los muros afectados para cortar la capilaridad. Lo ideal sería realizar este procedimiento en todos los muros de la vivienda, pero como esto puede resultar muy costoso, suele realizarse sólo en los muros afectados.

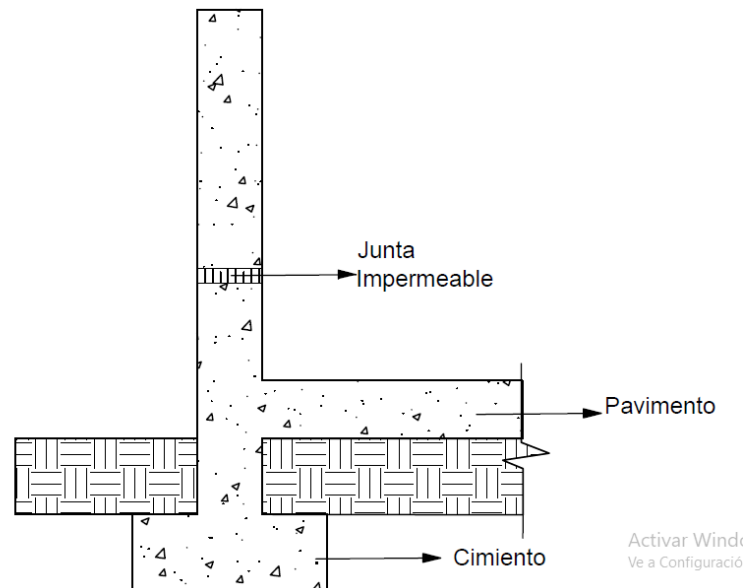


Figura 2.8: *Corte Transversal en un Muro Tratado con Juntas Impermeables.*

Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) “Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones”. Universidad de Chile.

La colocación de las láminas (que deben ser de tipo asfálticas o de materiales como plomo, cobre, polietileno, etc.) se efectúa realizando cortes transversales en los muros por tramos no consecutivos de tal forma que el muro nunca permanezca cortado, sin endurecer, en más de un tercio de su longitud total.

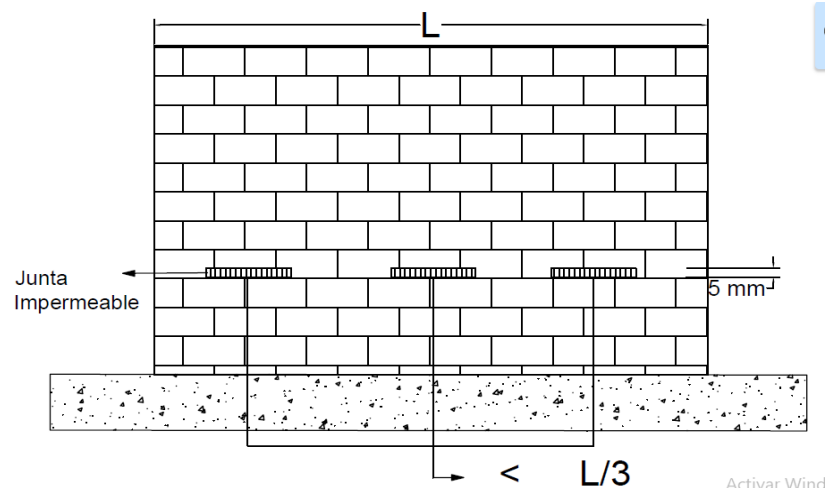


Figura 2.9: *Ubicación de Juntas Impermeables en Muros.*

Nota: La Sumatoria de los cortes en el muro no deben ser mayores a un tercio de su longitud, Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) “Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones”. Universidad de Chile.

Para el caso de la albañilería se presenta una variante a este sistema que consiste en reemplazar dos a tres hiladas de ladrillos por unas nuevas hiladas pero pegadas



utilizando un mortero hidrófugo para conseguir la barrera impermeable deseada.

Como se ha dicho en reiteradas oportunidades si el agua encuentra algún obstáculo en su camino lo más probable es que encuentre algún otro lugar por donde subir y los problemas de todas maneras volverán a aparecer. Es por esto que si se decide por esta opción lo recomendable es realizarla en todos los muros de la vivienda que estén en contacto con el suelo húmedo.

Un inconveniente que presenta esta solución es que se trata de un procedimiento absolutamente invasivo y destructivo, lo que además de hacerlo muy molesto para las personas que habitan la vivienda, hace que su costo sea elevado ya que se necesita destruir partes del muro y luego realizar las reparaciones necesarias.

Otro punto negativo es que si se aplica este procedimiento en suelos con permanente humedad, el agua se va a contener a cierto nivel y se va a acumular a nivel de cimientos lo que en un espacio de tiempo prolongado puede debilitar dichos elementos frente a la acción de solicitaciones imprevistas como los sismos.

Por todo lo anterior se recomienda optar por alguna otra de las opciones expuestas en este trabajo.

2.5.2.3. Método Electro-Osmótico.

En la lucha que contra la humedad se viene practicando en todo el mundo cabe destacar los ensayos realizados en Suiza y Holanda a tal respecto. El tratamiento electro-osmótico (patente Ernst) fue ideado en Suiza y tiene la enorme ventaja de que se puede instalar en un edificio completamente terminado y que los gastos de su funcionamiento son completamente nulos. El invento está basado en la electricidad, pues según los ensayos suizos se ha comprobado que, en el subsuelo donde se apoyan los cimientos de un edificio cualquiera y los muros al nivel del suelo hay una diferencia de potencia eléctrica de 10 a 100 milivoltios, diferencia que depende de su constitución: humedad, elementos

químicos, etc.

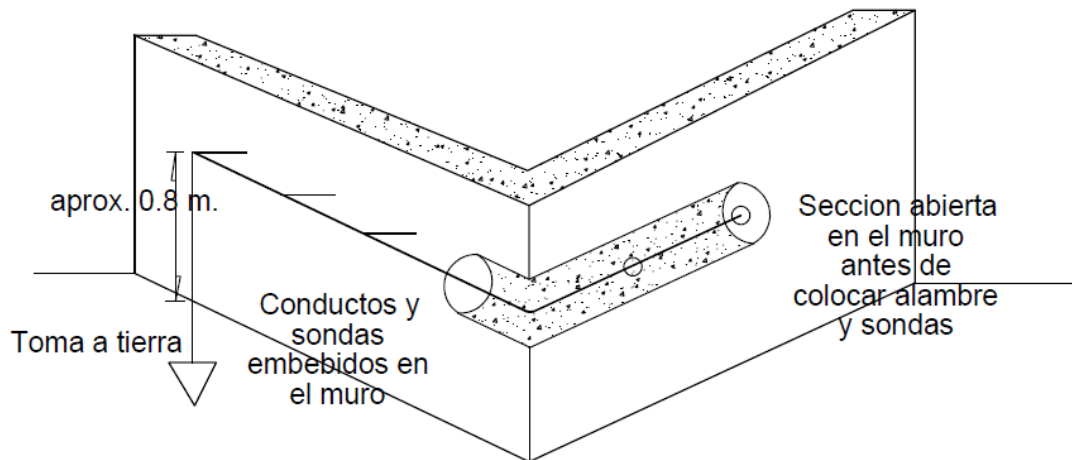


Figura 2.10: *Tratamiento Electro-Osmótico (Patente Ernst)*

Nota: La colocación de los alambres de cobre, de 4 a 5 mm de diámetro se hace en el muro en el que previamente se han hecho unas pequeñas rozas que penetran en el interior del mismo y a una distancia, entre sí de 50 cm, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

El sistema Ernst (fig. 2.10) consiste en que dentro del muro se introduce un alambre de cobre que actúa como conductor horizontal, el cual por medio de tomas de tierra de un metal distinto clavado en el suelo, crea una polaridad inversa a la anterior (polo positivo en el muro, polo negativo en el terreno) estableciéndose una dirección inversa de la humedad a las del efecto capilar. No es preciso, al menos hasta el momento, una fuente de energía eléctrica, por lo que no hay que considerar gasto alguno de funcionamiento.

Este procedimiento se aplica en construcciones de albañilería ya que se basa en los potenciales eléctricos generados en la albañilería que son de signo positivo a nivel del suelo y negativo en el muro.

Al aplicar corriente continua a un elemento poroso, se puede trasladar agua a través de él. A este fenómeno se le denomina electro-osmosis.

Teniendo en cuenta que el desplazamiento del agua a través de un elemento se realiza desde la zona de potencial eléctrico positivo hacia la zona de potencial negativo,

se deduce que el fenómeno de la electro-osmosis crea un flujo ascendente de agua que se suma al producido por la capilaridad.

El método electro-osmótico invierte las polaridades de dichos potenciales eléctricos, situando el positivo en el muro y el negativo a nivel del suelo. Haciendo esto se pretende hacer descender el agua en el muro o al menos contrarrestar el ascenso por capilaridad.

Según desde donde sea la fuente del potencial utilizada, el método se divide en pasivo o activo. Todo el edificio puede rodearse con una tupida red, unida a profundas y numerosas tomas de tierra.

La electro-osmosis activa es equivalente al método anterior salvo que se utiliza una fuente externa de poder para generar una corriente continua con una diferencia de potencial mayor a la obtenida en forma natural (figura 2.11).

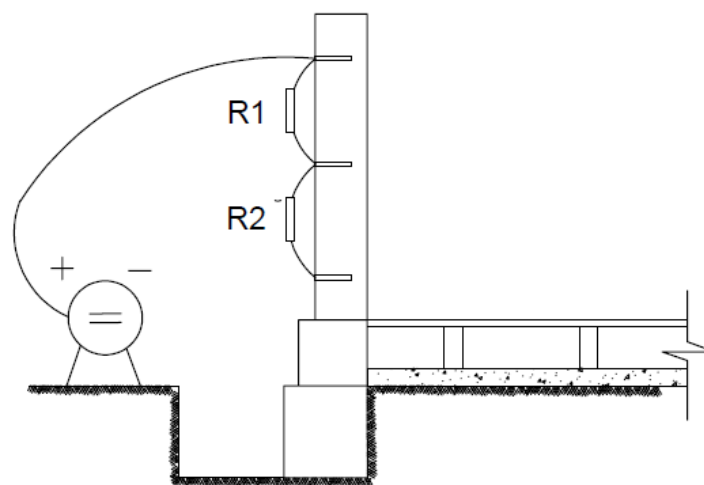


Figura 2.11: *Electro- Osmosis Activa.*

Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) "Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones". Universidad de Chile.

Dentro de las soluciones correctivas, ésta una de las que mejores resultados ofrece ya que lo que se logra mediante su uso es hacer descender realmente el nivel del agua presente en el muro, a través del uso del cambio de polaridades albañilería-suelo.

El primer inconveniente que presenta este tipo de solución es que sólo puede ser

utilizada en construcciones de albañilería por lo que no se aplica en viviendas hechas en base a concreto.

Un segundo inconveniente es que para llevarlo a cabo se debe proceder a excavar para llegar a los cimientos de la casa para insertar los electrodos correspondientes a ese nivel lo que hace que sea una solución invasiva. Esto se aumenta si se considera que se deben insertar los electrodos a través de todos los muros de la edificación.

En líneas generales, éste es el sistema electro-osmótico que actualmente es aplicado por un número determinado de casas especializadas.

2.5.2.4. *Cámaras de Aire Exteriores.*

Esta solución se recomienda en muros de sótanos y consiste en separar el muro del terreno dejando, tal como el nombre lo indica, un espacio de aire que permite aislar el muro.

Esta separación se puede lograr a través de placas de concreto prefabricadas que tengan la resistencia necesaria para contener el empuje del suelo que se desplaza.

En la figura 2.12 se aprecia cómo se vería este tipo de solución aumentando su efectividad con la construcción de un drenaje y la utilización de un revestimiento impermeable en la superficie lateral de la fundación que queda en contacto con el relleno.

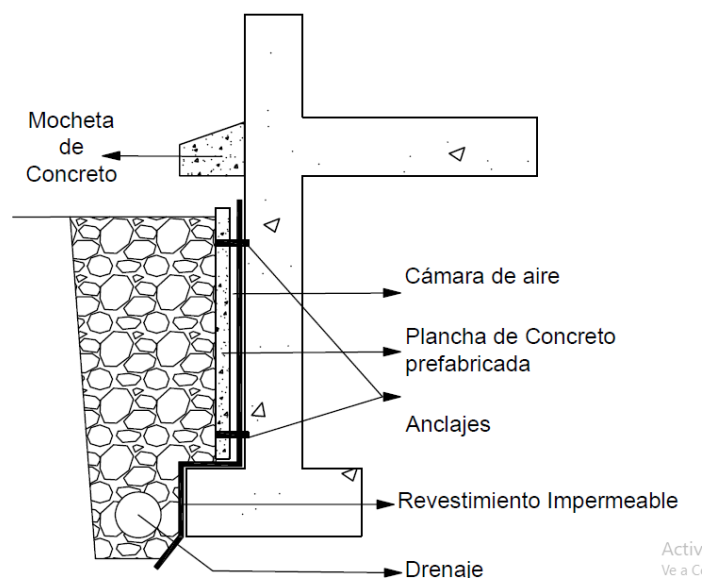


Figura 2.12: Cámara de Aire, Drenaje y Revestimiento Impermeable

Fuente: Fernández C. Juan P. (2008) “Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones”. Universidad de Chile.

La mocheta de concreto se construye con el objetivo de evitar el ingreso de agua lluvia o de riego a la cámara de aire. Si el agua ingresara de igual manera, ésta escurriría a través de la abertura que se deja en la parte inferior y se evacuaría a través del drenaje.

El revestimiento impermeable impide que el agua que pueda resbalar a través del muro penetre en él y provoque problemas de humedad. La plancha prefabricada se une al muro a través de anclajes para fijar su posición.

Un punto en contra que presenta esta solución es que el método constructivo para realizarla es bastante complejo ya que se necesita hacer una excavación de un ancho no menor para luego ubicar el tabique de concreto que debe ser capaz de resistir el empuje de tierra del suelo que contendrá, lo que puede ser un peligro para quien lo haga por posibles derrumbes del suelo circundante a la vivienda ya que está pensada para muros de subterráneos.

Su eficiencia se basa en que se evita el contacto muro suelo mediante el uso del tabique que actúa como muro de contención ante el suelo que previamente estaba en contacto con el muro, lo que claramente resulta beneficioso.

2.5.2.5. Inyecciones.

Este procedimiento se basa en romper definitivamente la red de capilares del material del que se construyó el muro. Lo que se hace es perforar el muro a través de una serie de agujeros de 10mm de diámetro distanciados a 10 o 15cm uno de otro.

Existen dos tipos de inyecciones que se pueden realizar, las por presión y las por gravedad. El procedimiento a seguir en los dos tipos es el mismo y la única diferencia radica en el compuesto que se inyecta al muro.



Figura 2.13: *Inyección de Polímeros a Muros*
Fuente: <https://reformacoruna.com/humedad-capilaridad-muro/>

En el primer tipo se inyecta a presión una mezcla de látex de caucho y siliconato de sodio que por efecto de la presión ingresa al muro y va rellenando los capilares evitando una posterior ascensión de agua a través de ellos.

En el segundo tipo, los agujeros deben realizarse inclinados hacia abajo a medida que van ingresando al muro. Se vierte una solución impermeabilizante de baja viscosidad que gracias a la inclinación y al efecto de la gravedad se difunde a través del elemento.

La ventaja de esta técnica es que se han visto muy buenos resultados en lugares donde se ha aplicado, logrando disminuir los efectos dañinos de la humedad. Este tipo de procedimiento no elimina los problemas de humedad por ascensión capilar ya que no elimina el agua del suelo sino que sólo la contiene a una cota baja y le impide ascender por lo que los problemas no se hacen visibles.

2.5.2.6. Sifones de Knapen.

El método Knapen utiliza el principio según el cual el aire caliente sube hacia arriba y el frío tiende a bajar. El sistema elimina las humedades de las paredes mediante higróconvectores. Estos higróconvectores son simplemente tubos inclinados que se introducen en el muro de manera inclinada cada 15cm aproximadamente y que son capaces de crear un flujo de aire seco que reemplaza al aire húmedo, evaporando la



humedad que se produce en el muro por capilaridad.

Los higróconectores o sifones atmosféricos están realizados de PVC neutro calado. La cabeza principal tiene una dimensión de 3,5 cm de diámetro y la longitud puede alcanzar los 30 cm para adaptarse a cualquier espesor de muro. Es un sistema sencillo, económico y muy eficaz, que no requiere mantenimientos ni productos químicos para su funcionamiento. La instalación es rápida y sencilla sin ser necesario personal especializado, convirtiéndose en la mejor alternativa para la eliminación de humedades en cualquier tipo de muro y en cámaras de aire.

Para aplicar el método, en primer lugar se recomienda picar cuanto antes los revocos contaminados, y así eliminar la mayor parte de las sales cristalizadas, la humedad contenida y la superficial. Una vez preparada la superficie, procederemos a realizar los taladros, que tendrán una inclinación en torno a 15° con la horizontal del muro y volcados hacia su salida. La longitud de estos taladros será aproximadamente de $2/3$ del espesor del muro, y la distancia entre ellos, no más de 35 cm. (3 unid. por ml). En la superficie del muro se colocan unas rejillas que hoy en día se hacen de plástico para evitar la corrosión. El mayor inconveniente es que cuando el agua transporta sales estas cristalizan en la superficie. Se pueden limpiar pero al final se colmatan sus poros.

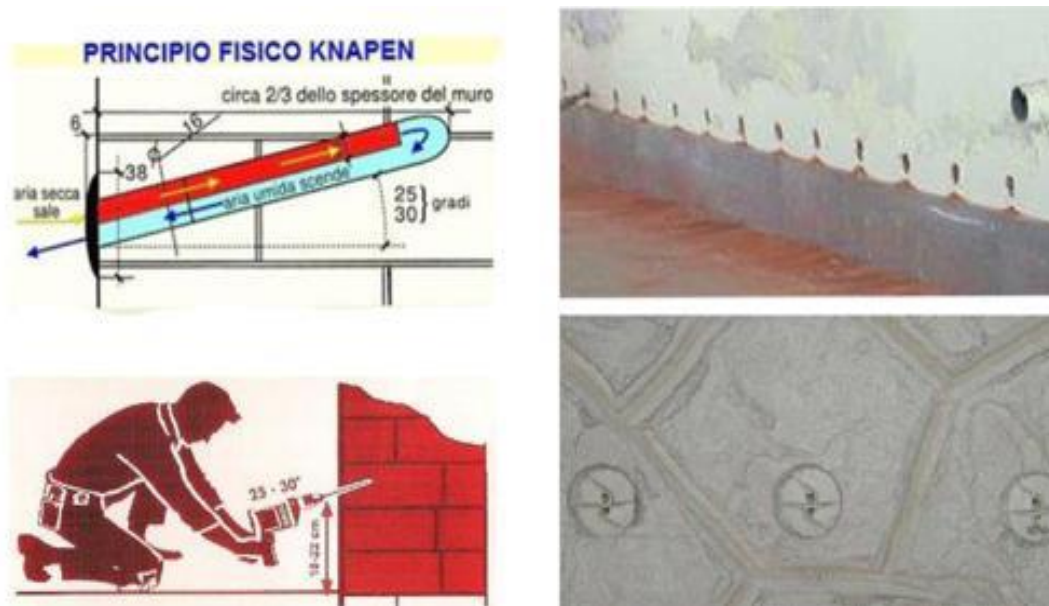


Figura 2.14: Estructura e Instalación de Sifones

Fuente: <https://www.arquitecturayempresa.es/>



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.

Con el fin de conseguir o materializar los especímenes de concreto que comprenden las pruebas de campo y selección de materiales se emplearon los siguientes materiales.

- Agregados de cantera del río Isla (fino y grueso respectivamente).
- Cementos Portland tipo IP Rumi y cemento HS Anti Salitre Yura.
- Cloruro de Sodio y Sulfato de Magnesio para disolver en el agua de curado de probetas.

3.2. METODOLOGÍA.

3.2.1. Diseño de Investigación

La metodología para desarrollar la presente investigación será del tipo **descriptiva-experimental**, será mixta debido a la naturaleza del problema ya que involucra desde describir los problemas existentes, evaluar y realizar ensayos de compresión simple de probetas sometidas a curado con soluciones de cloruros y sulfatos, además de la elaboración de probetas para el estudio de determinación de velocidad de absorción en concretos elaborados con cemento Tipo I y HS Antisalitre y evaluar su comportamiento físico mecánico.

Además contempla la recolección de información técnica sobre aditivos para contrarrestar el salitre y ataque de sulfatos y cloruros.

También se usara como herramienta la realización de encuestas entre las personas involucradas en la ejecución de obras civiles.



3.2.2. Tipo de Investigación

La investigación es del tipo experimental.

3.2.3. Nivel de Investigación

Nivel de investigación experimental – comparativo.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Elaboración del probetas de concreto con cemento Portland tipo IP y probetas con cemento antisalitre HS.

3.3.2. Muestra

Las muestras utilizadas para este trabajo de investigación son las diferentes probetas elaboradas con cemento tipo IP y HS con ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días:

- T1 = Probetas con cemento Portland IP Rumi (control)
- T2 = Probetas con cemento HS Yura Antisalitre (control)
- T3 = Probetas con cemento Portland IP Rumi curado en solución con cloruros al 10%
- T4 = Probetas con cemento Portland IP Rumi curado en solución con Sulfato de Magnesio al 10%
- T5 = Probetas con cemento HS Yura Antisalitre curado en solución con cloruros al 10%
- T6 = Probetas con cemento HS Yura Antisalitre curado en solución con Sulfato de Magnesio al 10%.

Se elaboraron 4 probetas por punto de Evaluación sumando 12 probetas por tipo eso da un total de 72 unidades. Para hacer el ensayo de compresión se eligen 3 unidades por punto se descarta 1 unidad que este en malas condiciones.



Además se elaboraron muestras para determinar la velocidad de absorción en el concreto con diferentes relaciones agua/cemento:

A1 = Probetas con cemento Portland IP Rumi a/c =0.4	3 unid.
A2 = Probetas con cemento Portland IP Rumi a/c =0.5	3 unid.
A3 = Probetas con cemento Portland IP Rumi a/c =0.6	3 unid.
A4 = Probetas con cemento HS Yura Antisalitre a/c =0.4	3 unid.
A5 = Probetas con cemento HS Yura Antisalitre a/c =0.5	3 unid.
A6 = Probetas con cemento HS Yura Antisalitre a/c =0.6	3 unid.

Haciendo un total de 18 unidades que a su vez se cortaran en 4 cada probeta para realizar el ensayo.

3.4. VARIABLES DE ANÁLISIS

3.4.1. Variables Independiente (X)

- Tipo de cemento.
- Resistencia a diferentes números de días.
- Solución de curado.
- Relación A/C.

3.4.2. Variable Dependiente (Y)

- Resistencia del concreto fresco y endurecido.
- Velocidad de absorción Capilar.

3.4.3. Operacionalización de Variables

3.4.3.1. Dimensiones de Variable Independiente (X).

Las dimensiones identificadas para la variable Independiente:

X1 = Tipo de cemento ya sea IP o HS.

X2 = caracterización a 7 días.

X3 = caracterización a 14 días.



X4 = caracterización a 28 días.

X5 = curado en solución con cloruro de Sodio al 10%.

X6 = curado en solución con Sulfato de Magnesio al 10%.

X4 = diferente relación A/C y tipo de cemento.

3.4.3.2. Variable Dependiente (Y).

Las dimensiones identificadas para la variable dependiente:

Y1 = Eficiencia de la resistencia del concreto estructural a diferentes métodos de curado.

Y2 = Velocidad de Absorción Capilar de las muestras con diferentes relaciones agua/cemento.

Tabla 3.1: *Operacionalización de Variables*

Variable	Tipo de Variable	Naturaleza	Definición Conceptual	Indicador
Grado de Exposición del concreto a Ataques de Cloruros	Independiente	Cualitativa	La exposición del concreto a cloruros altera el desempeño del concreto.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de cloruro de sodio en el agua de curado • Número de días de exposición
Grado de Exposición del concreto a Ataques de Sulfatos	Independiente	Cualitativa	La exposición del concreto a sulfatos afecta el desempeño del concreto.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de sulfato sódico en el agua de curado • Número de días de exposición
Variación de la relación A/C del concreto	Independiente	Cualitativa	Las diferentes relaciones agua/cemento nos proporcionara concretos con diferente comportamiento físico y mecánico	Coefficiente del agua de mezcla sobre la cantidad de cemento
Tiempo de Curado	Independiente	Cuantitativa	El tiempo de curado determinara el futuro comportamiento del concreto a mayor tiempo de curado mayor resistencia.	Número de días de curado
Variación de la resistencia del concreto	Dependiente	Cuantitativa	A diferentes relaciones A/C y exposición a sulfatos y cloruros la resistencia del concreto presentara variaciones	Porcentaje de variación del f_c
Velocidad de absorción capilar del concreto	Dependiente	Cuantitativa	La cantidad de poros del concreto está en relación directa con la relación A/C	Coefficiente de absorción Capilar
Grado de información sobre el comportamiento del concreto frente a sulfatos y cloruros	Independiente	Cualitativa	El grado de información en los agentes involucrados en la construcción a través de encuestas	Descripción Cualitativa de los resultados obtenidos en porcentajes

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se obtuvieron datos a través de:

- Observación: Al registrar los diferentes valores obtenidos en laboratorio.
- Análisis de documentos: Se tuvo en cuenta revistas, publicaciones, artículos, tesis y libros, físicos y virtuales, también se revisó la normativa peruana relacionadas con la investigación.



3.5.1. Instrumentos de Recolección de Datos.

Se emplearon los siguientes formatos:

- “Formato para ensayo granulométrico de agregados”
- “Formato para ensayo de contenido de humedad de agregados”
- “Formato para ensayo de absorción de los agregados”
- “Formato para ensayo de peso unitario de los agregados”
- “Formato para ensayo de peso específico de agregados”
- “Formato para anotar la resistencia a la compresión simple de las probetas”

3.6. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.

Para el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera Isla se desarrollaron los siguientes ensayos con las normativas respectivas:

- Densidad Real y Peso específico ASTM C-127 y ASTM C-128
- Capacidad de Absorción ASTM C-70
- Contenido de Humedad NTP 339.185, ASTM C-566
- Densidad Aparente Suelta Y Compactada ASTM C-29
- Granulometría ASTM 422, ASTM C-136, ASTM C-33, ASTM C-125

3.6.1. Contenido de Humedad

3.6.1.1. Norma

NTP 339.185, ASTM C 566

3.6.1.2. Equipos y Materiales.

- Balanza, con aproximación al 0.5gr
- Horno 105 +/- 5°C
- Taras
- Bandeja

3.6.1.3. Descripción del Proceso

- Se cuartea el material para tomar una muestra representativa, se coloca la muestra en envases previamente tarados.
- Se registra el peso de la tara más el material “húmedo” y se lleva al horno por 24 horas a 105 +/- 5°C; pasado este tiempo, y luego del enfriado, se procede a pesar el material seco.
- Se toman tres muestras para sacar un promedio para que el ensayo sea más aproximado.

Los datos obtenidos de nuestros agregados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 3.2: *Contenido de Humedad, Agregado Fino Cantera Isla*

Descripción	Unidad	Numero de ensayos		
		B-1	B-3	B-4
Peso de la capsula	gr.	30.15	29.14	31.83
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	243.52	273.12	236.46
Peso capsula + muestra seca	gr.	240.59	269.78	233.72
Peso del agua	gr.	2.93	3.34	2.74
Peso de la muestra seca	gr.	210.44	240.64	201.63
Contenido de humedad parcial	%	1.39	1.39	1.36
Contenido de humedad promedio	%		1.379	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 3.3: *Contenido de Humedad, Agregado Grueso Cantera Isla*

Descripción	Unidad	Numero de ensayos		
		B-1	B-3	B-4
Peso de la capsula	gr.	32.36	51.30	29.17
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	481.28	518.88	462.28
Peso capsula + muestra seca	gr.	476.81	514.49	457.54
Peso del agua	gr.	4.47	4.39	4.74
Peso de la muestra seca	gr.	444.45	463.19	428.37
Contenido de humedad parcial	%	1	0.95	1.1
Contenido de humedad promedio	%		1.02	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.2. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

3.6.2.1. Norma

NTP 400.022, ASTM C 128

3.6.2.2. Equipo y Materiales

- Balanza, con aproximación al 0.5gr
- Picnómetro (fiola), con capacidad 500 ml.
- Molde cónico metálico (cono de absorción) de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura. Confeccionado por una plancha metálica de un espesor igual o superior a 0.8 mm.
- Apisonador de metal, la cual es una varilla metálica con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 gr.
- Bandejas
- Equipo que proporcione calor a una intensidad moderada



3.6.2.3. *Procedimiento*

- Se selecciona una muestra de 1 kg. aproximadamente, asegurándose que es el material pasante de la malla N° 4, a continuación, este material se sumerge en el agua por un periodo de 24 horas para lograr su saturación.
- Una vez saturado, se decanta cuidadosamente el agua y comienza el proceso de desecado, poniendo el material fino en un recipiente metálico y suministrándole calor a través de una cocinilla eléctrica graduable tratando, todo el tiempo, de que este proceso sea homogéneo y constante.
- A continuación, se toma el material y se rellena el tronco de cono cuidadosamente y se apisona sin mayor fuerza con 25 golpes sobre la superficie, se retira el cono y se verificará el primer desmoronamiento lo cual indica el estado saturado superficialmente seco del agregado, que es el objetivo de esta sección del ensayo.
- Se toma el material resultante del proceso anterior y se introduce una cantidad adecuada, en el picnómetro previamente tarado y se determina su peso; en seguida se llena de agua hasta un 90% aproximadamente de su capacidad y se retira el aire atrapado girando el picnómetro y sometiéndolo a baño maría.
- Finalmente, el picnómetro lleno hasta el total de su capacidad se pesa, se decanta nuevamente el agua y el agregado se retira a una tara para ser secado al horno por 24 horas y se determina también el peso seco de este material.

$$\text{Peso específico aparente} = A/(B+S-C)$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S)} = S/(B+S-C)$$

$$\text{Peso específico nominal} = A/(B+A-C)$$

$$\text{Absorción} = (S - A) * 100/A$$

Dónde:



A: Peso seco de la muestra.

B: Peso del frasco + agua.

C: Peso del frasco + agua + muestra.

S: Peso de la muestra con superficie seca.

Tabla 3.4: *Peso Específico y Absorción del Agregado Fino Cantera Isla*

N°	Descripción	Unidad.	Cantidad
S	Peso de la muestra superficialmente seca	gr.	500.00
B	Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	707.38
C	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	gr.	1011.71
A	Peso de la arena secada al horno	gr.	488.04
Resultados			
1	Peso específico aparente $(A/(B+S-C))$	gr/cm ³	2.49
2	Porcentaje de absorción $((S-A)/A)$	%	2.25

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.3. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

3.6.3.1. Norma

NTP 400.021, ASTM C 127

3.6.3.2. Equipo Utilizado

- Horno 105 +/- 5 °C
- Recipientes
- Balanza
- Canastilla
- Cubo con Agua para sumergir la canastilla.

3.6.3.3. Procedimiento

- De acuerdo al MTC E 206 se obtiene una muestra representativa de 3kg para un TMN de 1", la cual se satura por 24 horas, en seguida se retira el agregado cuidadosamente y se vierte sobre un paño absorbente.

- Seguidamente para obtener su estado saturado superficialmente seco mediante secado manual, se toma cierto porcentaje de la muestra S.S.S., aproximadamente 600gr, se pesa y se introduce este material a un recipiente que está sumergido en agua y que pende de una balanza de precisión adecuada, se determina su peso sumergido y a continuación este mismo material se seca en un horno por 24 horas y se determina, también, su peso seco.

Tabla 3.5: *Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso Cantera Isla*

N°	Descripción	Unidad.	Cantidad
A	Peso de la muestra secada al horno	gr.	1957.26
S	Peso de la muestra saturada superficialmente seca.	gr.	2000.08
	Peso de la canastilla Sumergida		
	Peso de la Canastilla Sumergida + Muestra SSS sumergida	gr.	157.61
		gr.	1352.12
Resultados			
1	Peso específico aparente (A/(S-C))	gr/cm ³	2.43
2	Porcentaje de absorción ((S-A)/A)	%	2.18

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.1: *Procedimiento para Determinar la Absorción en Agregado Fino*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



3.6.4. Peso Unitario.

3.6.4.1. Norma

NTP 400.017, ASTM C 29

3.6.4.2. Equipo y Materiales

- Balanza, con una precisión del 0.1% del peso, graduado como mínimo a 0.05kg
- Martillo de goma
- Pala, bandeja, brochas.
- Varilla metálica lisa con punta semiesférica, de 5/8" o 16mm de diámetro y una longitud de 24" o 600 mm.
- Recipiente de medida, cilíndrico de metal, hermético y de superficie inferior y superior nivelada con una altura aproximadamente igual a la del diámetro o mayor al 80% y menor al 150% de esta.

3.6.4.3. Procedimiento

- Se elige un molde de dimensiones adecuadas, de acuerdo al TMN del agregado, la norma indica, para el ensayo se utilizó un molde de 15 cm x 30 cm aproximadamente, por ser el más aproximado a las recomendaciones del ensayo. Se determina su peso y dimensiones de tal manera que se pueda lograr calcular su volumen.
- Para determinar el peso unitario compactado por apisonado del agregado se deberá colocar el material en tres capas de igual volumen, de tal manera que colmen el molde; cada capa recibe un total de 25 golpes con el apisonador sin que este choque a la base o altere capas inferiores de agregado, finalmente se enrasa el molde con el mismo apisonador y se pesa el molde más agregado.
- Para determinar el peso unitario suelto del agregado, el procedimiento es

similar, más en este caso no se utiliza el apisonador, solo se deja caer la muestra desde una altura no mayor a 2” desde el borde superior con una herramienta adecuada que puede ser una cuchara, se enraza y pesa como en el caso anterior.

Los valores obtenidos de dicho ensayo los tenemos en las siguientes tablas, primero los valores del agregado fino y luego del agregado grueso:

Tabla 3.6: *Peso Unitario Suelto del Agregado Fino*

Molde Nro.	I	II	III
Peso del Molde gr.	10025.00	10025	10025
Peso del Molde + Muestra gr.	18780.00	18685	18650
Peso de la Muestra gr.	8755.00	8660	8625
Volumen del Molde cm ³ .	5525.20	5525.20	5525.20
Peso Unitario gr/cm ³	1.58	1.57	1.56
Peso Unitario Kg/m ³		1570.98	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 3.7: *Peso Unitario Compactado del Agregado Fino*

Molde Nro.	I	II	III
Peso del Molde gr.	10025.00	10025	10025
Peso del Molde + Muestra gr.	19680.00	19705	19730
Peso de la Muestra gr.	9655.00	9680	9705
Volumen del Molde cm ³ .	5525.20	5525.20	5525.20
Peso Unitario gr/cm ³	1.75	1.75	1.76
Peso Unitario Kg/m ³		1751.97	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 3.8: *Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso*

Molde Nro.	I	II	III
Peso del Molde gr.	10025.00	10025	10025
Peso del Molde + Muestra gr.	19100.00	19055	19020
Peso de la Muestra gr.	9075.00	9030	8995
Volumen del Molde cm ³ .	5525.20	5525.20	5525.20
Peso Unitario gr/cm ³	1.64	1.63	1.63
Peso Unitario Kg/m ³		1634.93	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 3.9: *Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso*

Molde Nro.	I	II	III
Peso del Molde gr.	10025.00	10025	10025
Peso del Molde + Muestra gr.	19135.00	19200	19170
Peso de la Muestra gr.	9110.00	9175	9145
Volumen del Molde cm ³ .	5525.20	5525.20	5525.20
Peso Unitario gr/cm ³	1.65	1.66	1.66
Peso Unitario Kg/m ³		1654.84	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Estos valores se encuentran dentro de los rangos recomendables que son entre 1500 y 1900 kg/m³, teniendo una mayor capacidad de reacomodo de sus partículas.

3.6.5. Análisis Granulométrico

3.6.5.1. Norma

NTP 400.012, ASTM C 136

3.6.5.2. Equipo y Materiales

- Balanza. - Si se va a pesar agregados finos se debe utilizar una balanza con aproximación de 0.1gr, en el caso de agregado grueso, una balanza con aproximación al 0.5gr.
- Tamices. - La serie de tamices para agregados gruesos son: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", 1/2", 3/8", # 4 y para agregados finos son #4, # 8, # 16, #30, #50, #100, #200 base y tapa.

- Horno a $105 \pm 5^\circ\text{C}$

3.6.5.3. *Procedimiento*

- Se separa el material por la malla N°4, el retenido será agregado grueso y el fino será el que pase este tamiz.
- Una vez obtenido el material seco y libre de impurezas se vierte en el juego de tamices y se comienza el proceso con ligeros golpes y girando el conjunto hasta obtener peso constante en cada tamiz.
- Para el agregado grueso, por ser mayor la cantidad, el total de la muestra se pasará por cada tamiz. Cada cantidad retenida de agregado se pesa, incluyendo lo que queda en la base; además se deberá pesar el total del material antes de comenzar la operación y compararla con la suma de los retenidos en las mallas, que como se explicó, esta diferencia no deberá exceder el 0.3%.



Figura 3.2: *Selección de Tamices*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.3: *Pesaje del Agregado Grueso Secado al Horno*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.4: *Material Seleccionado por Tamices para su Pesado*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.5: *Pesaje de Material Seleccionado por Tamices*

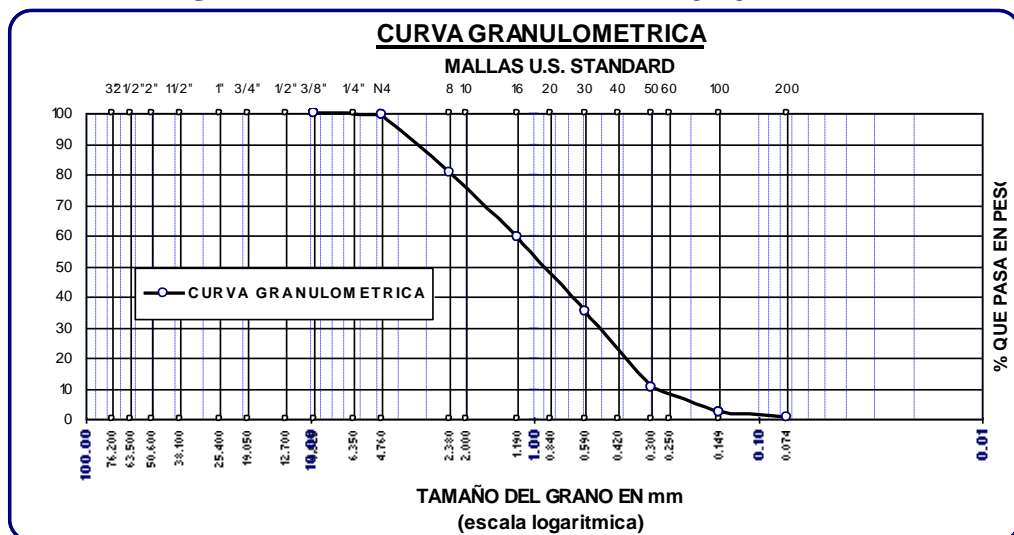
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 3.10: Análisis Granulométrico del Agregado Fino Cantera Isla

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especif.	
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/4"	6.350						
No4	4.760	2.02	0.34	0.34	99.66	95	100
No8	2.380	115.22	19.21	19.55	80.45	80	100
No10	2.000						
No16	1.190	126.28	21.05	40.60	59.40	50	85
No20	0.840						
No30	0.590	146.41	24.41	65.01	34.99	25	60
No40	0.420						
No 50	0.300	148.33	24.73	89.74	10.26	10	30
No60	0.250						
No80							
No100	0.149	49.75	8.29	98.03	1.97	2	10
No200	0.074	9.25	1.54	99.57	0.43	0	5
Base		2.55	0.43	100.00	0.00		
Total		599.81	100.00				
% Perdida		0.03					

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 3.6: Curva Granulométrica del Agregado Fino



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

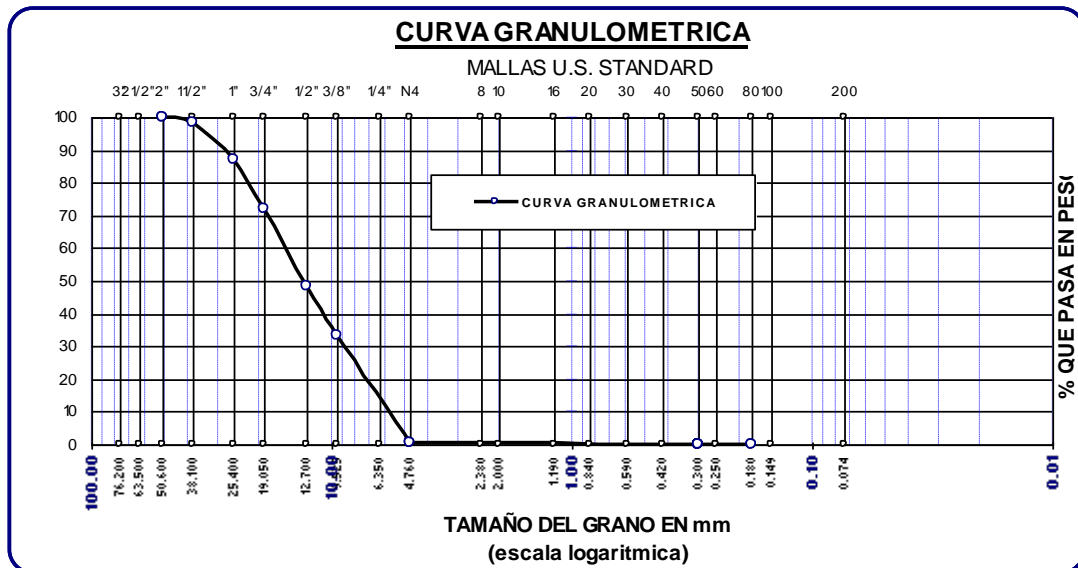
El módulo de finura que se obtuvo es: 3.1

Tabla 3.11: Análisis Granulométrico del agregado Grueso Cantera Isla

Tamices	Abertura	Peso	% Retenido	% Retenido	% Que	Especif.	
ASTM	mm	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						100
2 1/2"	63.500						
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1 1/2"	38.100	230.00	1.53	1.53	98.47	70	100
1"	25.400	1685.00	11.24	12.78	87.22	60	100
3/4"	19.050	2300.00	15.35	28.13	71.87		
1/2"	12.700	3550.00	23.69	51.82	48.18	50	90
3/8"	9.525	2210.00	14.75	66.56	33.44	40	80
1/4"	6.350						
No4	4.760	4915.00	32.80	99.36	0.64	30	70
No8	2.380			100.00	0.00		
No10	2.000						
No16	1.190			100.00			
No20	0.840						
No30	0.590			100.00			
No40	0.420						
No 50	0.300			100.00			
No60	0.250						
No80							
No100	0.149			100.00			
No200	0.074						
Base			96.00	0.64			
Total			14986.00	100.00	760.18		
% Perdida			0.093				

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 3.7: Curva Granulométrica del Agregado Grueso



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Módulo de Fineza (NTP 400.011) se obtuvo 7.6.

3.7. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS EN GENERAL (CEMENTO TIPO IP Y HS).

En el documento ACI 211.1 resume el procedimiento de diseño de mezclas de concreto, en 9 pasos que son:

- Elección del revenimiento
- Elección del tamaño máximo de agregado
- Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire
- Selección de la relación agua- cemento
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación del contenido de agregado grueso
- Estimación del contenido de agregado fino
- Ajuste por humedad del agregado
- Ajustes en las mezclas de prueba

Tabla 3.12: *Propiedades de los Materiales*

Materiales	P.e.	% Hum.	% Abs.	P.U.c	P.U.s
Agua	1.000	-----	-----	-----	-----
Cemento	2.750	-----	-----	-----	-----
Grava	2.429	1.020	2.180	1656	1571
Arena	2.490	1.379	2.500	1752	1635

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tipo de Concreto H - 21

$M_{far} = 3.1$

TMN = 3/4 "

Asent. = 8 [cm]

Resistencia Media Necesaria en Laboratorio

$f_{ck} = 210 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$

Como $f_{ck} < 211$; $f_{cm} = f_{ck} + 70$



$$f_{cm} = 280.0 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Volumen de Agua

$$TMN = \quad 3/4 \text{ " Asent.} = \quad 8 \text{ [cm]}$$

$$A = 185 \text{ [lt/m}^3 \text{ H}^\circ\text{]}$$

$$\text{Aire incorporado} = 1.5 \%$$

Relación Agua/Cemento

$$f_{cm} = 280.0 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$a/c = \quad \mathbf{0.498}$$

Cantidad de Cemento

$$C = \frac{A}{a/c} = 185/0.5$$

$$\mathbf{C = 371.6 [kg]}$$

Cantidad de Grava

$$M_{far} = 3.1 \quad TMN = \quad 3/4 \text{ "}$$

$$V_G = 0.650 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$P_G = 1076.40 \text{ [kg]}$$

Cantidad de Arena

$$V_{Ar} = 0.222 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$P_{Ar} = 552.108 \text{ [kg]}$$

Corrección por Humedad y Absorción

Debido al contenido de agua y a la absorción propia de los agregados se debe determinar una proporción de agua que es mayor o menor a la calculada.

$$P_{H_2O} = 203.675 \text{ [kg]}$$

Pesos Húmedos

$$P_{hAr} = 559.722 \text{ [kg]}$$

$$P_{hG} = 1087.379 \text{ [kg]}$$

Tabla 3.13: Propiedades de los Materiales Tabla Resumen

Material	Por Peso p/1 m ³ [H°]		Relación	Por Volumen p/1 m ³ [H°]	Para 50.0 [It]	Para una Bolsa de Cemento
	Seco	Húmedo				
Agua	185.00	203.68	0.55	0.204	10.2	23.0
Cemento	371.59	371.59	1	0.135	18.6	42.0
Grava	1076.40	1087.38	2.93	0.443	54.4	122.9
Arena	552.11	559.72	1.51	0.222	28.0	63.3

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.8. ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO FRESCO CON EL CONO DE ABRAMS.

Que consistió en el llenado del molde en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 70 mm, la segunda hasta 160 mm y la tercera hasta el borde superior del molde, con 25 penetraciones de varilla distribuidos en toda la superficie de cada capa. Obteniéndose revenimiento comprendido entre 3” y 4” respectivamente cumpliendo y constatando de esta forma el diseño de mezcla efectuado para esta investigación de esta forma cumpliendo la norma **ASTM C 143**.

“El método no es aplicable a los hormigones no plásticos que tiene un asentamiento menor a ½ pulg. (15mm) y no cohesivos con asentamiento mayor a 9 pulg. (230mm)” (Velasquí, 2012).

3.8.1. Procedimiento

- “Humedecer el molde y el piso o placa base, ejecutar sobre una superficie rígida no absorbente”
- “Apoyar firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Por ningún motivo debe moverse los pies durante el llenado del molde”

- “Llenar el molde en tres capas, de modo que cada capa ocupe la tercera parte del volumen del molde”
- “Compactar cada capa en toda su profundidad con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa”
- “Compactar la segunda y tercera capa penetrando la capa anterior 25 mm. (1 pulgada) y varillar desde cerca del perímetro y continuar progresivamente en forma espiral hacia el centro del molde”
- “Cuando compacte la última capa, mantener un excedente de concreto sobre el molde antes de comenzar el varillado, si el concreto es insuficiente detener el varillado y colocar una cantidad representativa para mantener un exceso de concreto sobre el molde todo el tiempo”.
- “Enrasar el concreto rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde”
- “Levantar el molde cuidadosamente en dirección vertical de un solo movimiento sin giros. En un tiempo de 5 a 10 segundos”.

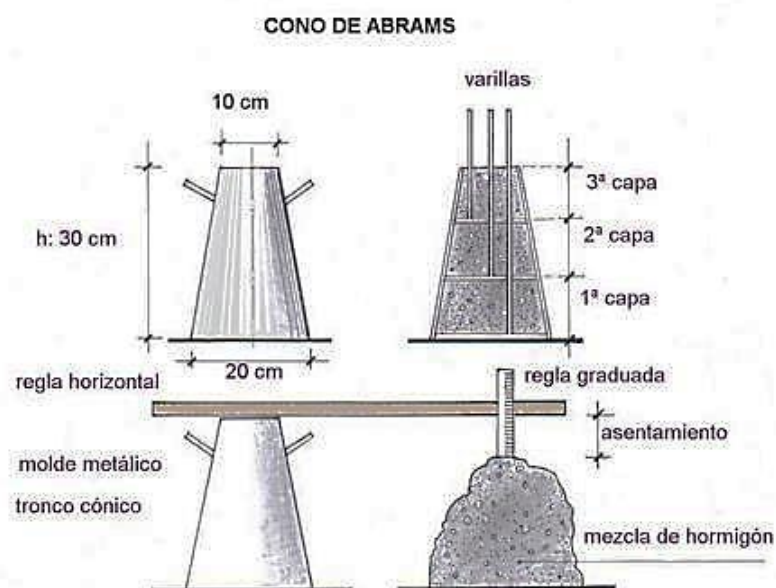


Figura 3.8: Ensayo del Cono de Abrams

Fuente: www.construmatica.com

Se hicieron 2 ensayos con una relación A/C de 0.5 correspondiendo a los 2 tipos de cemento como se puede observar en la Figura 3.12, el concreto elaborado con cemento HS presento un revenimiento de 10 cm (4 pulg) con una consistencia más plástica por lo tanto presentó mayor slump mientras que el concreto elaborado con cemento Tipo IP presentó una consistencia más seca con un revenimiento de 7.8 cm (poco más de 3”) por lo tanto presenta menor slump.

Suponiendo que el concreto a diseñar será usado en zonas con contacto directo con el suelo de fundación tendremos un concreto de consistencia plástica, trabajable y con compactación por medio de vibración ligera o chuseada, (según la tabla 3.14). Y según la ACI 211.1 tenemos un revenimiento recomendable en ambos casos, ya que el concreto elaborado con el cemento HS (antisalitre) presenta un comportamiento similar al uso de plastificantes.

Tabla 3.14: *División del Slump o Asentamiento.*

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0” a 2”	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3” a 4”	trabajable	Vibración ligera chuseada
Fluida	Mayor a 5”	Muy trabajable	chuseado

Fuente: Abanto C. (1999).

Tabla 3.15: *Revenimientos Recomendables para Varios Tipos de Construcción.*

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (pulgada)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Nota: * Se puede aumentar 25mm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado. Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores. Extraído del ACI 211.1



Figura 3.9: *Determinación del Slump del Concreto Fresco con Cemento Tipo I*

Nota: En la fotografía se muestra la consistencia del concreto elaborado con el Cemento Tipo I, se observó una consistencia algo compacta. Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 3.10: *Determinación del Slump del Concreto Fresco con Cemento Tipo HS*

Nota: En la fotografía se muestra la consistencia del concreto elaborado con el Cemento Tipo HS, se observó una consistencia algo Plástica. Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

La consistencia está vinculada a la relación agua/cemento, la importancia del agua resulta de gran magnitud, ya que ella y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual presenta grandes beneficios para la mano de obra; no obstante, también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre.



Figura 3.11: *Medición del Slump del Concreto Fresco*

Nota: En las Imágenes se muestra la medición del Slump, se observa la diferencia de consistencias a la derecha vemos el concreto elaborado con cemento HS, a la izquierda el elaborado con cemento Tipo I.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.9. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS

3.9.1. Determinación de la Cantidad de Probetas

Para esta finalidad, se consideró las especificaciones de la Norma NTP 339.033 (ASTM C31), práctica normalizada para la preparación y curado de las probetas para ensayos de concreto y las recomendaciones del Comité ACI 318-08 Requisitos de Reglamento para concreto estructural, que en su inciso 5.6.2.4 donde nos indica textualmente: Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos (02) probetas de 6”(150mm) x 12”(300mm) o de al menos tres (03) probetas de 4”(100mm) x 8”(200mm), preparadas de la misma muestra de concreto.

En la presente investigación se elaboraron 4 muestras por punto al ser las probetas de 4”(100mm) x 8”(200mm), se elaboró 1 unidad extra en caso de daños en el proceso de desencofrado y/o manipulación durante el curado. Previstos que se dieron al presentar las pozas de curado gran cantidad de testigos en proceso de curado, ya que debieron descartarse varias probetas al encontrarse en mal estado.



3.9.2. Elaboración del Concreto

3.9.2.1. Norma

NTP 339.036, ASTM C172M

3.9.2.2. Método

Realizar el procedimiento adecuado para la elaboración del concreto, para que este cumpla con las propiedades requeridas.

3.9.2.3. Equipo

- Mezcladora
- Carretilla
- Pala
- Balde
- Balanza de precisión a 1 gr para pesado de materiales.
- Herramientas varias badilejo, plancha, cucharón, etc.

3.9.2.4. Procedimiento

- Antes de la preparación del concreto, para poder realizar la corrección de humedades, es necesario sacar el contenido de humedad de los agregados.
- Previo al inicio del mezclado, debió de humedecerse la mezcladora.
- Iniciamos con la rotación de la mezcladora, añadimos agregado grueso, agregado fino, cemento y agua de diseño, se debe dejar mezclando por lo menos 1 minuto
- Una vez preparada la mezcla se procedió a colocar el concreto en una carretilla para luego proceder a realizar los ensayos: Toma de temperatura del concreto, Slump (asentamiento), elaboración de las probetas para someterlos a ensayo de resistencia a la compresión en las diferentes edades.

3.9.3. Método Estándar para la Elaboración de Probetas de Concreto

3.9.3.1. Norma

NTP.339.183, ASTM C-192

3.9.3.2. Método

Para obtener una muestra representativa, las probetas de concreto deben ser moldeadas y curadas siguiendo los procedimientos determinados.

3.9.3.3. Equipo

- Moldes cilíndricos, deben ser hechos de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. El diámetro puede variar de 10 a 10.5 cm y la altura entre 19.9 a 21.1cm.
- Barra compactadora, varilla metálica lisa con punta redondeada de diámetro igual a 9.5 mm (3/8") y longitud de 30 cm.
- Pala, cucharón, plancha metálica, desmoldante.
- Mazo de goma de 0.5 kg.



Figura 3.12: Limpieza y Preparación de Moldes Cilíndricos

Nota: Se tuvo que reducir el diámetro en 2 mm con ayuda de unas “camisetas” de pvc debido a la alteración que presentaban los moldes. Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.9.3.4. *Procedimiento de Ensayo*

- Colocamos los moldes en una superficie plana, rígida y horizontal.
- Los moldes deben estar limpios y la superficie interior deberá lubricarse con desmoldante.
- Colocamos el concreto en los moldes, se llena la primera capa con concreto aproximadamente la mitad parte del molde, se ha chuseado 25 veces en forma helicoidal, luego con el martillo de goma se ha golpeado 12 veces alrededor del molde, luego de esto se procedió a llenar la segunda capa realizando lo mismo que para la primera capa.
- Después de un momento se procedió al enrase de las probetas, que se hace con una regla y/o plancha metálica.



Figura 3.13: *Proceso de Mezcla de Concreto*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Durante la elaboración de los grupos de probetas observamos que a bajas relaciones A/C se tuvieron problemas de plasticidad con el concreto con cemento Tipo I en relaciones $a/c = 0.4$ mientras que con el cemento HS (Antisalitre) se tuvo menos problema por presentar un concreto más fluido lo que nos lleva al uso de plastificantes para fines prácticos de elaboración en obra y por tanto eleva el costo del concreto por m^3 .



Figura 3.14: *Elaboración de Probetas de Concreto*

Nota: Durante la elaboración de probetas se aisló del piso colocando polietileno como barrera protectora.
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.9.3.5. *Curado de los Especímenes*

Esta parte es una de la más importantes en el desarrollo de la investigación en el proceso de Curado simulamos el Ataque de suelos con altos contenidos de Sales o Cloruros con Cloruro de Sodio (NaCl) así como el Ataque de Sulfatos en este caso Optamos por usar Sulfato de Magnesio (MgSO_4).

Luego de 24 horas de la elaboración de probetas, se procedió al desencofrado de estos, se codificaron y se procedió al curado por inmersión en cubos de la siguiente forma, se hicieron 3 tandas de 24 probetas por día:

- 12 probetas elaboradas con cemento Tipo IP
- 12 probetas elaboradas con cemento HS

De las cuales:

- 8 probetas se sumergieron en una solución de agua con Cloruro de Sodio (NaCl) al 10%, de las cuales 4 eran con cemento Tipo IP y las otras 4 con cemento HS.
- 8 probetas se sumergieron en una solución de agua con Sulfato de Magnesio (MgSO_4) al 10%, de las cuales 4 eran con cemento Tipo IP y las otras 4 con

cemento HS.

- 8 probetas se sumergieron en agua potable las cuales cumplieron labor de ser Muestras de Control, de las cuales 4 eran con cemento Tipo IP y las otras 4 con cemento HS.



Figura 3.15: *Pesaje de Insumos para Elaborar la Solución de Curado*

Nota: Se muestra la dosificación de insumos para hacer la solución de curado, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.16: *Mezcla del Sulfato de Magnesio y Cloruro de Sodio con el Agua de Curado*

Nota: Se muestra la elaboración de la solución de curado, diluyendo el sulfato de Magnesio al 10% y también se elaboró la otra solución diluyendo Cloruro de Sodio al 10% en el agua de curado, Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.17: *La Exposición de las Probetas de Concreto a la Solución de Curado*
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

3.10.1. Norma

NTP 339.034, ASTM C-39

3.10.2. Método

Este ensayo consiste en la aplicación de carga axial en la parte superior de la probeta, de forma constante hasta alcanzar la rotura del espécimen de prueba, siendo la resistencia a la compresión el cociente resultante de la máxima carga aplicada entre el área promedio de la probeta antes de que ocurra la rotura de la misma.

Se emplea la resistencia a compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran incrementándose esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la 130 carga máxima para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura). (Abanto, 1997)



3.10.3. Equipo Utilizado

- Máquina de compresión, la cual aplica la carga continua, no intermitente y sin impacto.
- Almohadillas de neopreno
- Cabezal y Base metálicos de rotura
- Vernier para realizar mediciones de diámetro

3.10.4. Procedimiento de Ensayo

- Retirar los especímenes a ser ensayados de los recipientes de curado
- Ponerles código a las probetas de ensayos
- Tomar medidas de diámetro, se deben medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí, estas deben de promediarse para posteriormente calcular el área de la sección.
- El cilindro que ya tiene colocado las almohadillas de neopreno se debe centrar en la máquina de ensayo de compresión.
- Se procede a cargar hasta completar la rotura, el régimen de carga con máquina hidráulica se debe mantener en un rango de 0.15 a 0.35 MPa/seg

3.10.5. Cálculo

La resistencia a la compresión de la probeta cilíndrica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f'c \text{ (kg/cm}^2\text{)} = P/A$$

$$A = (\pi * \phi^2)/4$$

- $f'c$: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto. (Kg/cm²).
- **P**: Máxima carga Aplicada (kg).
- ϕ : Diámetro de la probeta cilíndrica (cm).
- **A**: Área promedio de la probeta (cm²).

3.10.6. Tipos de Fractura

Según la norma ASTM C39, los tipos de fractura que pueden presentarse son:

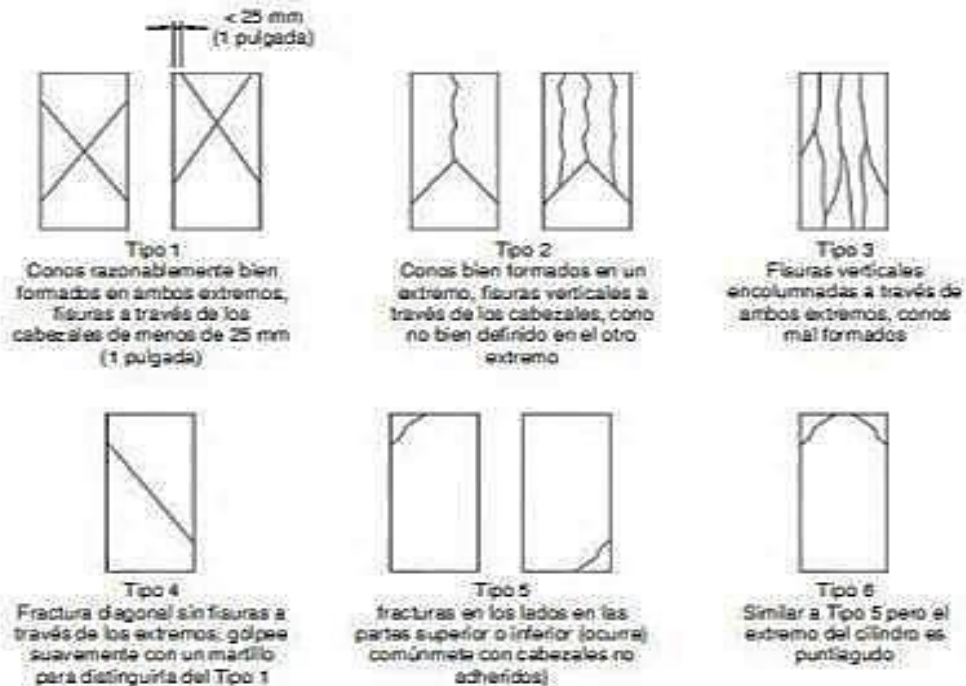


Figura 3.18: *Tipos de Fracturas de Probetas Sometidas a Compresión Simple*

Nota: Se observan los tipos de fallas de las probetas sometidas a esfuerzos de compresión simple, Fuente: ASTM C39.



Figura 3.19: *Probetas Listas para Ser Sometidas al Ensayo de Compresión Simple*

Nota: Nótese el color de los testigos luego del periodo de curado, los que presentan una superficie blanquecina son los sumergidos en solución con sulfatos, que comenzó su proceso de atacar fuertemente al Concreto creando un polvo producto de la descomposición del concreto, las otra de color más gris fueron las sometidas en solución de Cloruros, estas presentaron cristalizaciones superficiales y la aparición de poros, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.20: *Rotura de Probetas*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.21: *Probetas Curadas en Solución con Sulfato de Magnesio Sometidas a Compresión Simple*

Nota: En las probetas ensayadas nótese la Fractura tipo VI, nótese que presentan las superficies blanqueadas producto de la degradación inicial del concreto. Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



3.11. VELOCIDAD POR ABSORCIÓN CAPILAR

3.11.1. Introducción

Muchos de los fenómenos de alteración que afectan al concreto y materiales rocosos utilizados en la construcción de edificios y monumentos históricos, tanto en sillares como en losetas de revestimiento, están asociados a la circulación del agua por capilaridad. Dicho proceso es ampliamente conocido desde antiguo. Diferentes técnicas han sido aplicadas para estudiar la humedad en el interior del concreto y su implicación en los procesos de meteorización.

Los estudios de esta propiedad están normalizados según la norma europea UNE-EN 1925:1999 para piedra natural. El coeficiente de absorción por capilaridad “C” se determina a partir de la variación del peso de la muestra a lo largo del tiempo.

Otros autores determinan, además, un coeficiente de penetración capilar “A” definido como la altura a la que asciende el agua por unidad de tiempo.

3.11.2. Ensayo Normalizado de Capilaridad

El ensayo de capilaridad según la norma UNE-EN 1925:1999 es muy sencillo. La muestra, un cubo o cilindro de 70 ó 50 mm de altura, se coloca dentro de un recipiente sobre unos pequeños apoyos que permiten que la cara inferior de la muestra esté en contacto con el agua. Se añade agua hasta que alcance los 3 mm inferiores de la muestra. A intervalos periódicos, se pesa la muestra y se determina el incremento de peso que va experimentando a lo largo del ensayo por efecto de la absorción capilar. Con estos datos se construye una gráfica que muestra el incremento de peso por unidad de superficie de la base con respecto al tiempo (expresado en función de la raíz cuadrada del tiempo). La pendiente de la parte recta de la gráfica corresponde al coeficiente de capilaridad (C) en $\text{g/m}^2 \text{ s}^{0,5}$.

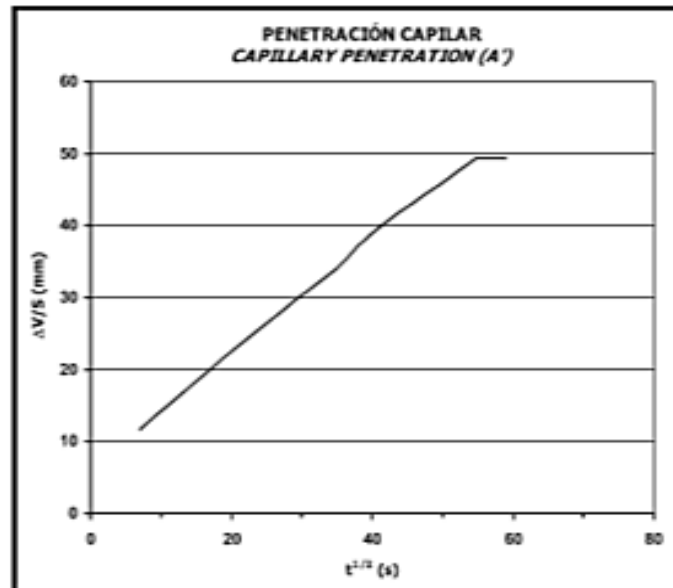


Figura 3.22: Variación del Volumen por Absorción Capilar

Nota: Se aprecia el volumen afectado por el Agua de Capilaridad Dividido por la Superficie de la Base ($\square V/S$), en Función de la Raíz Cuadrada del Tiempo (t). Fuente: V. G. Ruiz de Argandoña (ensayos de capilaridad en areniscas)

Aunque no está normalizado, otros autores determinan también otro coeficiente, el de penetración capilar (A). Para ello se mide la altura alcanzada por el agua absorbida por capilaridad a intervalos periódicos de tiempo en función de la raíz cuadrada del tiempo. El coeficiente de penetración capilar corresponde a la parte recta de la gráfica construida con los datos medidos.

3.11.3. Determinación de la Velocidad de Absorción de los Concretos de Cemento Hidráulico.

3.11.3.1. Norma

ASTM C125, ASTM C1585-13

3.11.3.2. Método

Este método es usado para determinar la tasa de absorción capilar del concreto por medio de la medición del incremento de masa del espécimen cuando la superficie del concreto es expuesta al agua.

La absorción de agua se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$l = m_t / A_d$$



Dónde:

l : absorción [mm]

m : cambio de masa del espécimen en gr, para un tiempo t

A : área de la sección del espécimen [mm]

d : densidad del agua (gr/mm³)

La tasa de absorción o sortividad es la pendiente que mejor se ajusta a la absorción l (mm) versus t . La sortividad inicial es desde el primer minuto hasta las 6 horas descartando los que estén fuera de la pendiente. La sortividad secundaria mide la pendiente desde la primera hora hasta las 7 horas.

Esta diferenciación se debe a que el ritmo de absorción antes de las 6 horas es radicalmente diferente al ritmo de absorción a las 24 horas.

3.11.3.3. *Equipo Utilizado*

- Una bandeja a prueba de agua, de polietileno o de otro material resistente a la corrosión y de tamaño lo suficientemente grande para acomodar los especímenes de ensayo con las superficies a ser ensayadas, expuestas al agua.
- Dispositivos de soporte, rodos, pines u otros dispositivos hechos de materiales resistentes a la corrosión por agua o soluciones alcalinas, y que dejen libre el acceso del agua a la superficie expuesta del espécimen durante su ensayo.
- Una báscula de plato superior, de conformidad con la especificación NTG 41043 (ASTM C1005) y de suficiente capacidad para pesar los especímenes de ensayo y con una exactitud de por lo menos $\pm 0.01g$.
- Dispositivo medidor de tiempo. Un cronómetro u otro dispositivo adecuado para medir el tiempo con una exactitud de $\pm 1s$.
- Toallas de papel o de tela absorbente, para limpiar el exceso de agua de las superficies del espécimen.

- Sierra enfriada por agua, con discos de diamante impregnado, para el corte de especímenes de muestras de mayor tamaño.
- Calibrador, para la medición de las dimensiones con una aproximación de 0.1mm.

3.11.3.4. *Espécimen de Ensayo*

El espécimen estándar es un disco de un diámetro de 100 ± 6 mm y una longitud de 50 ± 3 mm. Los especímenes pueden ser obtenidos de cilindros moldeados elaborados de acuerdo con las Prácticas NTG 41061 (ASTM C31/C31M) o NTG 41060 (ASTM C192/C192M) o de núcleos perforados obtenidos de acuerdo con el Método de ensayo NTG 41049 (ASTM C42/C42M).

La superficie a ser expuesta al agua durante el ensayo no debe ser marcada o de otra forma alterada de tal forma que pueda modificar la velocidad de absorción del espécimen.

3.11.3.5. *Procedimiento de Ensayo*

Se sella la superficie lateral de cada espécimen con un material de sellado adecuado. Se hace lo mismo con el extremo del espécimen que no estar expuesto al agua, usando una película de plástico unida ligeramente.

Se coloca el dispositivo de soporte sobre el fondo de la bandeja y se llena la misma con agua hasta que el nivel de agua quede de 1mm a 3mm arriba del tope del dispositivo de soporte. Se coloca el espécimen sobre el dispositivo de soporte.

A continuación se muestra el diagrama esquemático del ensayo del espécimen.

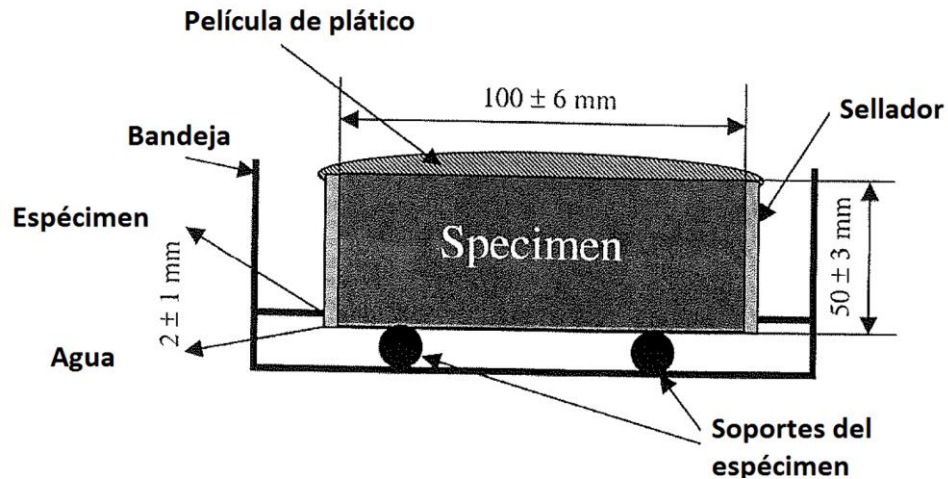


Figura 3.23: *Esquema del Ensayo*

Nota: En la figura se muestra el diagrama del ensayo, en nuestro caso los especímenes fueron tallados a partir de probetas cilíndricas estándar de 4" x 8" Fuente: ASTM C1005

Se registra la masa a los intervalos: el primer punto debe ser a 60 segundos y el segundo punto a 5 min. Las mediciones subsiguientes deben ser a 10 min, 20 min, 30 min y 60 min. Luego se continúan las mediciones cada hora hasta las 6 horas, registrando el tiempo con una aproximación de ± 1 min. Después de las 6h iniciales, se toman mediciones cada día hasta 3 días, seguidos de 3 mediciones, separadas por 24 horas, durante los días 4 a 7; se toma luego una medición final que esté por lo menos 24h después de la medición a 7 días. El tiempo actual de las mediciones debe hacerse con una aproximación de ± 1 min. Esto dará como resultado el contar con siete puntos de contacto registrados entre los días 2 y 8.

Para cada determinación de masa, se debe remover espécimen de la bandeja, se detiene el cronómetro o medidor de tiempo si el tiempo de contacto es menor de 10 min se quita cualquier agua superficial con la toalla de papel o trapo húmedo. Después de remoción del exceso de agua superficial, se invierte el espécimen para que la superficie húmeda del mismo no haga contacto con el plato de la balanza (para evitar tener que secar el plato de la balanza). Después de 15s de haber removido el espécimen de la bandeja, se mide su masa con una aproximación de 0.01g. Inmediatamente después se coloca el



espécimen sobre su soporte en la bandeja y se arranca de nuevo el cronómetro o medidor de tiempo.

3.11.3.6. Cálculos

La absorción es el cambio de masa dividido por el producto del área transversal del espécimen por la densidad del agua. Para el propósito de este ensayo, se hace caso omiso de la dependencia de la densidad del agua de la temperatura y se usa una densidad del agua de 0.001g/mm^3 . Las unidades de I son mm.

La velocidad inicial de absorción de agua ($\text{mm/s}^{1/2}$) se define como la pendiente de la línea que es el mejor ajuste en la gráfica contra la raíz cuadrada del tiempo en segundos ($\text{s}^{1/2}$). Se obtiene ésta pendiente usando el método análisis de regresión por mínimos cuadrados del ploteo de I contra la raíz cuadrada del tiempo en segundos. Para el análisis de regresión se deben usar todos los puntos desde 1 min hasta 6h, excluyendo los puntos para aquellos tiempos que después de ploteados indiquen un cambio de pendiente definido. Si los datos entre 1 min y 6h no siguen una relación lineal (tienen un coeficiente de correlación menor de 0.98) y muestran una curvatura sistemática, la velocidad inicial de absorción de agua no puede ser determinada.

La velocidad secundaria de absorción de agua ($\text{mm/s}^{1/2}$) se define como la pendiente de la línea que es el mejor ajuste en la gráfica de I ploteada contra la raíz cuadrada del tiempo en segundos ($\text{s}^{1/2}$), usando todos los puntos desde 1 día hasta 7 días. Se usa la regresión lineal por mínimos cuadrados para determinar la pendiente. Si los datos entre 1 día y el de 7 días no siguen una relación lineal (tienen un coeficiente de correlación menor de 0.98) y muestran una curvatura sistemática, la velocidad secundaria de absorción de agua no puede ser determinada.

Este método no tiene sesgo, ya que la velocidad de absorción de agua determinada por el mismo, solo puede ser definida en términos de éste método de ensayo.



Figura 3.24: *Especímenes Luego de ser Habilitadas para el Ensayo*

Nota: Se pueden ver los especímenes tallados a partir de probetas se cortaron discos de una altura de 50 mm, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.25: *Sellado de Superficies Laterales de Especímenes.*

Nota: Se usó un impermeabilizante (Sika Fill Techo Gris) para usarlo como sellador, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Figura 3.26: *Codificación de Especímenes*



Figura 3.27: *Inmersión de Muestras*

Nota: Se muestra la inmersión de muestras a una profundidad de $2 (+/- 1)$ mm, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. GENERALIDADES

Los resultados obtenidos son de procedimientos como:

- Ensayos de compresión simple
- Ensayo de absorción capilar
- Encuesta realizada a estudiantes de ingeniería Civil sobre los conocimientos acerca del tema de tesis.

4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO A LOS 7,14 Y 28 DÍAS

Luego de someter las muestras a un curado en soluciones de cloruro de sodio y Sulfato de magnesio se procedió a someter a ensayos de compresión simple las muestras curadas en solución y las de control en intervalos de 7,14 y 28 días.



Figura 4.1: *Ensayo de Compresión Simple*

Las resistencias a la compresión (Norma ACI 211.1.74 – 211.181) obtenidas se presentan en las Tablas siguientes:

Tabla 4.1: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras a los 7 días.

Código Muestra	Tipo de cemento	Diámetro (cm)*	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistencia a la compresión individual (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	% de la resistencia de diseño	TIPO DE CURADO
79	I	10.14 10.26	10.20	81.71	11610	142.1	143.40	68.28	CONTROL CURADO EN AGUA POTABLE
78	I	10.27 10.12	10.20	81.63	11720	143.6			
77	I	10.32 10.26	10.29	83.16	12020	144.5			
80	HS	10.11 10.25	10.18	81.39	12150	149.3	145.88	69.47	CONTROL CURADO EN AGUA POTABLE
81	HS	10.48 10.25	10.37	84.38	12040	142.7			
82	HS	10.46 10.26	10.36	84.30	12280	145.7			
71	I	10.25 10.48	10.37	84.38	12290	145.7	146.15	69.60	CURADO EN CLORUROS
72	I	10.21 10.50	10.36	84.22	12450	147.8			
73	I	10.14 10.52	10.33	83.81	12150	145.0			
54	HS	10.36 10.25	10.31	83.40	11760	141.0	145.81	69.43	CURADO EN CLORUROS
55	HS	10.48 10.24	10.36	84.30	12010	142.5			
56	HS	10.34 10.27	10.31	83.40	12840	153.9			
48	I	10.51 10.21	10.36	84.30	12340	146.4	144.20	68.67	CURADO EN SULFATOS
49	I	10.51 10.11	10.31	83.48	11930	142.9			
50	I	10.48 10.30	10.39	84.79	12150	143.3			
65	HS	10.48 10.35	10.42	85.19	11920	139.9	145.29	69.19	CURADO EN SULFATOS
66	HS	10.49 10.24	10.37	84.38	12160	144.1			
67	HS	10.23 10.49	10.36	84.30	12800	151.8			

Nota: * La diferencia notoria en los diámetros de las probetas es debido a la reducción que se hizo de los moldes para encajar los testigos en los cabezales del equipo de Compresión Simple. Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4.2: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras a los 14 días.

Código Muestra	Tipo de cemento	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistencia a la compresión individual (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	% de la resistencia de diseño	TIPO DE CURADO
74	I	10.15 10.14	10.15	80.83	14900	184.3	180.96	86.17	CONTROL CURADO EN AGUA POTABLE
75	I	10.40 10.16	10.28	83.00	14450	174.1			
76	I	10.36 10.24	10.30	83.32	15370	184.5			
57	HS	10.38 10.49	10.44	85.52	17080	199.7	205.62	97.92	CONTROL CURADO EN AGUA POTABLE
58	HS	10.24 10.28	10.26	82.68	17570	212.5			
59	HS	10.46 10.26	10.36	84.30	17250	204.6			
68	I	10.13 10.22	10.18	81.31	14290	175.7	173.98	82.85	CURADO EN CLORUROS
69	I	10.34 10.04	10.19	81.55	13950	171.1			
70	I	10.38 10.19	10.29	83.08	14550	175.1			
51	HS	10.51 10.16	10.34	83.89	14460	172.4	180.02	85.72	CURADO EN CLORUROS
52	HS	10.34 10.19	10.27	82.76	15110	182.6			
53	HS	10.22 10.21	10.22	81.95	15170	185.1			
62	I	10.36 10.21	10.29	83.08	15200	183.0	176.54	84.06	CURADO EN SULFATOS
63	I	10.43 10.18	10.31	83.40	13700	164.3			
64	I	10.32 10.18	10.25	82.52	15050	182.4			
45	HS	10.36 10.23	10.30	83.24	14850	178.4	181.69	86.52	CURADO EN SULFATOS
46	HS	10.36 10.30	10.33	83.81	15250	182.0			
47	HS	10.19 10.14	10.17	81.15	14990	184.7			

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4.3: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras a los 28 días.

Código Muestra	Tipo de cemento	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistencia a la compresión individual (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	% de la resistencia de diseño	TIPO DE CURADO
15	I	10.35 10.36	10.36	84.22	18120	215.2	208.82	99.44	CONTROL CURADO EN AGUA POTABLE
16	I	10.40 10.30	10.35	84.13	17550	208.6			
17	I	10.42 10.26	10.34	83.97	17020	202.7			
11	HS	10.31 10.20	10.26	82.60	17830	215.9	215.54		
12	HS	10.49 10.09	10.29	83.16	17750	213.4			
13	HS	10.18 10.17	10.18	81.31	17670	217.3			
19	I	10.12 10.20	10.16	81.07	16840	207.7	203.02		
20	I	10.06 10.32	10.19	81.55	17460	214.1			
21	I	10.51 10.22	10.37	84.38	15800	187.3			
1	HS	10.21 10.20	10.21	81.79	18190	222.4	208.47		
2	HS	10.16 10.50	10.33	83.81	17460	208.3			
3	HS	10.12 10.21	10.17	81.15	15800	194.7			
22	I	10.30 10.37	10.34	83.89	17410	207.5	185.52		
23	I	10.00 10.31	10.16	80.99	14190	175.2			
24	I	10.48 10.11	10.30	83.24	14470	173.8			
8	HS	10.35 10.23	10.29	83.16	16680	200.6	198.69		
9	HS	10.17 10.26	10.22	81.95	15700	191.6			
10	HS	10.38 10.43	10.41	85.03	17340	203.9			

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.1. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo IP Rumi, con Exposición a Sulfatos y Cloruros

Tabla 4.4: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo IP Rumi

Tipo de Curado	Tiempo de Curado			% Resistencia de Diseño
	7 días	14 días	28 días	
Control (agua potable)	143.4	180.96	208.82	99.44
Curado en Cloruro de Sodio	146.15	173.98	203.02	96.68
Curado en Sulfato de Magnesio	144.2	176.54	185.52	88.34

Nota: Se incluyeron los 3 grupos de curado a los 7, 14 y 28 días, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

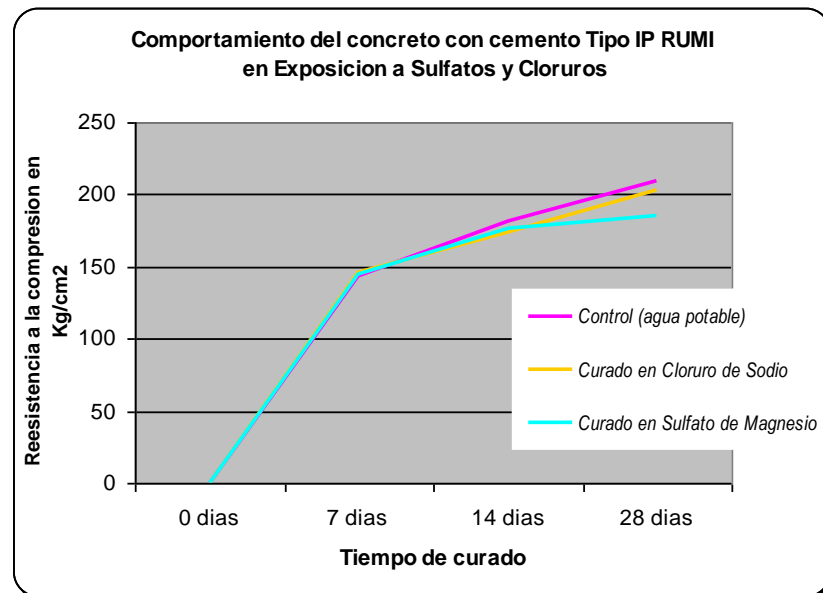


Figura 4.2: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo IP Rumi, con Exposición a Sulfatos y Cloruros

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Análisis de Resultados

De los resultados de ensayos de resistencia a la compresión simple de muestras de los 3 grupos de curado a los 7, 14 y 28 días, podemos observar que el efecto de los sulfatos (88.3%) es más dañino que los cloruros (96.7%), a los 7 días los valores son muy cercanos pero a medida que pasa el tiempo, los testigos son sometidos a curado en solución con Sulfato de Magnesio y Cloruro de Sodio presentan menores valores de resistencia.

4.2.2. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura, con Exposición a Sulfatos y Cloruros

Tabla 4.5: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo HS Yura

Tipo de Curado	Tiempo de Curado			% Resistencia de Diseño
	7 días	14 días	28 días	
Control (agua potable)	145.88	205.62	215.54	102.64
Curado en Cloruro de Sodio	145.81	180.02	208.47	99.27
Curado en Sulfato de Magnesio	145.29	181.69	198.69	94.61

Nota: Se incluyeron los 3 grupos de curado a los 7, 14 y 28 días, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

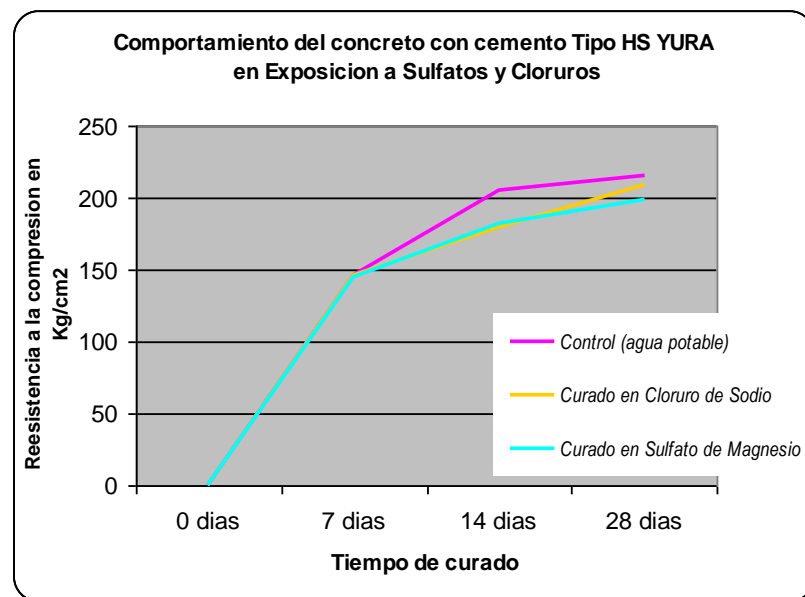


Figura 4.3: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura, con Exposición a Sulfatos y Cloruros

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Análisis de Resultados

De los resultados de ensayos de resistencia a la compresión simple de muestras de los 3 grupos de curado a los 7, 14 y 28 días, podemos observar que el efecto de los cloruros (99.3%) es más dañino que los sulfatos (94.6%) en este tipo de cemento, a los 7 días los valores son muy cercanos pero a medida que los testigos son sometidos a curado en solución con Sulfato de Magnesio y Cloruro de Sodio

4.2.3. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos de Control.

Tabla 4.6: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras de los 2 Grupos de Curado a los 7, 14 y 28 días

Tipo de Cemento	Tiempo de Curado			% Resistencia de Diseño
	7 días	14 días	28 días	
Cemento Tipo I Rumi	143.4	180.96	208.82	99.44
Cemento HS Antisalitre Yura	145.88	205.62	215.54	102.64

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

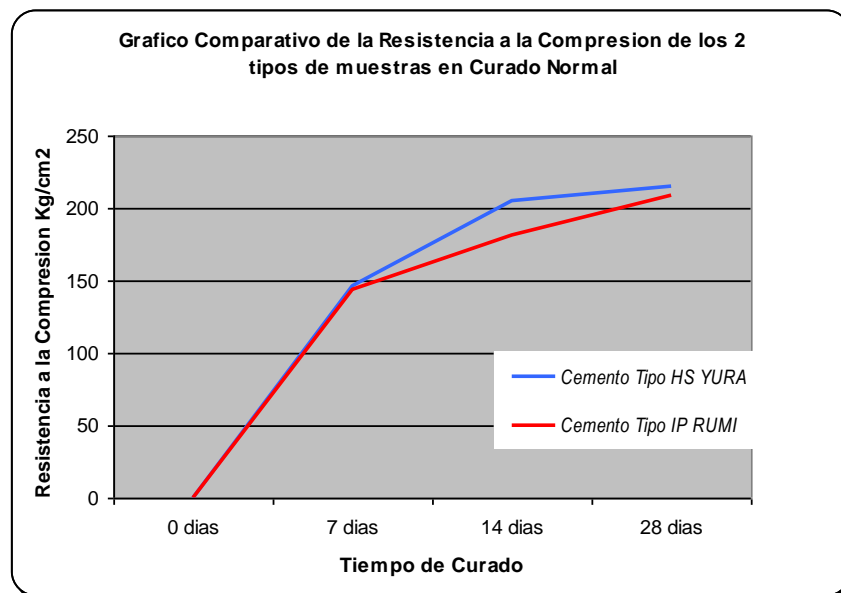


Figura 4.4: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos de Control.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Análisis de Resultados

De los resultados de resistencia a la compresión simple de muestras curadas en agua potable a los 7,14 y 28 días, podemos observar que el concreto elaborado con cemento tipo HS (215.54 kg/cm^2) supera en resistencia al concreto elaborado con cemento tipo I (208.82 kg/cm^2)

4.2.4. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos Sometidos a Cloruros.

Tabla 4.7: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras de los 2 Grupos de Curado a los 7, 14 y 28 Días Curado en Cloruros.

Tipo de Cemento	Tiempo de Curado			% Resistencia de Diseño
	7 días	14 días	28 días	
Cemento Tipo I Rumi	146.15	173.98	203.02	96.68
Cemento HS Antisalitre Yura	145.81	180.02	208.47	99.27

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

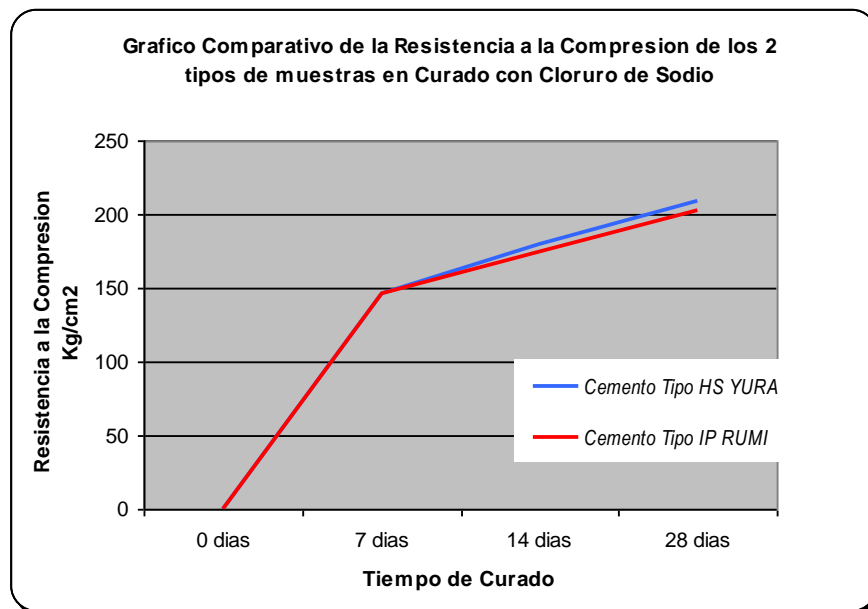


Figura 4.5: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Curado en Cloruros.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Análisis de Resultados

De los resultados de ensayos de resistencia a la compresión simple de muestras de los 2 grupos de curado a los 7, 14 y 28 días, podemos observar que el concreto elaborado con cemento tipo HS (99.27%) apenas supera en resistencia al concreto elaborado con cemento tipo IP (96.68%) con una diferencia de 2.6% respecto a la resistencia de diseño (210kg/cm²).

4.2.5. Resultados para Muestras de Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Grupos de Sometidos a Sulfatos.

Tabla 4.8: Resistencia a la Compresión Simple de Muestras de los 2 Grupos de Curado a los 7, 14 y 28 días Curado en Sulfatos.

Tipo de Cemento	Tiempo de Curado			% Resistencia de Diseño
	7 días	14 días	28 días	
Cemento Tipo I Rumi	144.2	176.54	185.52	88.34
Cemento HS Antisalitre Yura	145.29	181.69	198.69	94.61

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

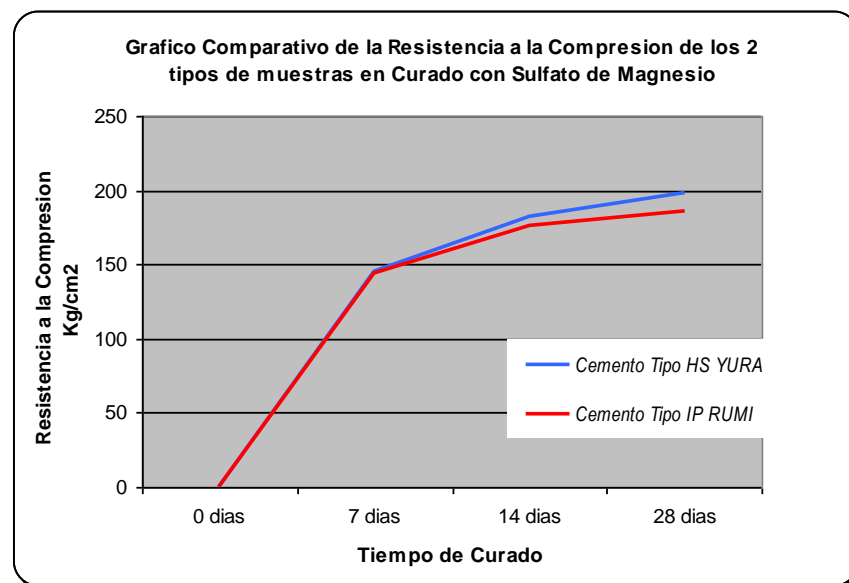


Figura 4.6: Comportamiento del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi Curado en Cloruros.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Análisis de Resultados

De los resultados de resistencia a la compresión simple de muestras de los 2 grupos de curado a los 7,14 y 28 días, podemos observar que el concreto con cemento tipo HS (94.61%) supera notoriamente en resistencia al concreto elaborado con cemento tipo IP (88.34%) en 6.27% respecto a la resistencia de diseño (210kg/cm^2) pero igualmente es afectado por el proceso de degradado del sulfato de Magnesio, que resulta ser muy dañino.

4.3. VELOCIDAD DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD DE CONCRETO CON DIFERENTES TIPOS DE RELACIÓN A/C.

Tabla 4.9: Incremento en Peso (gr) de Muestras Sometidas al Ensayo de Capilaridad.

Nro. muestra	Relación A/C	Tipo de Cemento	Tiempo de Exposición en Segundos													
			60	300	600	1200	1800	3600	4800	7200	10800	14400	18000	21600	86400	3E+05
			7.75	17.32	24.49	34.64	42.43	60.00	69.28	84.85	103.92	120.00	134.16	146.97	293.94	587.88
1	0.4	Hs Yura	2.01	2.67	3.24	3.41	4.16	4.34	4.75	4.87	5.37	5.86	6.25	6.52	9.57	11.36
2	0.4	Hs Yura	2.44	2.87	3.42	3.74	4.39	4.68	5.18	5.53	6.02	6.51	6.89	7.25	12.17	12.17
3	0.4	Hs Yura	2.75	3.70	4.34	4.56	5.56	5.30	5.77	6.14	6.67	7.21	7.67	8.12	11.73	13.79
4	0.4	Hs Yura	2.67	3.56	4.00	4.31	4.83	5.02	5.32	5.50	5.91	6.33	6.65	6.94	9.62	10.68
PROM.	0.4	Hs Yura	2.47	3.20	3.75	4.01	4.73	4.83	5.25	5.51	5.99	6.48	6.86	7.21	10.77	12.00
Velocidad Capilar	Hs Yura	0.30	0.39	0.46	0.49	0.58	0.59	0.64	0.67	0.73	0.79	0.84	0.88	1.32	1.47	
5	0.5	Hs Yura	2.12	2.75	3.44	3.72	4.25	4.53	4.48	5.20	5.74	6.28	6.66	7.05	11.28	13.86
6	0.5	Hs Yura	3.40	4.45	5.24	5.95	6.53	6.97	7.61	8.35	9.34	10.32	11.08	11.56	15.18	18.25
7	0.5	Hs Yura	3.50	4.42	5.14	5.60	6.45	6.95	7.40	8.18	9.30	10.43	11.30	11.99	15.05	17.26
8	0.5	Hs Yura	3.61	4.78	5.70	5.99	6.87	7.37	7.76	8.91	9.89	10.88	11.78	12.54	15.86	17.88
PROM.	0.5	Hs Yura	3.16	4.10	4.88	5.32	6.02	6.45	6.81	7.66	8.57	9.48	10.21	10.79	14.34	16.81
Velocidad Capilar	Hs Yura	0.39	0.50	0.60	0.65	0.74	0.79	0.83	0.94	1.05	1.16	1.25	1.32	1.76	2.06	
9	0.6	Hs Yura	3.18	4.60	5.68	6.54	7.41	7.68	8.53	9.65	10.64	11.25	12.02	12.35	15.07	17.84
10	0.6	Hs Yura	2.55	4.33	5.38	6.73	7.61	8.00	8.86	9.50	10.41	11.50	12.61	13.33	16.35	19.37
11	0.6	Hs Yura	2.74	4.08	5.18	6.50	7.27	7.85	8.95	9.75	10.47	11.20	11.89	12.93	16.20	19.17
12	0.6	Hs Yura	3.48	4.41	5.07	5.92	6.43	6.44	7.20	7.73	8.75	9.76	10.63	11.14	15.45	18.73
PROM.	0.6	Hs Yura	2.99	4.35	5.33	6.42	7.18	7.49	8.38	9.16	10.07	10.93	11.79	12.44	15.77	18.78
Velocidad Capilar	Hs Yura	0.37	0.53	0.65	0.79	0.88	0.92	1.03	1.12	1.23	1.34	1.44	1.52	1.93	2.30	
13	0.4	Ip Rumi	7.44	7.58	8.34	9.03	9.49	9.03	10.45	10.45	11.23	12.01	12.13	12.99	15.66	17.80
14	0.4	Ip Rumi	5.61	6.79	7.73	8.54	9.16	9.37	10.91	11.30	12.15	13.00	13.34	14.50	17.84	19.50
15	0.4	Ip Rumi	4.11	4.90	5.71	6.25	6.63	6.61	7.53	7.83	8.51	9.19	9.56	10.22	13.22	15.16
16	0.4	Ip Rumi	4.69	7.10	8.23	9.37	9.37	10.56	10.07	10.77	11.40	12.02	11.86	12.89	15.49	17.43
PROM.	0.4	Ip Rumi	5.46	6.59	7.50	8.30	8.66	8.89	9.74	10.09	10.82	11.56	11.72	12.65	15.55	17.47
Velocidad Capilar	Ip Rumi	0.67	0.81	0.92	1.02	1.06	1.09	1.19	1.23	1.32	1.41	1.43	1.55	1.90	2.14	
17	0.5	Ip Rumi	4.47	5.85	6.62	7.91	8.25	8.75	9.22	9.92	11.00	12.08	12.77	13.22	18.68	22.60
18	0.5	Ip Rumi	2.74	3.61	4.22	5.06	5.45	5.85	6.54	7.06	8.03	9.00	9.75	10.19	15.09	18.11
19	0.5	Ip Rumi	3.01	4.28	5.15	6.34	6.98	7.43	8.23	9.12	9.98	10.83	11.63	11.94	17.16	19.52
20	0.5	Ip Rumi	4.28	5.31	5.97	6.88	7.29	7.67	8.41	8.97	9.96	10.94	11.65	12.01	16.95	19.47
PROM.	0.5	Ip Rumi	3.63	4.76	5.49	6.55	6.99	7.43	8.10	8.77	9.74	10.71	11.45	11.84	16.97	19.93
Velocidad Capilar	Ip Rumi	0.44	0.58	0.67	0.80	0.86	0.91	0.99	1.07	1.19	1.31	1.40	1.45	2.08	2.44	
21	0.6	Ip Rumi	4.94	7.46	8.96	10.43	11.26	11.49	12.75	13.69	14.85	16.01	16.82	17.10	22.98	24.07
22	0.6	Ip Rumi	3.86	5.30	6.22	7.61	8.13	8.73	9.98	10.48	11.42	12.35	13.08	13.52	20.15	22.22
23	0.6	Ip Rumi	2.94	4.08	4.72	5.77	6.41	6.85	7.66	8.33	9.42	10.51	11.21	11.53	14.85	21.26
24	0.6	Ip Rumi	2.21	4.04	5.15	6.32	6.97	7.52	8.60	9.05	10.27	11.48	12.21	12.67	18.48	20.40
PROM.	0.6	Ip Rumi	3.49	5.22	6.26	7.53	8.19	8.65	9.75	10.39	11.49	12.59	13.33	13.71	19.12	21.99
Velocidad Capilar	Ip Rumi	0.43	0.64	0.77	0.92	1.00	1.06	1.19	1.27	1.41	1.54	1.63	1.68	2.34	2.69	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

La velocidad capilar está dada en $\text{mm/s}^{1/2}$, de este cálculo realizado se hicieron una serie de gráficos comparando los diversos valores obtenidos para cada relación A/C.

Para determinar la velocidad de absorción capilar se siguió el procedimiento

establecido descrito anteriormente. Se evaluaron 3 relaciones A/C: 0.4, 0.5 y 0.6 con los 2 Tipos de cemento con el Tipo IP Rumi y con el tipo HS Yura.



Figura 4.7 *Preparación de Muestras para Determinar la Velocidad de Absorción por Capilaridad*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

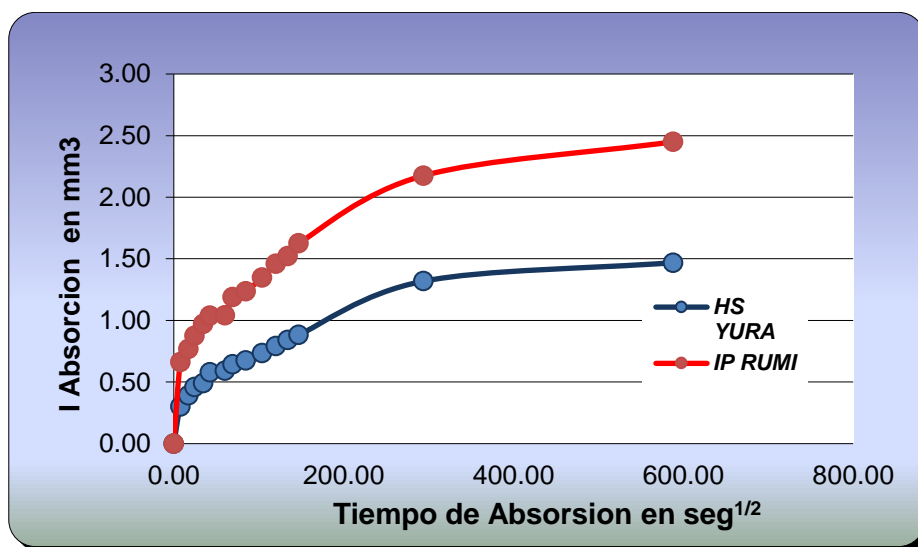


Figura 4.8: *Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi. A/C= 0.4*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se moldearon 4 muestras por punto con diferente relación A/C y por cada tipo de cemento, para este primer grupo de relación a/c = 0.4.

En el eje X tenemos a la raíz cuadrada del tiempo de exposición en segundos y en el eje Y tenemos a I que es la velocidad de absorción por capilaridad

$$I = mt/Ad$$



Dónde:

l : Absorción [mm]

m : Cambio de masa del espécimen en gr, para un tiempo t

A : Área de la sección del espécimen [mm]

d : Densidad del agua (gr/mm³)

En esta evaluación con la relación agua/cemento = 0.4 tenemos una velocidad de **0.88 mm/s^{1/2}** para muestras con cemento Antisalitre HS Yura frente a una mayor velocidad de absorción de muestras con Cemento Tipo IP Rumi con un valor de **1.55 mm/s^{1/2}** en un tiempo de exposición equivalente a las 6 primeras horas que nos da el valor de la sortividad inicial o velocidad de absorción inicial. Es casi un **67%** más absorbente que las muestras elaboradas con cemento antisalitre, tenemos como principio que a menor porosidad y absorción mayor será la resistencia al ataque de sulfatos y cloruros al disolverse estos en agua y producir eflorescencias y daños mayores en estructuras de las edificaciones.

A las 48 horas tenemos una velocidad de **1.47 mm/s^{1/2}** para muestras con cemento Antisalitre HS Yura frente a una mayor velocidad de absorción de muestras con cemento Tipo IP Rumi con un valor de **2.14 mm/s^{1/2}** es casi un **45%** más absorbente que las muestras elaboradas con cemento antisalitre.

Un detalle importante de destacar es la consistencia del concreto en ambos caso para un diseño de mezcla con una A/C= 0.4 la consistencia fue muy seca como observamos en la figura perdiendo todo grado de trabajabilidad del concreto en la elaboración de los testigos. Vemos en la parte inferior izquierda las 2 muestras elaboras con cemento tipo IP Rumi, la vemos porosa y con cangrejas. Mientras que en las muestras elaboradas con la misma relación con cemento anti salitre tuvo un comportamiento más plástico y trabajable.



Figura 4.9 *Probetas elaboradas para Determinar la Velocidad de Absorción por Capilaridad*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación presentamos los gráficos correspondientes a relaciones agua cemento igual a 0.5 En esta evaluación con la relación agua/cemento = 0.5 tenemos una velocidad de **1.76 mm/s^{1/2}** para muestras con cemento Antisalitre HS Yura frente a una mayor velocidad de absorción de muestras con Cemento Tipo IP Rumi con un valor de **2.08 mm/s^{1/2}** en un tiempo de exposición equivalente a las 6 primeras horas que nos da el valor de la sortividad inicial o velocidad de absorción inicial. Es casi un **18%** más absorbente que las muestras elaboradas con Cemento Antisalitre.

A las 48 horas tenemos una velocidad de **2.06 mm/s^{1/2}** para muestras con cemento Antisalitre HS Yura frente a una mayor velocidad de absorción de muestras con Cemento Tipo IP Rumi con un valor de **2.44 mm/s^{1/2}**, Es casi un **18%** más absorbente que las muestras elaboradas con Cemento Antisalitre.



Figura 4.10 *Ensayo para Determinar la Velocidad de Absorción por Capilaridad*
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

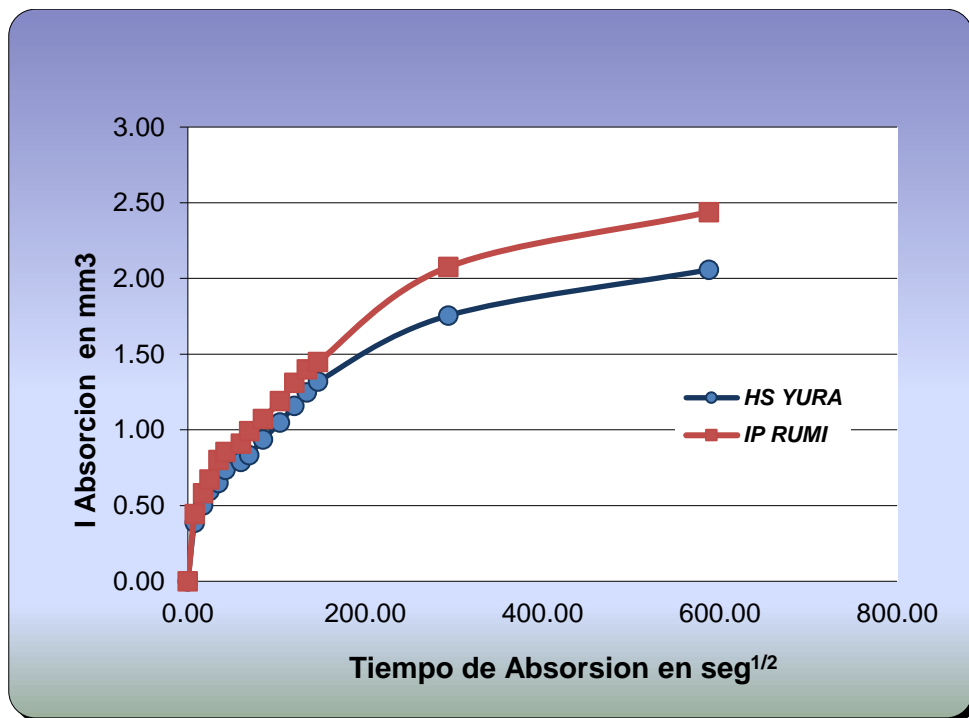


Figura 4.11: *Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento A/C= 0.5 Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi.*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

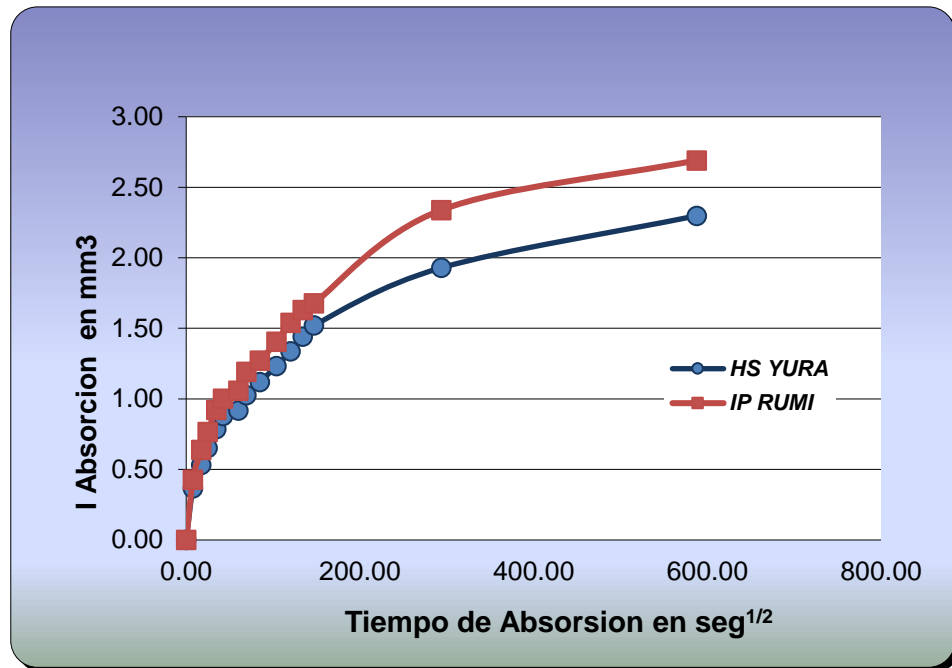


Figura 4.12: *Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento A/C= 0.6 Tipo HS Yura y Tipo IP Rumi.*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Finalmente presentamos los gráficos correspondientes a relaciones agua cemento igual a 0.6 En esta evaluación con la relación agua/cemento = 0.5 tenemos una velocidad de **1.93 mm/s^{1/2}** para muestras con cemento Antisalitre HS Yura frente a una mayor velocidad de absorción de muestras con Cemento Tipo IP Rumi con un valor de **2.34 mm/s^{1/2}** en un tiempo de exposición equivalente a las 6 primeras horas que nos da el valor de la sortividad inicial o velocidad de absorción inicial. Es casi un **21%** más absorbente que las muestras elaboradas con Cemento Antisalitre.

A las 48 horas tenemos una velocidad de **2.30 mm/s^{1/2}** para muestras con cemento Antisalitre HS Yura frente a una mayor velocidad de absorción de muestras con Cemento Tipo IP Rumi con un valor de **2.69 mm/s^{1/2}**, Es casi un **17%** más absorbente que las muestras elaboradas con Cemento Antisalitre.

Para terminar el análisis se elaboraron gráficos donde se observa que a mayor relación a/c más expuesto se encuentra la estructura al tener mayor capacidad de absorción y por lo tanto puede presentar problemas de ascensión capilar y reacción con

cloruros o sulfatos.

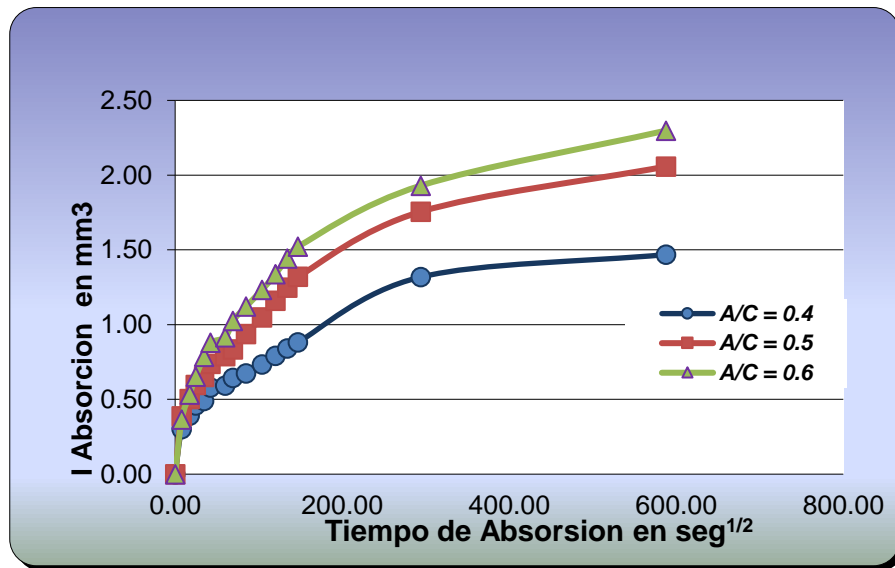


Figura 4.13: *Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento HS Yura con un A/C= 0.4, 0.5 y 0.6*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

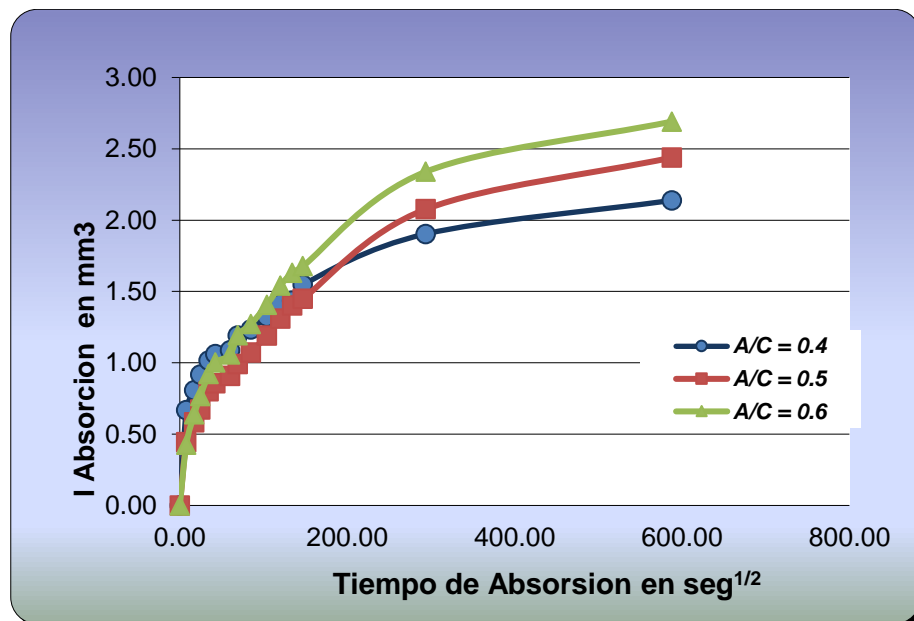


Figura 4.14: *Velocidad de Absorción del Concreto con Cemento IP Rumi con un A/C= 0.4, 0.5 y 0.6*

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.4. ENCUESTA DEL GRADO DE INFORMACIÓN DE ALUMNOS DE INGENIERÍA CIVIL UNA PUNO.

Se realizó la encuesta en la Ciudad Universitaria de la UNAP. a egresados y estudiantes de la Carrera profesional de Ingeniería Civil en número de 60 en noviembre del 2019 para poder tener una idea del grado de información sobre el impacto de los problemas ocasionados por capilaridad, humedad en las edificaciones. Se evaluó:

- El grado de identificación el problema. Se refiere a la observación de la persistencia del problema en edificaciones existentes.
- El grado de conocimiento sobre: Conceptos generales sobre terminología y elementos que acompañan al problema, luego sobre conocimientos de medidas preventivas para evitar las consecuencias a posteriori de los efectos de ataque de sulfatos y cloruros y finalmente el grado de conocimiento de medidas correctivas en caso de edificaciones que presenten problemas causados por humedad, capilaridad.
- En la tercera parte se evaluó la forma que tienen los estudiantes sobre la forma de recolección de información científica.

4.4.1. Sección I: Identificación del Problema.

Se realizó la siguiente interrogante:

101. ¿Con que frecuencia Ud. Identifica o encuentra problemas de humedad y eflorescencia en edificaciones?

Tabla 4.10: Resultado de la Encuesta a la Pregunta 101

Valoración	Nro. de Veces
Muy poco	3
Poco Frecuente	7
Regularmente Frecuente	29
Muchas veces	21
No le interesa	0

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De los datos recogidos podemos observar que 83% de encuestados identificaron los problemas de humedad y eflorescencia en edificaciones, muchas veces en el desempeño de la vida profesional algunas veces tenemos las preguntas sobre el cómo resolver este tipo de problemas.

4.4.2. Sección II: Conocimientos.

Se realizaron un conjunto de preguntas acerca de conceptos generales, de conocimientos sobre la prevención y finalmente conocimientos de medidas correctivas a utilizarse en caso de presentarse este tipo de problemas.

4.4.2.1. *Conocimientos Generales*

Tabla 4.11: Resultado de la Encuesta a las Preguntas 201 al 210

Tema	Nivel de conocimiento				
	Muy Poco	Poco	Regular	Bueno	Muy Bueno
201. Eflorescencia en edificaciones	3	12	33	12	0
202. Humedad proveniente del suelo en Edificaciones	0	15	18	18	9
203. Tipos de Cementos	0	6	18	33	3
204. Patologías del concreto	3	6	24	18	9
205. Degradación del Concreto	6	9	27	12	6
206. Absorción capilar del Concreto	6	6	21	6	6
207. Daños provocados en edificaciones por Salitres.	0	12	18	12	3
208. Daños provocados en edificaciones por Cloruros.	6	8	12	12	2
209. Marcas de Cementos	0	2	31	15	6
210. Prevención al Ataque de Sulfatos y Cloruros	3	12	21	3	3

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Con los datos obtenidos se realizaron una serie de gráficos circulares para poder observar en porcentaje los diferentes grados de conocimientos que expresaron los encuestados.

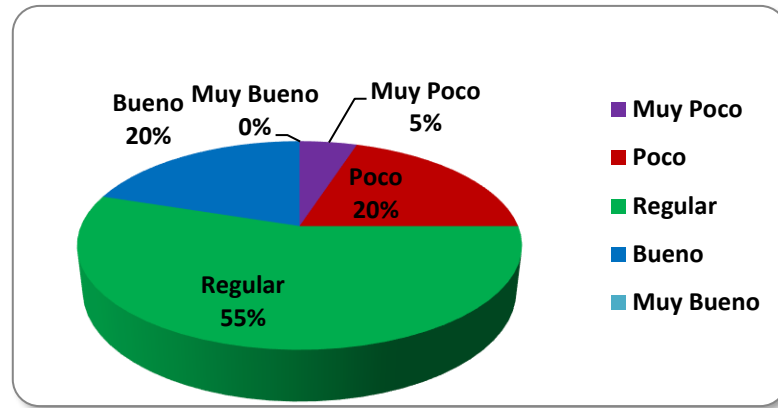


Figura 4.16: Nivel de Información sobre Eflorescencia

Nota: un 75 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al problema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

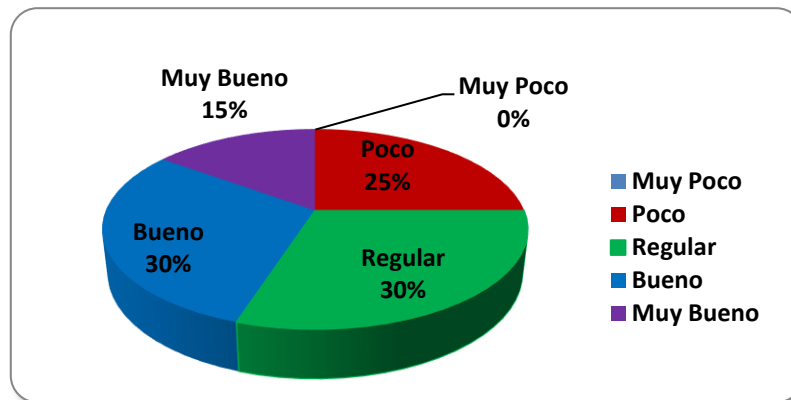


Figura 4.17: Nivel de Información sobre Humedad en Edificaciones

Nota: un 60 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al problema Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

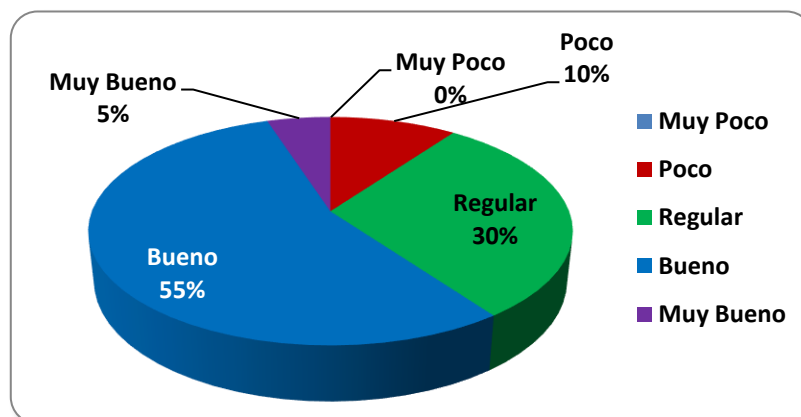


Figura 4.18: Nivel de Información sobre Tipos de Cemento

Nota: un 85 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al tipo de cementos, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

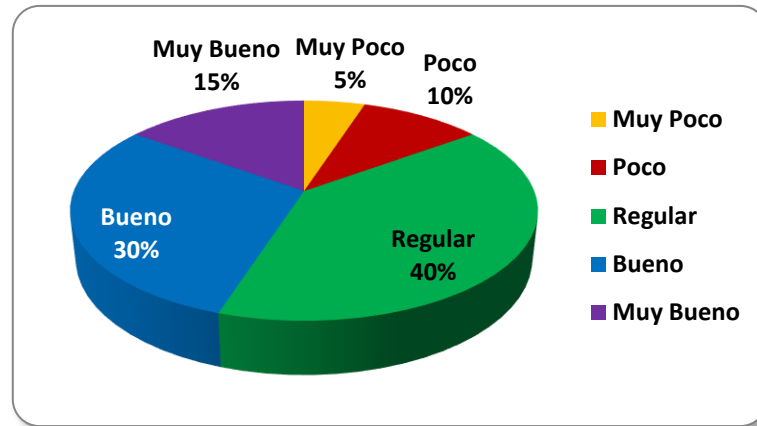


Figura 4.19: Nivel de Información sobre Patologías del Concreto

Nota: un 70 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto a Patologías del Concreto,
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

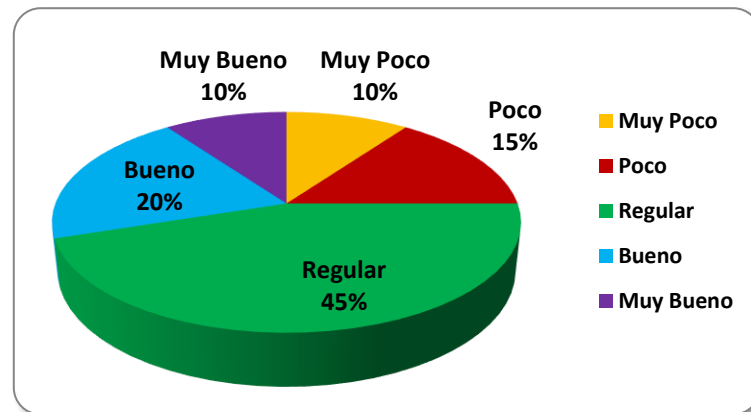


Figura 4.20: Nivel de Información sobre Degradación del concreto

Nota: un 65 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al problema Fuente:
Elaborado por el equipo de trabajo

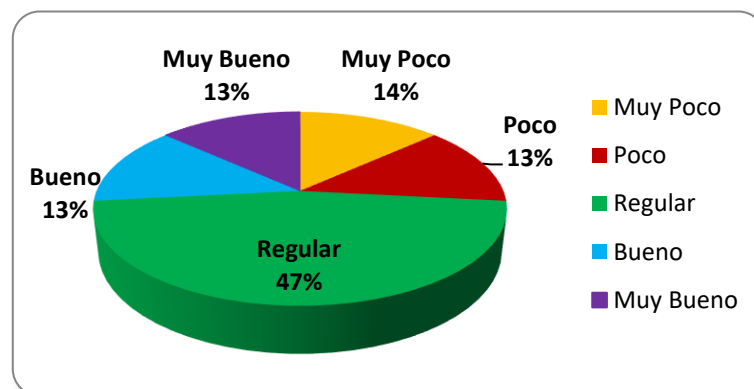


Figura 4.21: Nivel de Información sobre Absorción Capilar

Nota: un 60 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al fenómeno, Fuente:
Elaborado por el equipo de trabajo

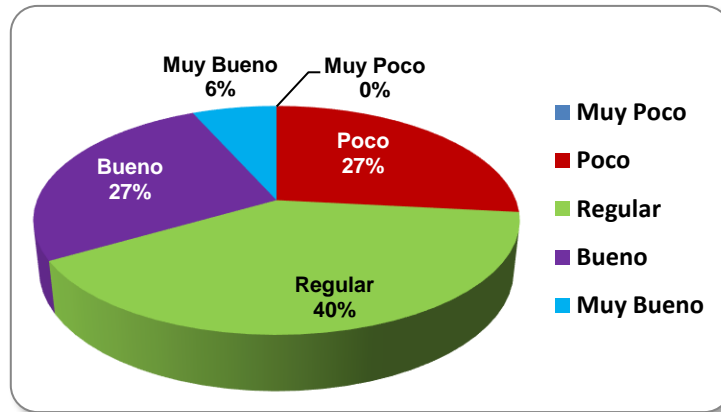


Figura 4.22: Nivel de Información sobre Efectos de Salitres

Nota: un 67 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al problema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

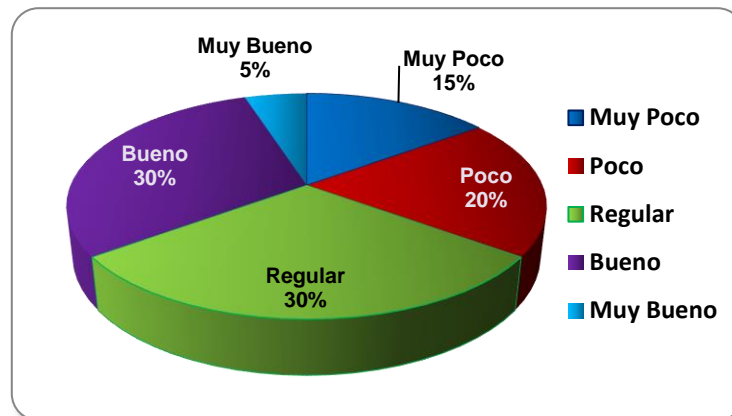


Figura 4.23: Nivel de Información sobre Efectos de Cloruros

Nota: un 60 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al problema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

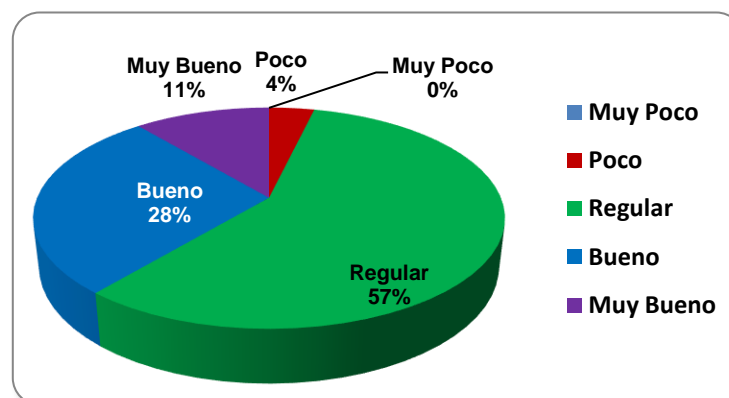


Figura 4.24: Nivel de Información sobre Marcas de Cemento

Nota: un 85 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al problema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.2.2. *Medidas Preventivas para evitar Daños en el concreto por Sulfatos y Cloruros*

Tabla 4.12: Resultado de la Encuesta a las Preguntas 211 al 217

Tema	Nivel de conocimiento				
	Muy Poco	Poco	Regular	Bueno	Muy Bueno
211. Diseño de concretos por durabilidad.	3	12	18	21	0
212. Uso de diferentes tipos de Cemento para prevenir la eflorescencia.	6	15	24	6	0
213. Uso de diferentes tipos de Aditivos para prevenir la eflorescencia.	6	21	15	6	3
214. Estudio Químico de agregados para conocer sus parámetros permisibles en contenidos de sulfatos y sales.	9	18	12	12	0
215. Protección del concreto con métodos hidrófugos	12	24	6	9	0
216. Protección de edificaciones con Láminas o membranas impermeables	6	24	12	3	6
217. Protección del concreto con Revestimientos impermeables.	9	12	18	6	6

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

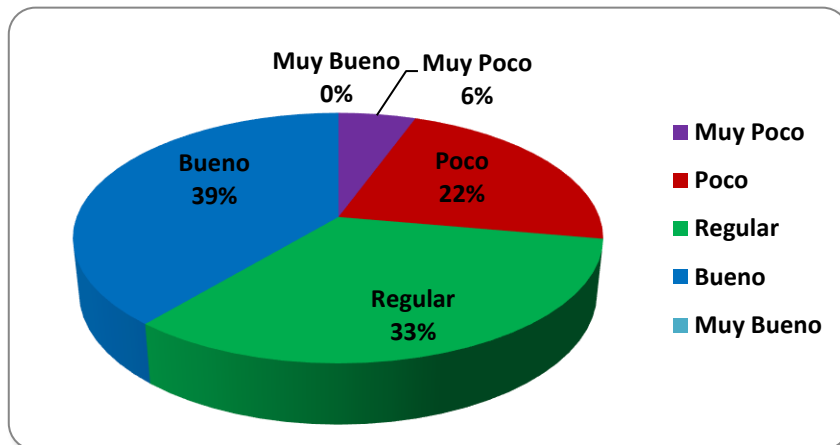


Figura 4.25: Nivel de Información sobre Diseños de Concretos por Durabilidad

Nota: Un 72 % afirmó que tenían entre regular y poco la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

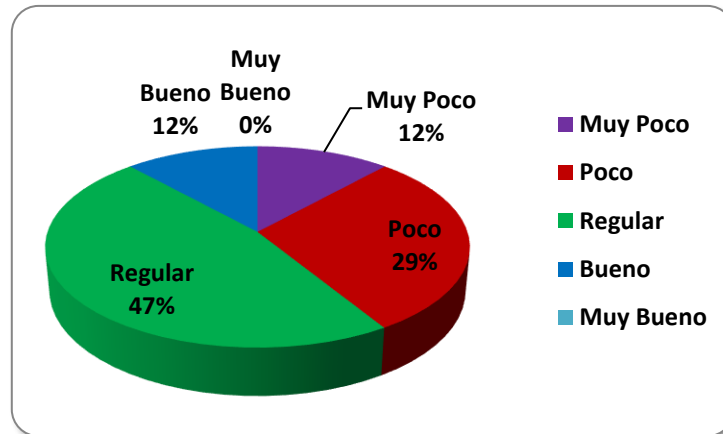


Figura 4.26: Nivel de Información sobre Uso de Cementos

Nota: Un 76 % afirmó que tenían entre regular y poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

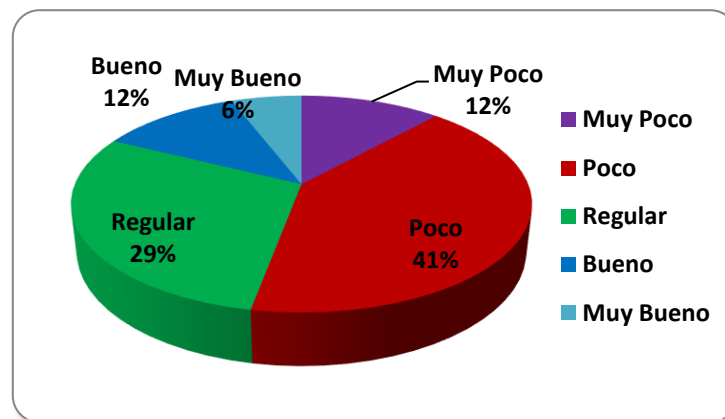


Figura 4.27: Nivel de Información sobre Uso de Aditivos

Nota: Un 53 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

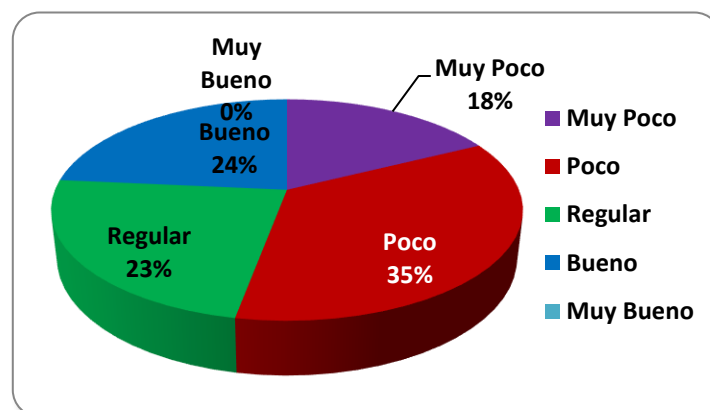


Figura 4.28: Nivel de Información sobre Estudio Químicos de Agregados

Nota: Un 53 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

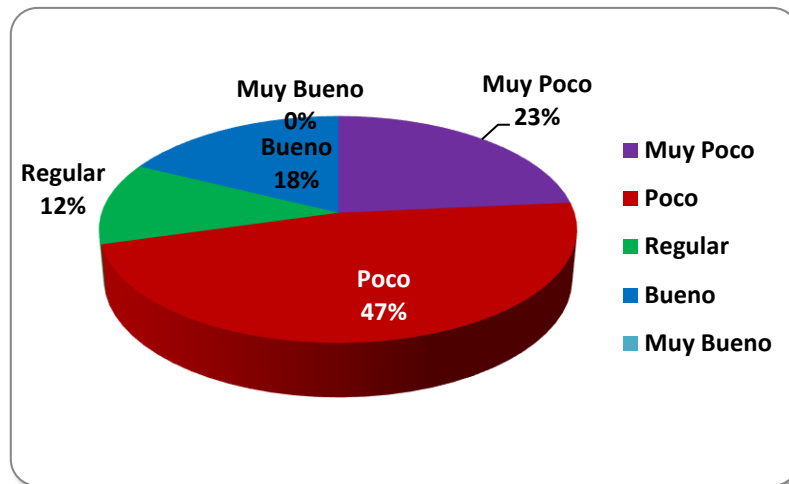


Figura 4.29: Nivel de Información sobre Métodos Hidrófugos

Nota: Un 70 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

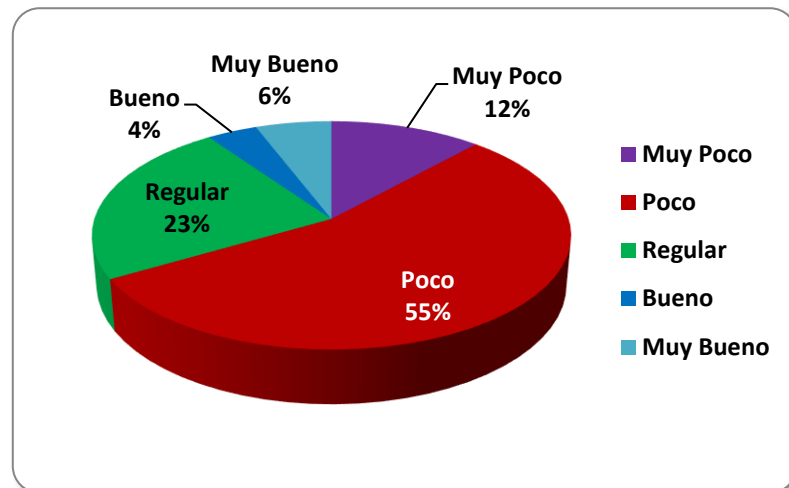


Figura 4.30: Nivel de Información sobre Membranas Impermeables

Nota: Un 67 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

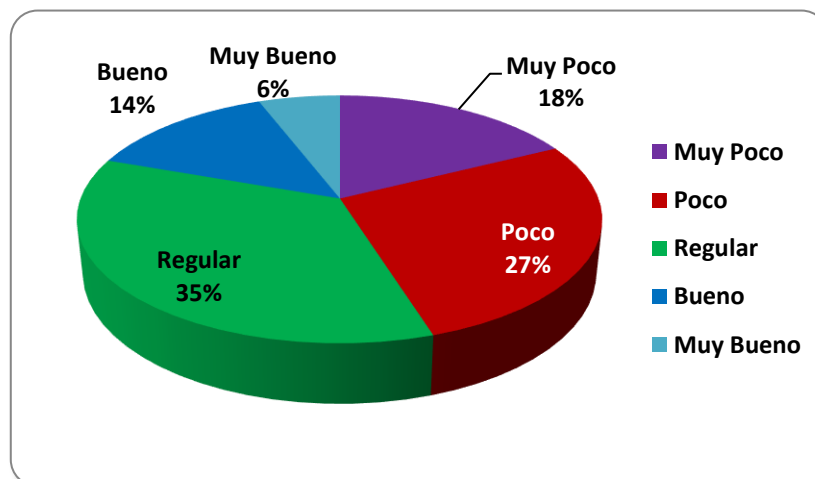


Figura 4.31: Nivel de Información sobre Revestimientos Impermeables

Nota: Un 45 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.2.3. Tratamiento y Medidas Correctivas. Para reparar Daños en el concreto por Sulfatos y Cloruros

Tabla 4.13: Resultado de la Encuesta a las Preguntas 218 al 224

Tema	Nivel de conocimiento				
	Muy Poco	Poco	Regular	Bueno	Muy Bueno
218. Drenaje en edificaciones	3	9	18	18	3
219. Juntas impermeables en Edificaciones	3	6	30	6	6
220. Método electro-osmótico	15	24	12	3	0
221. Cámaras de aire exteriores	18	21	12	3	0
222. Inyecciones de Aditivos en paredes y sobre cimientos.	9	21	12	12	0
223. Uso de Sifones de Knapen.	27	24	6	2	0
224. Uso de impermeabilizantes tipo pintura (Chema, Sika, etc.).	3	21	18	11	6

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

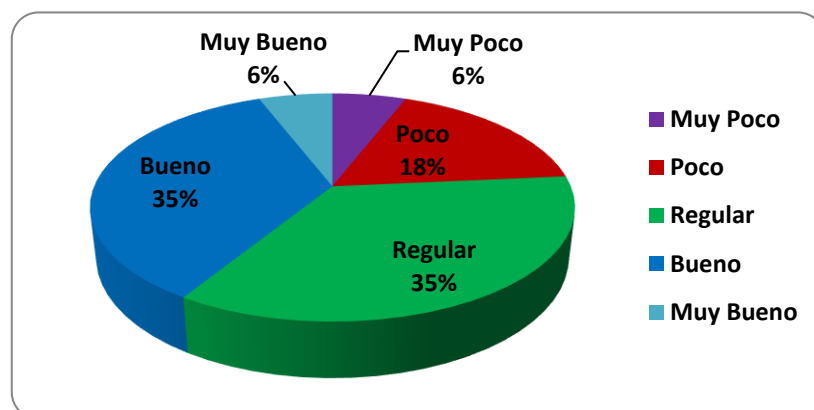


Figura 4.32: Nivel de Información sobre Drenaje en Edificaciones

Nota: Un 70 % afirmó que tenían entre Regular y Buena la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

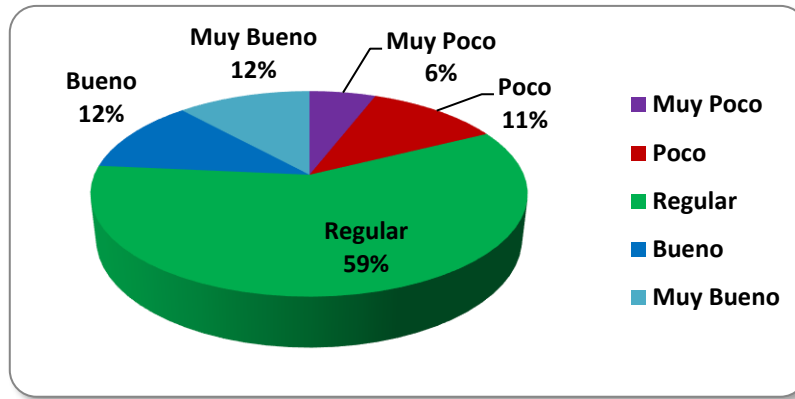


Figura 4.33: Nivel de Información sobre Juntas Impermeables

Nota: Un 71 % afirmó que tenían entre Regular y Buena la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

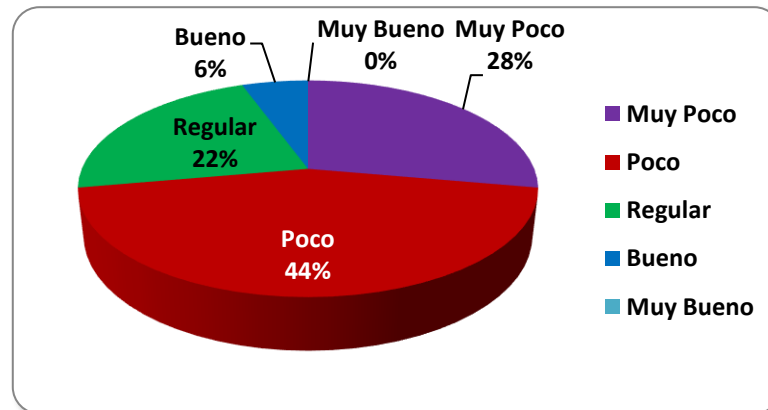


Figura 4.34: Nivel de Información sobre Método Electro-Osmótico

Nota: Un 72 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

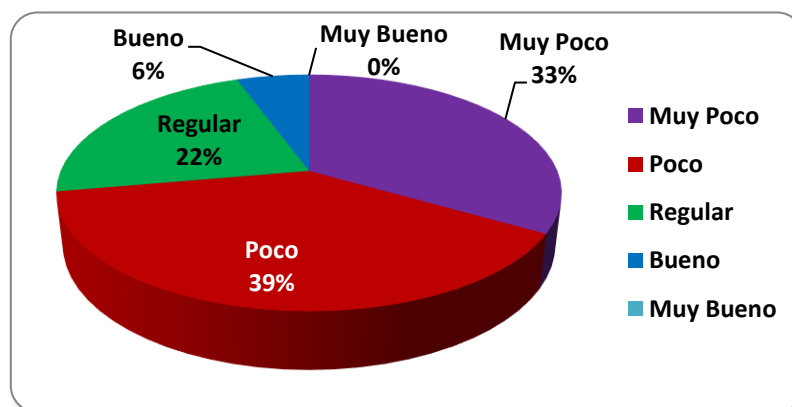


Figura 4.35: Nivel de Información sobre Cámaras de Aire Externas

Nota: Un 72 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

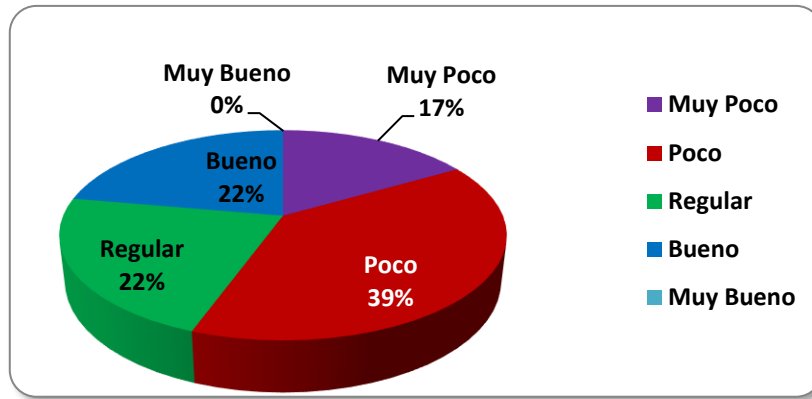


Figura 4.36: Nivel de Información sobre Inyecciones de Aditivos

Nota: Un 56 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

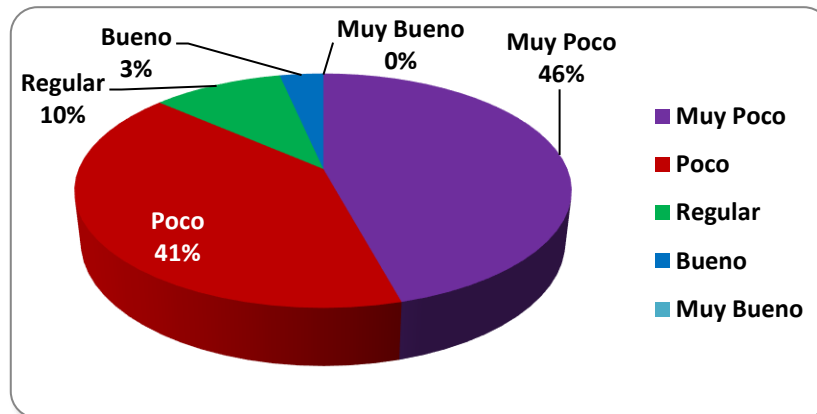


Figura 4.37: Nivel de Información sobre Uso de Sifones

Nota: Un 87 % afirmó que tenían entre poco y muy poca la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

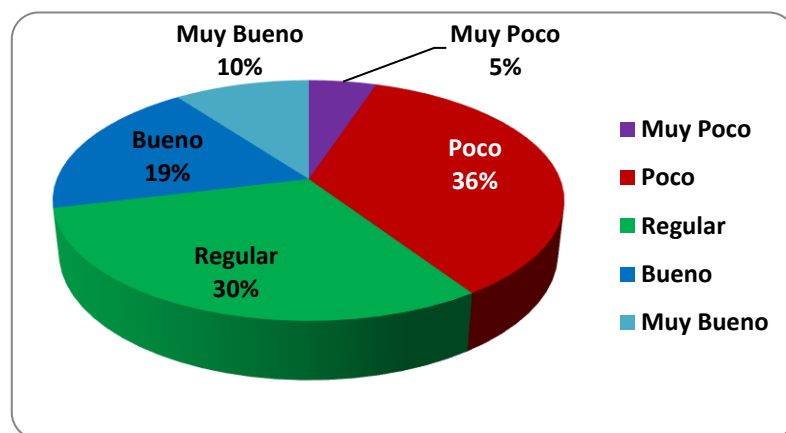


Figura 4.38: Nivel de Información sobre Uso de Impermeabilizantes

Nota: Un 49 % afirmó que tenían entre regular y buena la información respecto al tema, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.3. Sección III: Intereses

A continuación, planteamos una serie de 3 preguntas sobre la forma de recolección de información, el grado de interés para informarse sobre temas que tratan sobre la patología del concreto.

101. ¿Qué grado de interés tiene usted en la investigación sobre la patología del concreto?

Tabla 4.14: Resultado de la Encuesta a las Pregunta 301

Grado de Interés	Nro. de Veces
Trato informarme constantemente sobre el tema	2
Trato de informarme regularmente sobre el tema	20
A veces me informo	34
Rara vez me informo	3
Nunca me informo	0

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

301.¿A través de qué medios se informa usted sobre temas de concreto?

Tabla 4.15: Medios de Información por las Cuales Recolectan Temas de Concreto

Medio de Información	Número de Respuestas
Revistas y libros científicos especializados	36
Diarios y revistas de carácter general	24
Televisión y radio	3
Internet	60
Ningún medio en particular	0

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede apreciar claramente que la principal fuente de información es el Internet, quedando como segundo lugar libros y revistas científicas cabe resaltar que también esto se debe al grado de disponibilidad de los mismos.

302. ¿Qué lugar diría usted que ocupa la Investigación en sus conversaciones con amigos o familiares?.

Tabla 4.16: *Importancia de Información de Temas Científicos*

Importancia de la Investigación	Número de Respuestas
Conversamos regularmente sobre diversos temas científicos	30
Conversamos sobre los descubrimientos científicos importantes	2
Rara vez conversamos sobre temas científicos	28

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede ver el interés por obtener información de carácter científico en más 50 % de encuestados.

4.4.4. Interpretación de Resultados.

De las preguntas realizadas resumimos:

- Identificación de problemas asociados a humedad y/o capilaridad un 83 % identifico rápidamente el fenómeno, puede ser por el medio en que se vive en la Región Puno con un nivel freático elevado.
- En el segundo grupo de preguntas respecto al nivel de conocimientos sobre dichos fenómenos fue desde 60 % a 80% de conocimiento regular a bueno.
- Como tercer grupo de preguntas sobre medidas preventivas y correctivas en edificaciones sometidas a problemas generados por el fenómeno de ascensión capilar y filtraciones de humedad fue de hasta 83% de poco y muy poco conocimiento mientras en otras llego hasta el 70 entre bueno y regular cuando se trató de un concepto general como el drenaje en edificaciones.

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

4.5.1. Resistencia a la Compresión.

4.5.1.1. Resultados de Muestras de Concreto Con Cemento Tipo I (Grupo Control) a los 7 días

Tabla 4.17: Análisis Estadístico: Concreto Normal - 7 días – Grupo Control.

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 7 Días Concreto Normal	78	142.10
	79	143.60
	77	144.50
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	142.100	kg/cm2
Máximo	144.500	kg/cm2
Rango	2.400	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	143.400	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	2.600	
Dispersión Media	0.867	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	1.470	
Desviación Estándar o Normal σ_x	1.212	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	0.700	
Valor Más Probable	143.400	± 0.7
Coficiente de Variación	0.845	%
Error Porcentual	0.488	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.2. Distribución Normal

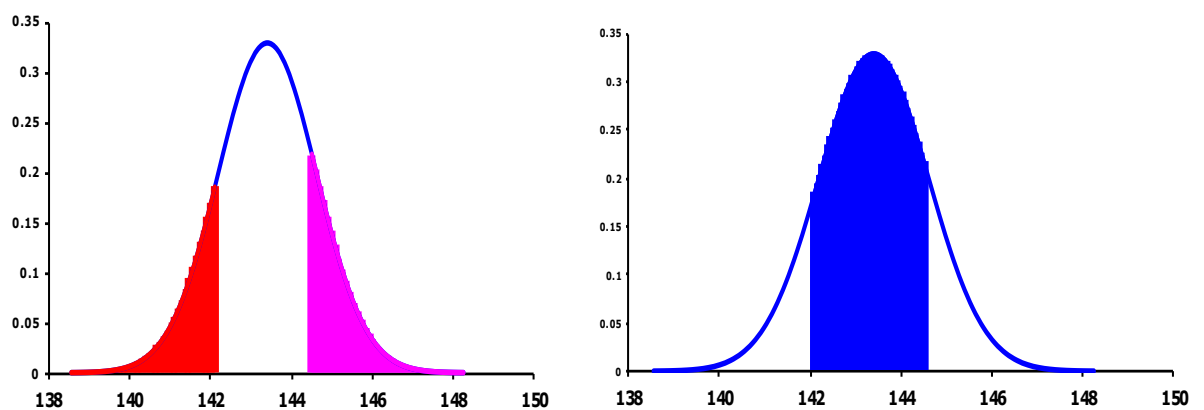


Figura 4.39: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado Normal.

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 14.18\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 18.21\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 67.61\%$$

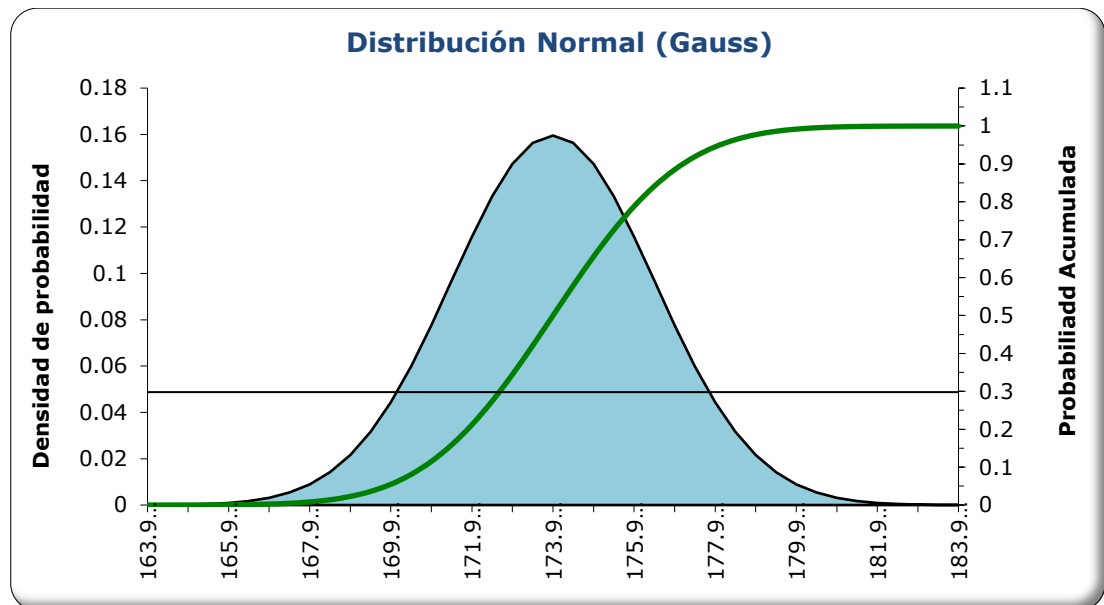


Figura 4.40: *Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado Normal*

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.5.1.3. Procedimiento

En la primera parte colocaremos la memoria de cálculo y por razones repetitivas en los siguientes análisis solo llevara la tabla de los resultados y gráficos que corresponda.

- Mínimo = 142.1000 kg/cm² Valor más pequeño en la tabla de datos
- Máximo = 144.5000 kg/cm² Valor más grande en la tabla de datos
- Moda = No existe El Valor que más se repite
- Mediana = 143.6000 kg/cm² Se ordenan todos los datos de la tabla y se busca el valor que quede a la mitad
- Rango = Valor máximo - valor mínimo
- Rango = 144.5000 - 142.1000
- Rango = 2.4000kg/cm² Resta entre el valor máximo y el valor mínimo

- $n = 3$ Contar la cantidad de datos que se tienen
- $\Sigma x_i = 430.2000 \text{ kg/cm}^2$ Sumar todos los datos
- Valor promedio (Media)

$$x_{\text{prom}} = \Sigma x_i / n \quad \text{suma de datos/ número de datos}$$

$$x_{\text{prom}} = 430.20 / 3$$

$$x_{\text{prom}} = \mathbf{143.4000 \text{ kg/cm}^2}$$

- Dispersión δ

$$\delta x_i = x_i - x_{\text{prom}}$$

A cada dato se le resta el promedio. La dispersión nos dice que tan cerca está cada dato del promedio.

- Dispersión Media. $\delta x =$ Suma de los Valores Absolutos de la dispersión / número de datos

$$\delta x = \Sigma | \delta x_i | / n$$

$$\delta x = \mathbf{2.6000 / 3}$$

$$\delta x = \mathbf{0.8667} \quad \text{Es el promedio de todas las dispersiones.}$$

Tabla 4.18. Dispersión: Concreto Normal - 7 días – Grupo Control.

<i>Número de Probeta</i>	<i>Dato</i>	<i>Valor Promedio</i>	<i>Dispersión</i>	<i>Valor Absoluto de la dispersión</i>	<i>Cuadrado de la Dispersión</i>
<i>n</i>	x_i	x_{prom}	δx_i	δx_i	$(\delta x_i)^2$
79	142.10	143.40	-1.30	1.30	1.69
78	143.60	143.40	0.20	0.20	0.04
77	144.50	143.40	1.10	1.10	1.21
Σx_i	430.20	Σ Sumatoria		2.60	2.94

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Varianza o Dispersión Cuadrática Media $\sigma^2 =$ Suma de los cuadrados de la dispersión/ Número de datos menos uno



$$\sigma^2 = \frac{\sum (\delta x_i)^2}{(n - 1)}$$

$$\sigma^2 = 2.94000/2$$

$$\sigma^2 = \mathbf{1.4700000}$$

La varianza se relaciona de alguna forma con "que tan dispersos" están los datos que estamos trabajando.

- Desviación Estándar o Normal σ_x

$$\sigma_x = \sqrt{\sum (\delta x_i)^2 / (n-1)}$$

$$\sigma_x = \sqrt{2.94000/2}$$

$$\sigma_x = \mathbf{1.2124}$$

- Incertidumbre o Error Aleatorio $\epsilon_x = \text{Desviación estándar o normal} /$

Raíz cuadrada de la cantidad de datos

$$\epsilon_x = \sigma_x / \sqrt{n}$$

$$\epsilon_x = 1.21244 / \sqrt{3.0}$$

$$\epsilon_x = 0.70000$$

- Valor Más Probable $\mathbf{x} = \mathbf{x_{prom}} \pm \epsilon_x$

$$x = x_{prom} \pm \epsilon_x$$

$$x = \mathbf{143.4000} \pm \mathbf{0.7000}$$

- Coeficiente de variación (Cv)

$Cv = (\sigma / x_{prom}) * 100$ (Desviación estándar / Valor promedio)*100

$$Cv = (1.2124/143.40000)*100$$

$$Cv = \mathbf{0.845 \%}$$

- Error Porcentual

$$\epsilon_r = (\epsilon_x \times 100\%) / x_{prom}$$

$$\epsilon_r = (0.70000 \times 100\%) / 143.40000$$

$$\epsilon_r = 0.48815 \quad \%$$

4.5.1.4. Resultados de Muestras de Concreto Con Cemento HS Yura (Grupo Control) a los 7 días

Tabla 4.19: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS 7 días Grupo Control.

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 7 Días Concreto con Cemento Hs (Antisalitre)	80	149.30
	81	142.70
	82	145.70
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	142.700	kg/cm ²
Máximo	149.300	kg/cm ²
Rango	6.600	kg/cm ²
Número de datos	3	
Valor promedio	145.900	kg/cm ²
Valor Absoluto de la Dispersión	6.800	
Dispersión Media	2.267	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	10.920	
Desviación Estándar o Normal σ_x	3.305	kg/cm ²
Incertidumbre o Error Típico	1.908	
Valor Más Probable	145.900	± 1.908
Coefficiente de Variación	2.265	%
Error Porcentual	1.308	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

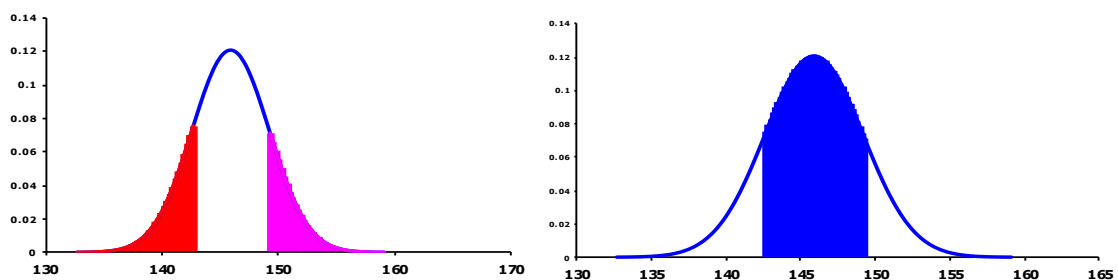


Figura 4.41: Probabilidad: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado Normal.

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{min}) = 14.18\%$$

$$\Pr(x > x_{max}) = 18.21\%$$

$$\Pr(X_{\min} < X < X_{\max}) = 67.61\%$$

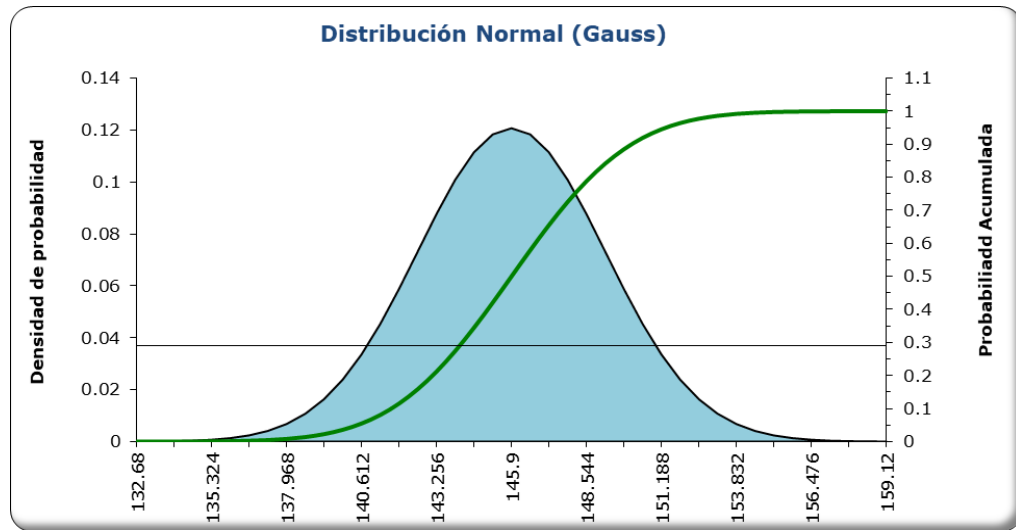


Figura 4.42: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado Normal.

4.5.1.5. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Cloruros.

Tabla 4.20: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Cloruros.

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (F'c) Obtenidas a los 7 Días, Concreto Con Cemento Tipo I Curado en Cloruros	71	145.70
	72	147.00
	73	145.00
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	145.000	kg/cm2
Máximo	147.800	kg/cm2
Rango	2.800	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	146.167	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	3.267	
Dispersión Media	1.089	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	2.123	
Desviación Estándar o Normal σ_x	1.457	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	0.841	
Valor Más Probable	146.167	± 0.841
Coefficiente de Variación	0.997	%
Error Porcentual	0.576	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

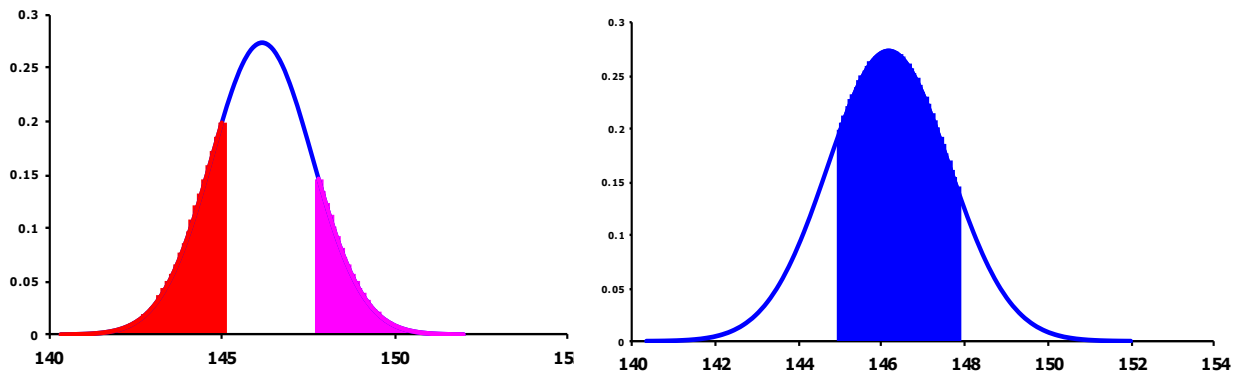


Figura 4.43: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado en Cloruros.

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 21.16\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 13.12\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 65.72\%$$

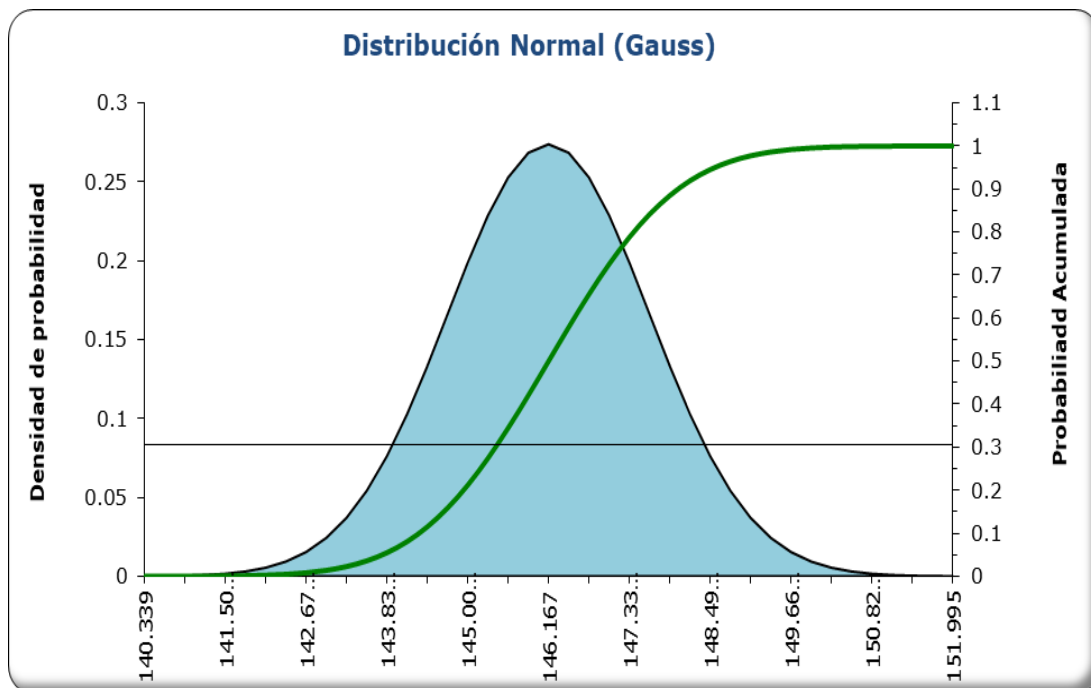


Figura 4.44: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I a 7 días, Curado en Cloruros

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.6. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 7 días Curado en Cloruros.

Tabla 4.21: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo HS- 7 días Curado en Cloruros.

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 7 Días Concreto con Cemento Hs (Antisalitre) Curado en Cloruros	55	141.00
	56	142.50
	57	153.90

Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	141.000	kg/cm2
Máximo	153.900	kg/cm2
Rango	12.900	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	145.800	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	16.200	
Dispersión Media	5.400	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	49.770	
Desviación Estándar o Normal σ_x	7.055	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	4.073	
Valor Más Probable	145.800	± 4.073
Coefficiente de Variación	4.839	%
Error Porcentual	2.794	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

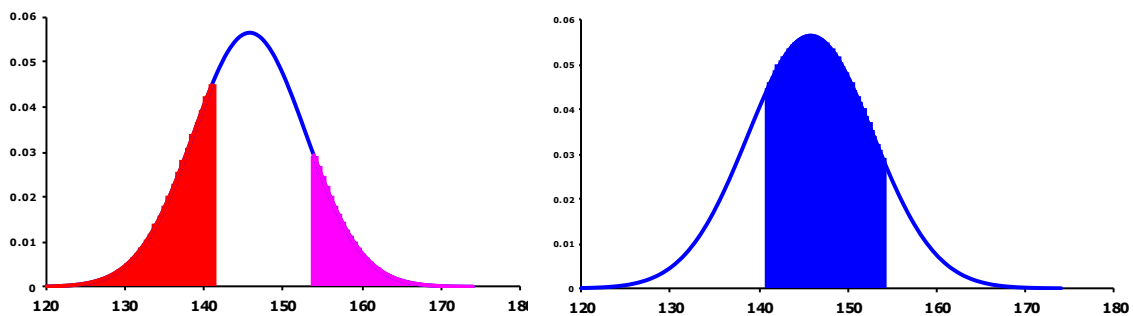


Figura 4.45: Probabilidad: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado en Cloruros

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 24.81\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 12.55\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 62.64\%$$

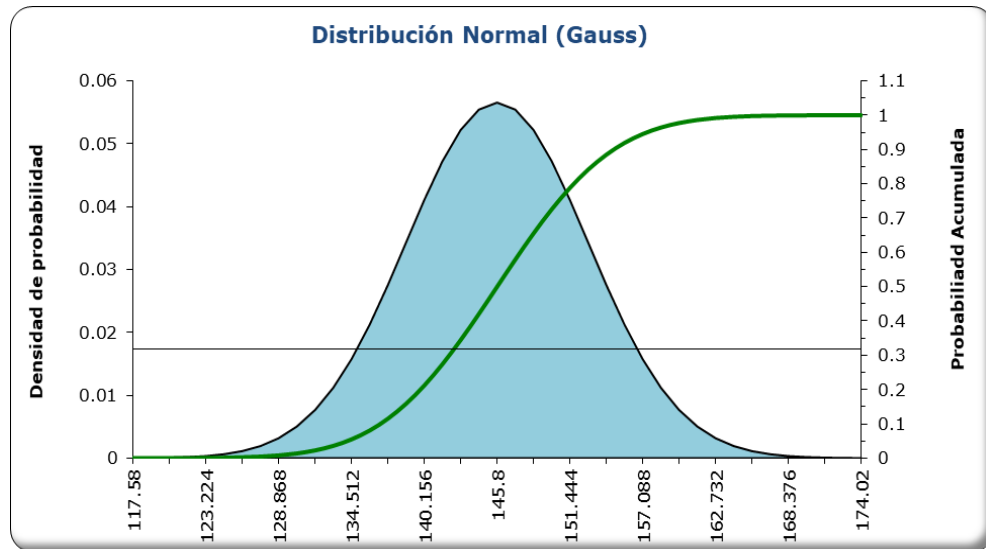


Figura 4.46: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS a 7 días, Curado en Cloruros

4.5.1.7. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Sulfatos.

Tabla 4.22: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Sulfatos.

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 7 Días Concreto con Cemento Tipo I Curado en Sulfatos	48	146.40
	49	142.90
	50	143.30
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	142.900	kg/cm2
Máximo	146.400	kg/cm2
Rango	3.500	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	144.200	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	4.400	
Dispersión Media	1.467	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	3.670	
Desviación Estándar o Normal σ_x	1.916	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	1.106	
Valor Más Probable	144.200	± 1.106
Coefficiente de Variación	1.329	%
Error Porcentual	0.767	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

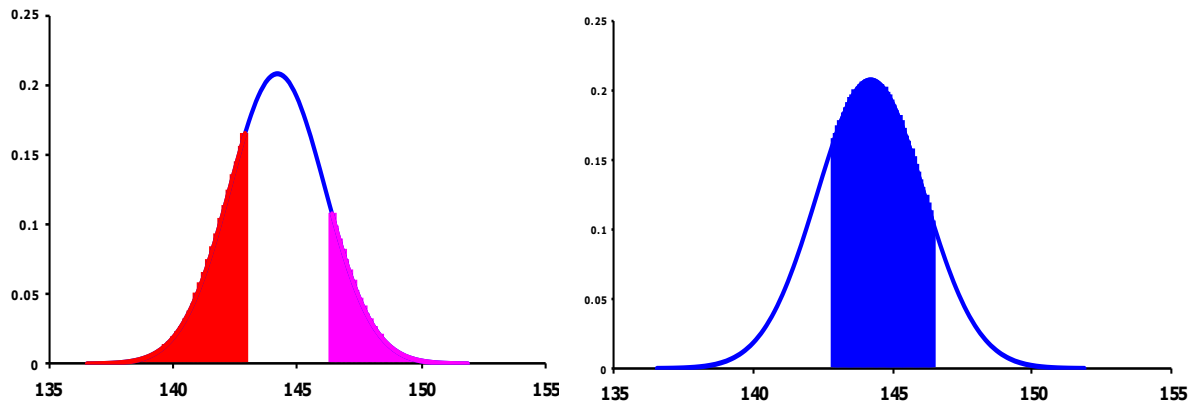


Figura 4.47: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Sulfatos.

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 24.87\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 12.54\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 62.58\%$$

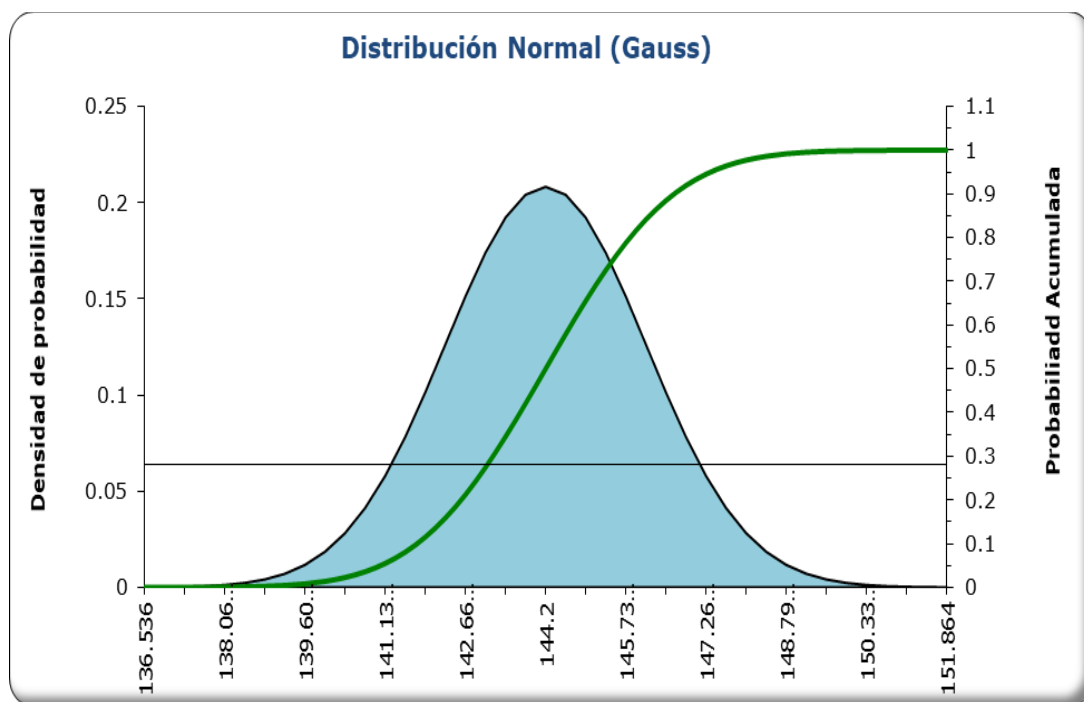


Figura 4.48: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 7 días Curado en Sulfatos.

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.8. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 7 días Curado en Sulfatos.

Tabla 4.23: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo HS Yura 7 días Curado en Sulfatos.

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 7 Días Concreto con Cemento Hs (Antisalitre) Curado en Sulfatos	65	139.90
	66	144.10
	67	158.10

Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	139.900	kg/cm2
Máximo	151.800	kg/cm2
Rango	11.900	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	145.267	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	13.067	
Dispersión Media	4.356	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	36.423	
Desviación Estándar o Normal σ_x	6.035	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	3.484	
Valor Más Probable	145.267	± 3.484
Coefficiente de Variación	4.155	%
Error Porcentual	2.399	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

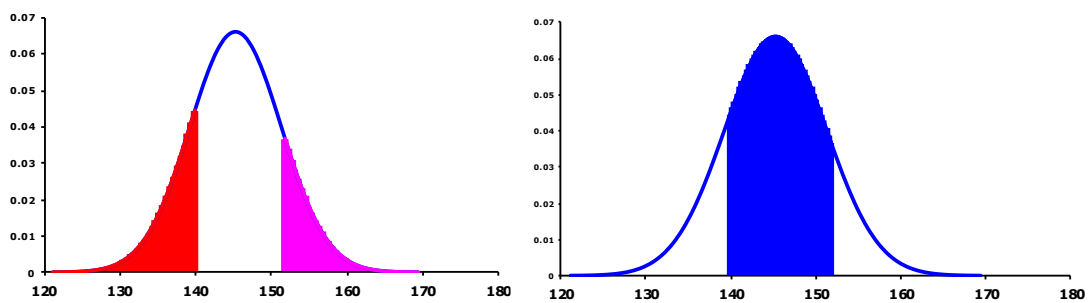


Figura 4.49: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo HS Yura - 7 días - Curado en Sulfatos.

$$\Pr(x < x_{\min}) = 18.69\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 13.95\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 67.36\%$$

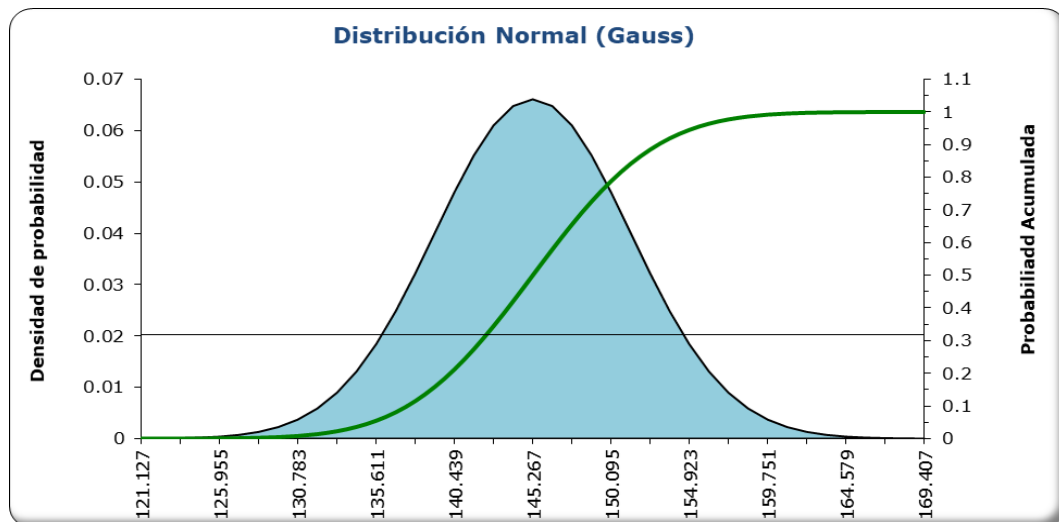


Figura 4.50: *Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo HS Yura - 7 días Curado en Sulfatos.*

4.5.1.9. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Grupo de Control.

Tabla 4.24: *Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Grupo de Control*

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (F'c) Obtenidas a los 14 Días Concreto con Cemento Tipo I	74	184.30
	75	174.10
	76	184.50
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	174.100	kg/cm2
Máximo	184.500	kg/cm2
Rango	10.400	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	180.967	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	13.733	
Dispersión Media	4.578	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	35.373	
Desviación Estándar o Normal σ_x	5.948	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	3.434	
Valor Más Probable	180.967	± 3.434
Coefficiente de Variación	3.287	%
Error Porcentual	1.897	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

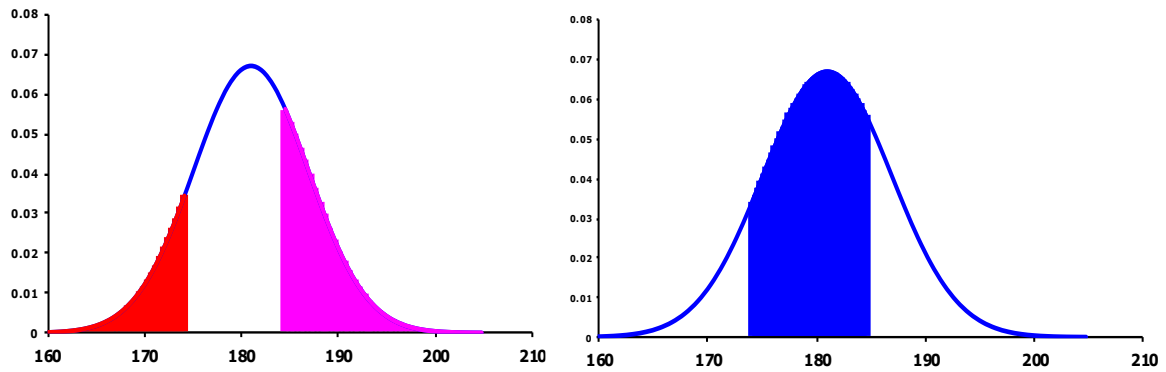


Figura 4.51: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Grupo de Control

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 12.41\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 27.62\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 59.96\%$$

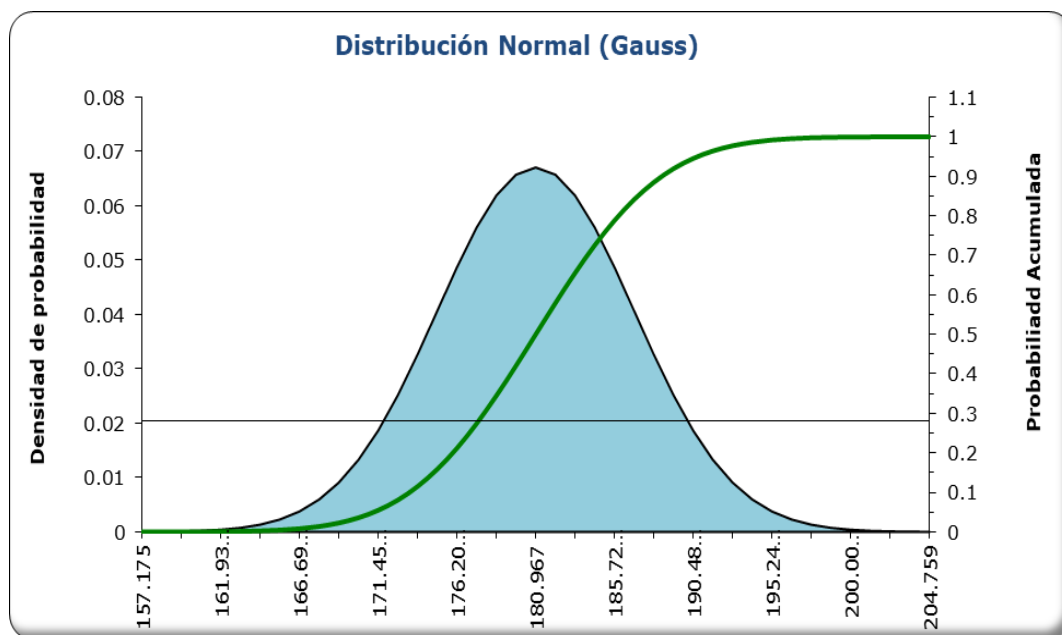


Figura 4.52: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Grupo de Control

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.10. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 14 días - Grupo de Control.

Tabla 4.25: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días - Grupo Control.

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 14 Días Concreto con Cemento Hs Yura	57	199.70
	58	212.50
	59	204.60
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	199.700	kg/cm2
Máximo	212.500	kg/cm2
Rango	12.800	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	205.600	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	13.800	
Dispersión Media	4.600	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	41.710	
Desviación Estándar o Normal σ_x	6.458	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	3.729	
Valor Más Probable	205.600	± 3.729
Coefficiente de Variación	3.141	%
Error Porcentual	1.814	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

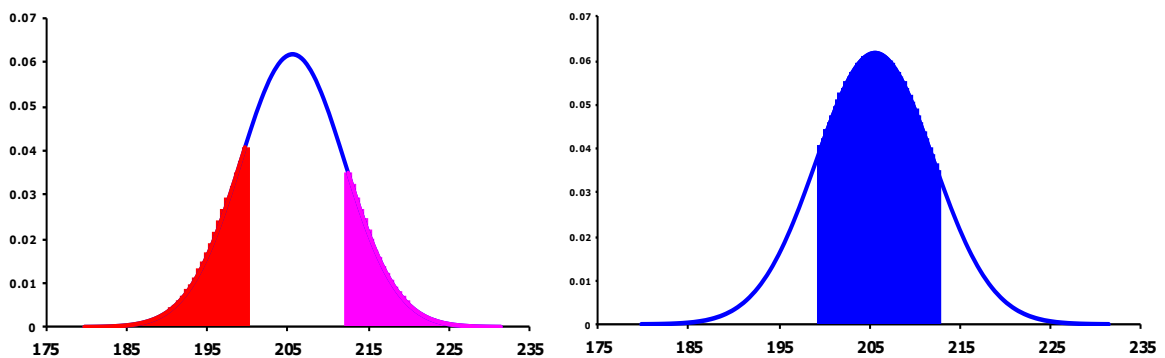


Figura 4.53: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días - Grupo de Control

$$\Pr(x < x_{\min}) = 18.05\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 14.27\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 67.69\%$$

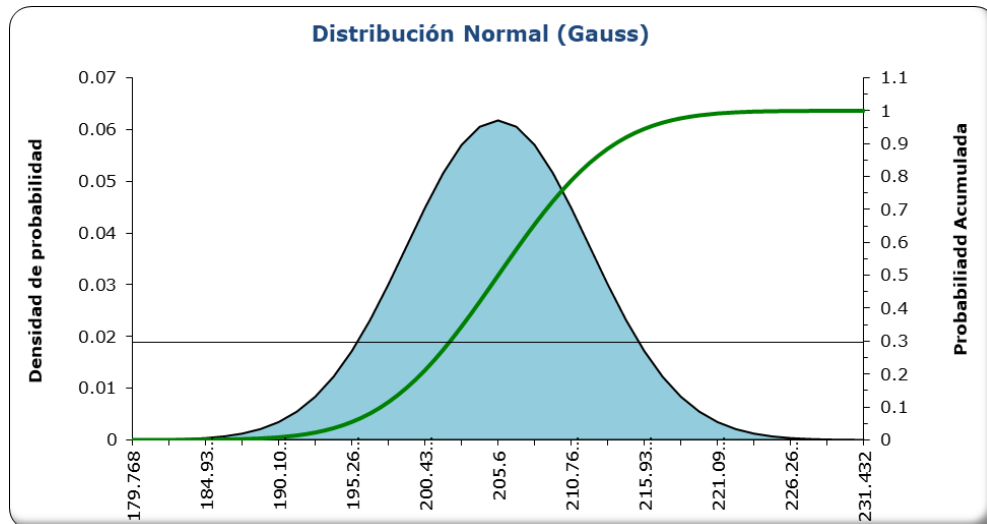


Figura 4.54: *Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días - Grupo de Control*

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.11. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento Tipo I - 14 días

Curado en Cloruros.

Tabla 4.26: *Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días - Curado en Cloruros*

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (F'c) Obtenidas a los 14 Días Concreto con Cemento Tipo I - Curado en Cloruros	68	175.70
	69	171.10
	70	175.10
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	171.100	kg/cm2
Máximo	175.700	kg/cm2
Rango	4.600	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	173.967	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	5.733	
Dispersión Media	1.911	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	6.253	
Desviación Estándar o Normal σ_x	2.501	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	1.444	
Valor Más Probable	173.967	± 1.444
Coefficiente de Variación	1.437	%
Error Porcentual	0.830	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

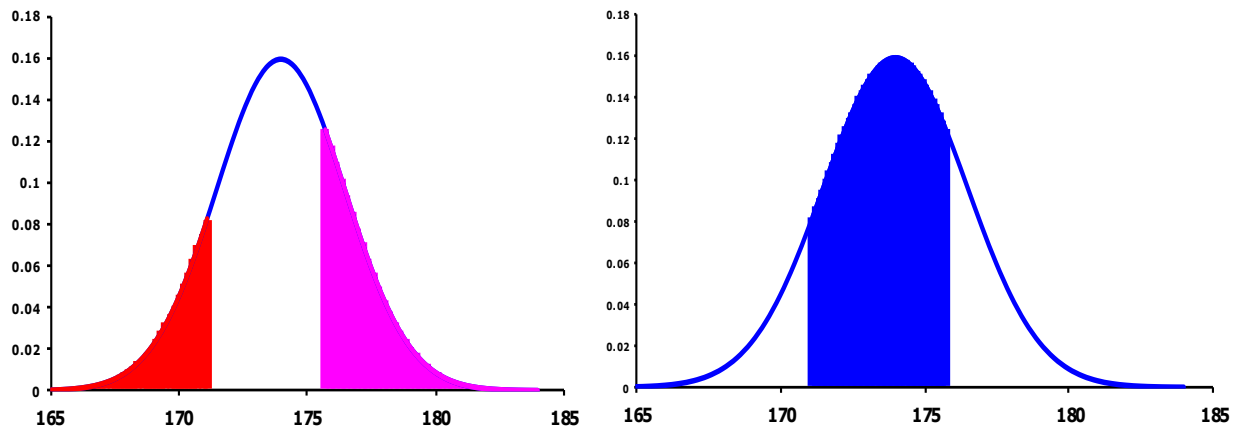


Figura 4.55: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Cloruros

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 12.58\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 24.41\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 63.01\%$$

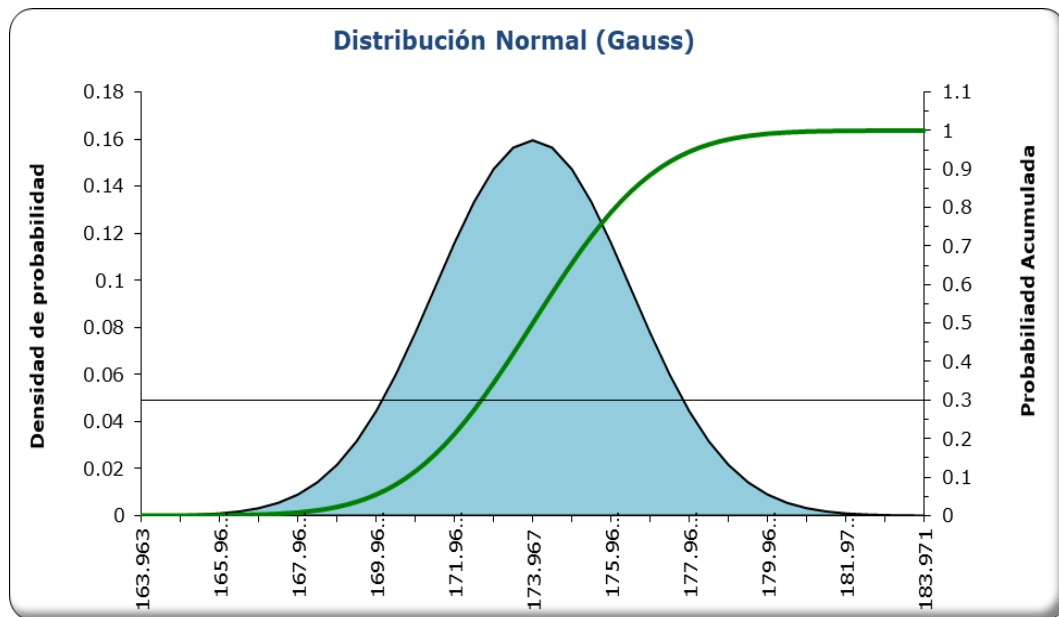


Figura 4.56: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Cloruros

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.12. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Cloruros.

Tabla 4.27: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Cloruros

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 14 Días Concreto con Cemento Hs Yura- Curado en Cloruros	51	172.40
	52	182.60
	53	185.10
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	172.400	kg/cm2
Máximo	185.100	kg/cm2
Rango	12.700	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	180.033	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	15.267	
Dispersión Media	5.089	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	45.263	
Desviación Estándar o Normal σ_x	6.728	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	3.884	
Valor Más Probable	180.033	± 3.884
Coefficiente de Variación	3.737	%
Error Porcentual	2.158	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

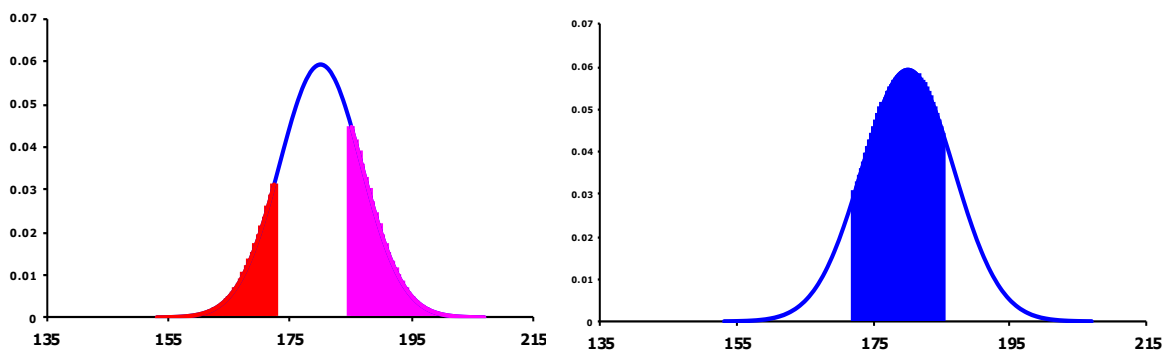


Figura 4.57: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura 14 días Curado en Cloruros

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 12.83\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 22.57\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 64.60\%$$

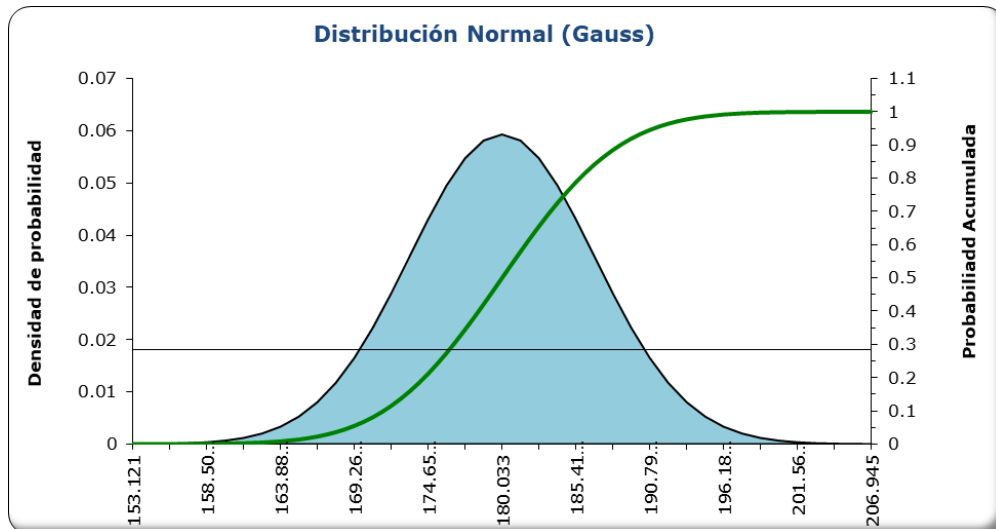


Figura 4.58: *Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Cloruros*

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.13. *Resultados de Muestras de Concreto con cemento Tipo I - 14 días Curado en Sulfatos.*

Tabla 4.28: *Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Sulfatos*

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 14 Días Concreto con Cemento Tipo I - Curado en Sulfatos	62	183.00
	63	164.30
	64	182.40
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	164.300	kg/cm2
Máximo	183.000	kg/cm2
Rango	18.700	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	176.567	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	24.533	
Dispersión Media	8.178	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	112.943	
Desviación Estándar o Normal σ_x	10.627	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	6.136	
Valor Más Probable	176.567	± 6.136
Coefficiente de Variación	6.019	%
Error Porcentual	3.475	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

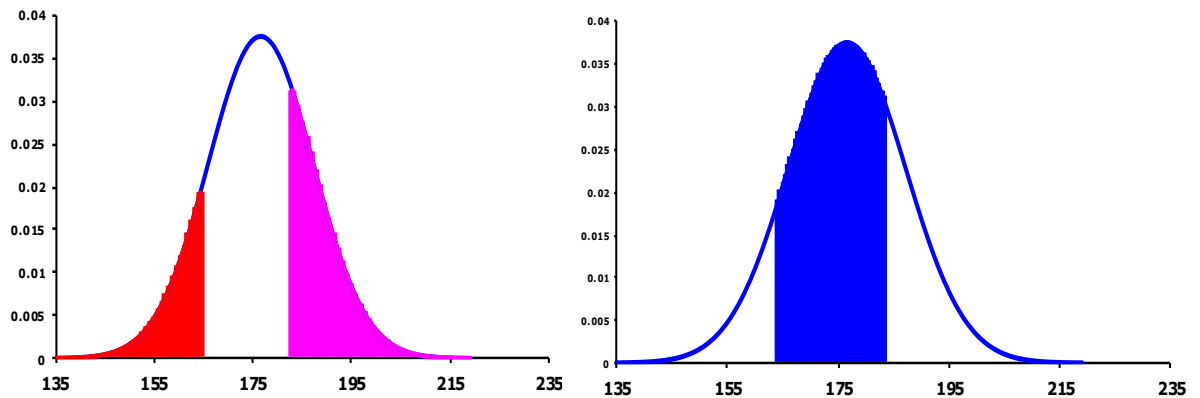


Figura 4.59: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Sulfatos

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 12.42\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 27.25\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 60.33\%$$

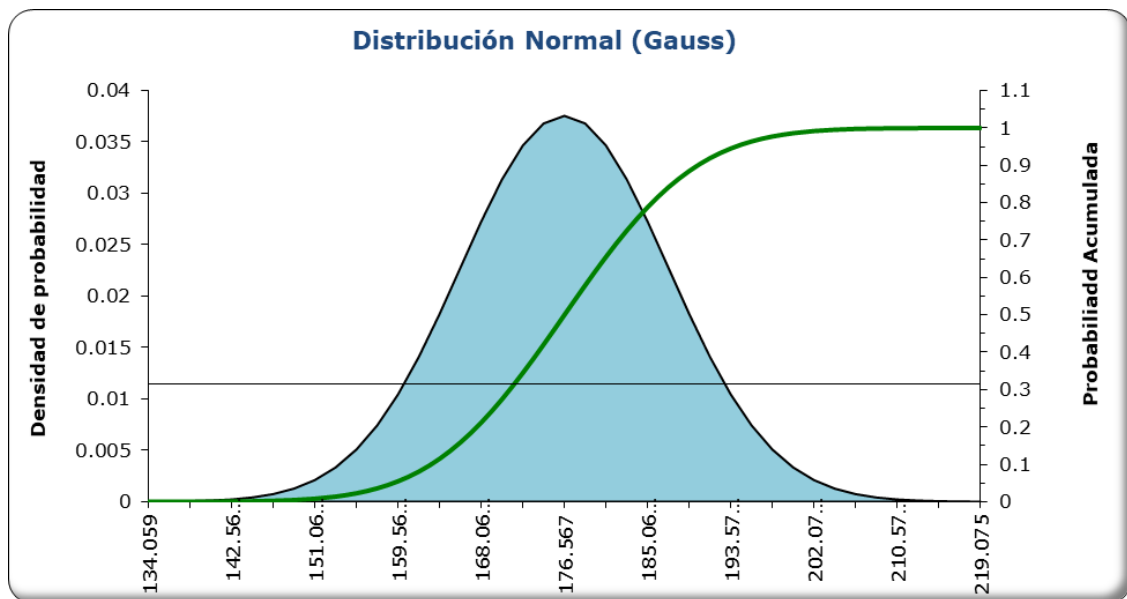


Figura 4.60: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 14 días Curado en Sulfatos

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.14. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Sulfatos.

Tabla 4.29: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Sulfatos

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 14 Días Concreto con Cemento HS Yura- Curado en Sulfatos	45	178.40
	46	182.00
	47	184.70
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	178.400	kg/cm2
Máximo	184.700	kg/cm2
Rango	6.300	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	181.700	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	6.600	
Dispersión Media	2.200	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	9.990	
Desviación Estándar o Normal σ_x	3.161	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	1.825	
Valor Más Probable	181.700	± 1.825
Coefficiente de Variación	1.740	%
Error Porcentual	1.004	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

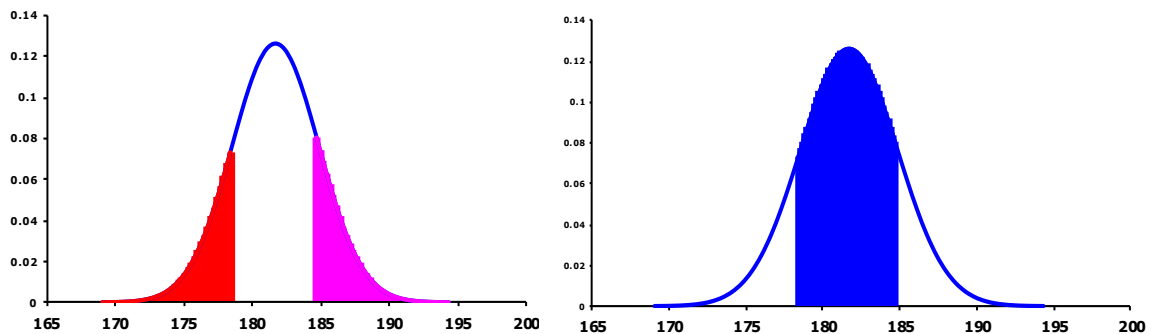


Figura 4.61: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Sulfatos

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 14.82\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 17.13\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 68.05\%$$

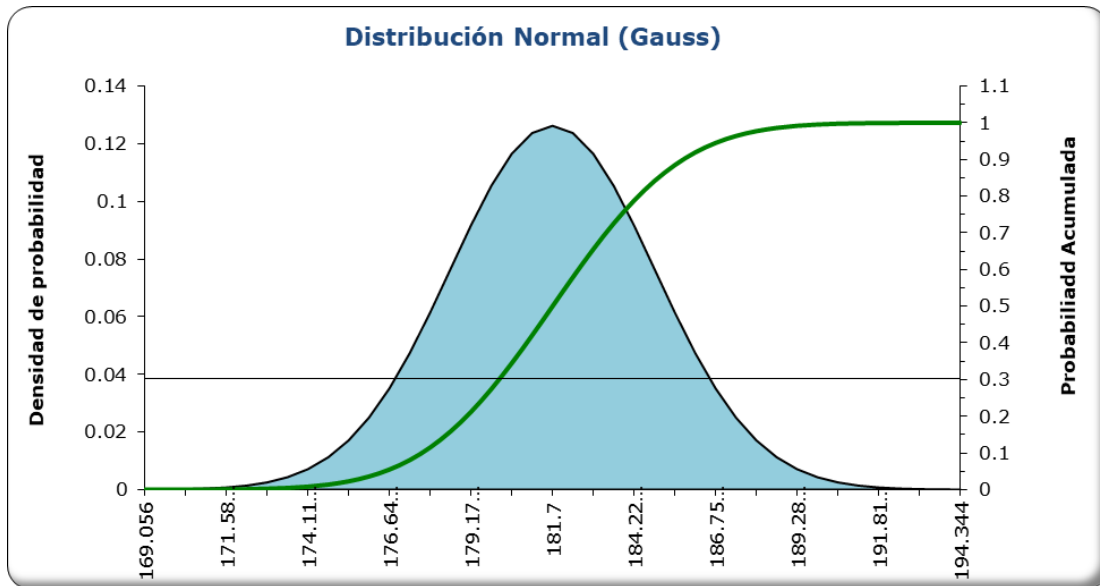


Figura 4.62: *Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 14 días Curado en Sulfatos*

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.15. *Resultados de Muestras de Concreto con Cemento Tipo I - 28 días* *- Grupo de Control.*

Tabla 4.30: *Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días - Grupo de Control*

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 14 Días Concreto con Cemento Tipo I Curado en Agua Potable	15	215.20
	16	208.60
	17	202.70
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	202.700	kg/cm ²
Máximo	215.200	kg/cm ²
Rango	12.500	kg/cm ²
Número de datos	3	
Valor promedio	208.833	kg/cm ²
Valor Absoluto de la Dispersión	12.733	
Dispersión Media	4.244	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	39.103	
Desviación Estándar o Normal σ_x	6.253	kg/cm ²
Incertidumbre o Error Típico	3.610	
Valor Más Probable	208.833	\pm 3.610
Coefficiente de Variación	2.994	%
Error Porcentual	1.729	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

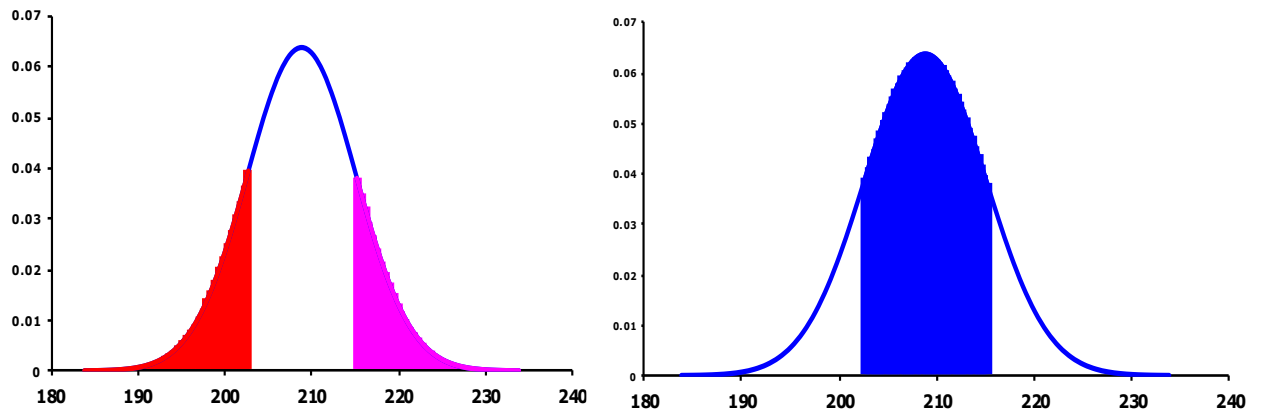


Figura 4.63: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días - Grupo de Control

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 16.33\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 15.43\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 68.24\%$$

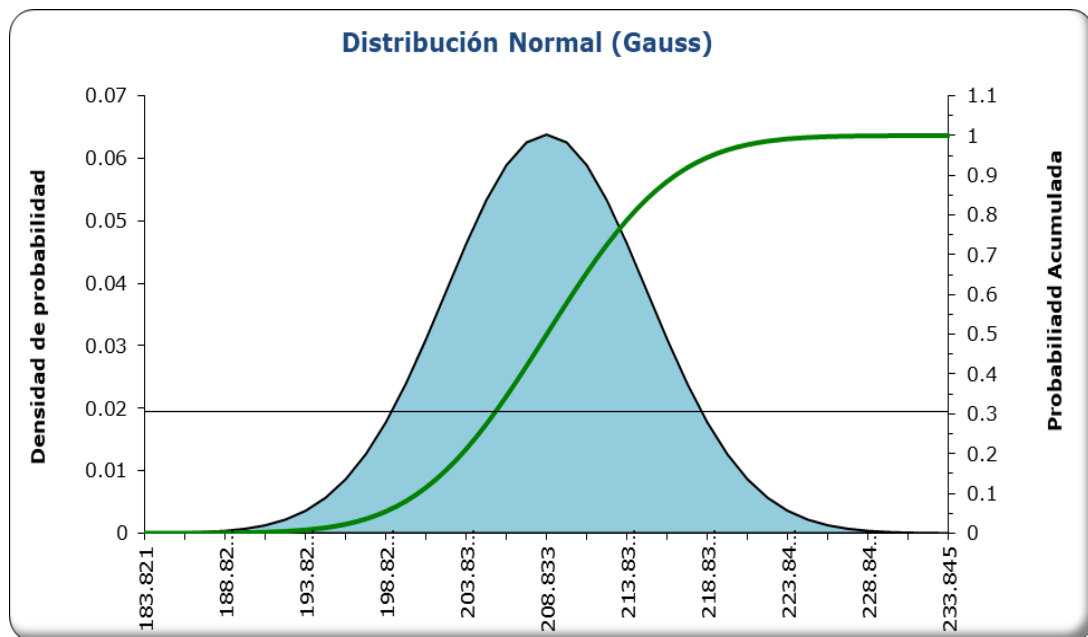


Figura 4.64: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días - Grupo de Control

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.16. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 28 días - Grupo de Control.

Tabla 4.31: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días - Grupo Control.

Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 28 Días Concreto con Cemento HS Yura Curado en Agua Potable	Muestra	f'c (Xi)
	11	215.90
	12	213.40
	13	217.30

Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	213.400	kg/cm2
Máximo	217.300	kg/cm2
Rango	3.900	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	215.533	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	4.267	
Dispersión Media	1.422	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	3.903	
Desviación Estándar o Normal σ_x	1.976	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	1.141	
Valor Más Probable	215.533	± 1.141
Coficiente de Variación	0.917	%
Error Porcentual	0.529	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

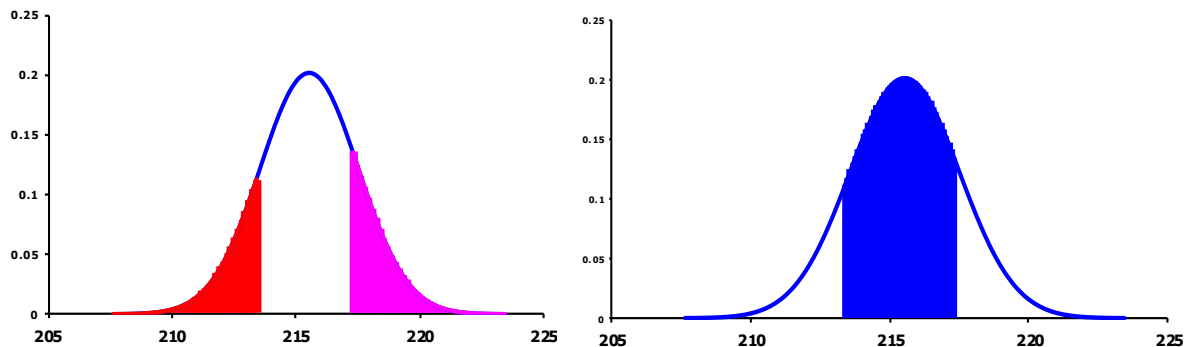


Figura 4.65: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días - Grupo de Control

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 16.33\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 15.43\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 68.24\%$$

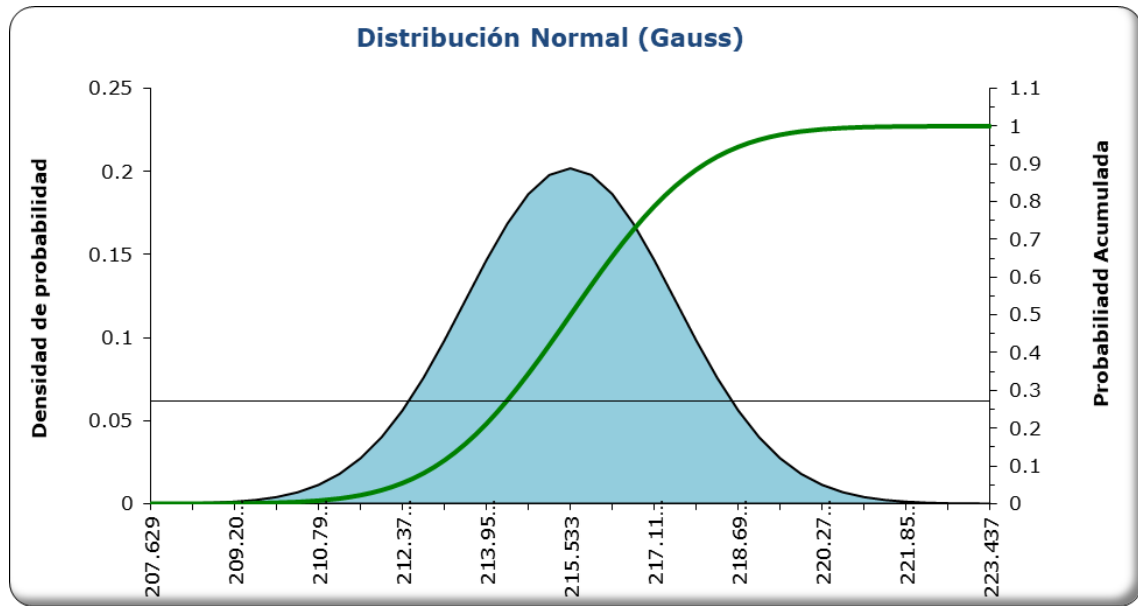


Figura 4.66: *Distribución Normal: Concreto con Cemento HS YURA - 28 días - Grupo de Control*

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.17. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Cloruros.

Tabla 4.32: *Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Cloruros*

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 28 Días Concreto con Cemento Tipo I - Curado en Cloruros	19	207.70
	20	214.10
	21	187.30
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	187.300	kg/cm2
Máximo	214.100	kg/cm2
Rango	4.600	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	203.033	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	31.467	
Dispersión Media	10.489	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	195.893	
Desviación Estándar o Normal σ_x	13.996	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	8.081	
Valor Más Probable	203.033	± 8.081
Coefficiente de Variación	6.894	%
Error Porcentual	3.980	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

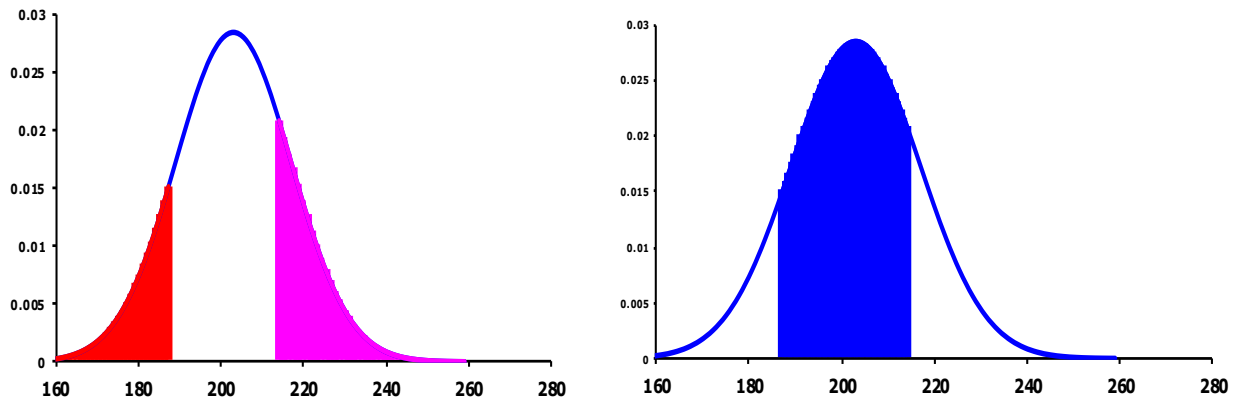


Figura 4.67: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Cloruros

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 13.05\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 21.46\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 65.50\%$$

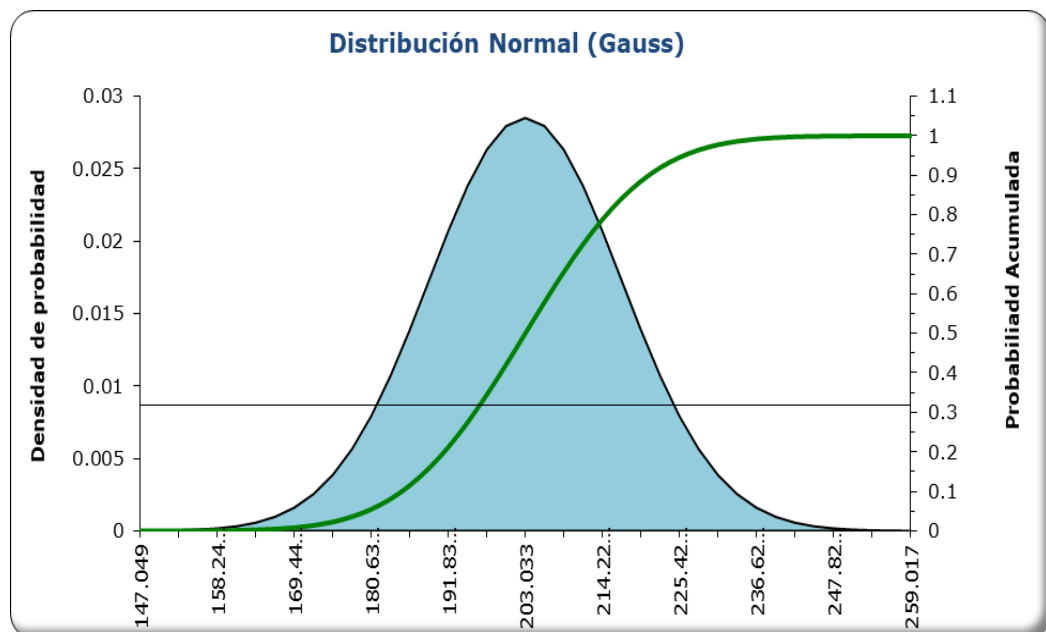


Figura 4.68: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Cloruros

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.18. *Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Cloruros.*

Tabla 4.33: *Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Cloruros*

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 28 Días Concreto con Cemento Hs Yura - Curado en Cloruros	1	222.40
	2	208.30
	3	194.70
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	194.700	kg/cm2
Máximo	222.400	kg/cm2
Rango	27.700	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	208.467	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	27.867	
Dispersión Media	9.289	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	191.843	
Desviación Estándar o Normal σ_x	13.851	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	7.997	
Valor Más Probable	208.467	± 7.997
Coefficiente de Variación	6.644	%
Error Porcentual	3.836	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

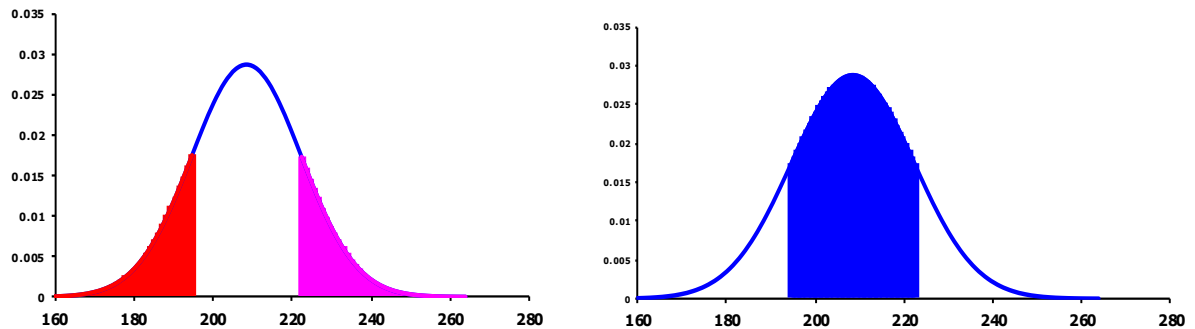


Figura 4.69: *Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Cloruros*

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 16.33\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 15.43\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 68.24\%$$

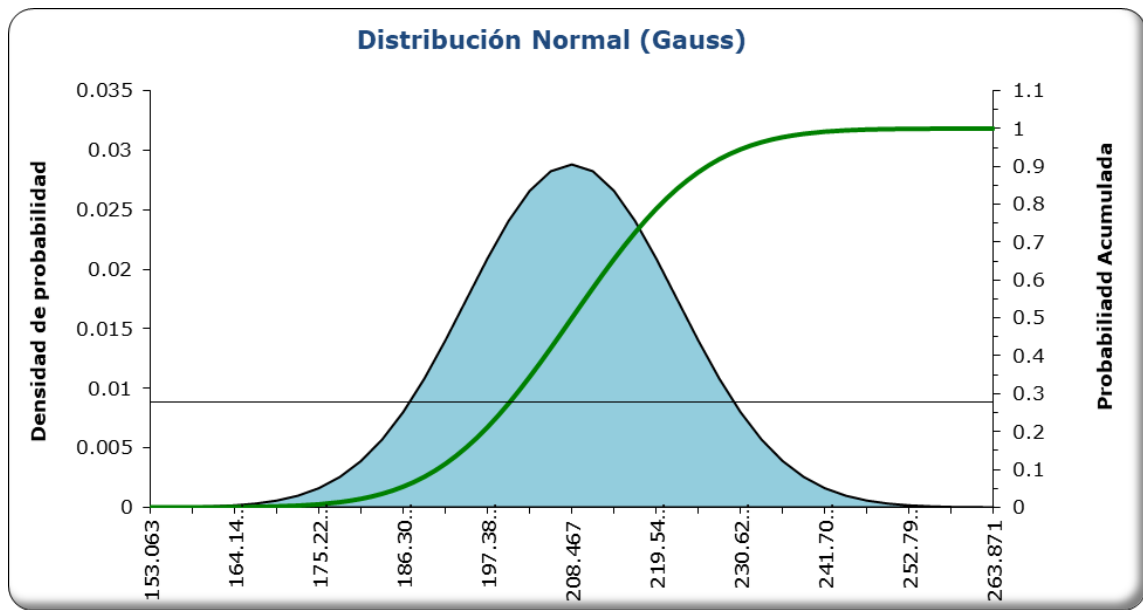


Figura 4.70: *Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Cloruros*

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.19. *Resultados de Muestras de Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Sulfatos.*

Tabla 4.34: *Análisis Estadístico: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Sulfatos*

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 28 Días Concreto con Cemento Tipo I - Curado en Sulfatos	22	207.50
	23	175.20
	24	173.80
Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	173.800	kg/cm ²
Máximo	207.500	kg/cm ²
Rango	33.700	kg/cm ²
Número de datos	3	
Valor promedio	185.500	kg/cm ²
Valor Absoluto de la Dispersión	44.000	
Dispersión Media	14.667	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	363.490	
Desviación Estándar o Normal σ_x	19.065	kg/cm ²
Incertidumbre o Error Típico	11.007	
Valor Más Probable	185.500	± 11.007
Coefficiente de Variación	10.278	%
Error Porcentual	5.934	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

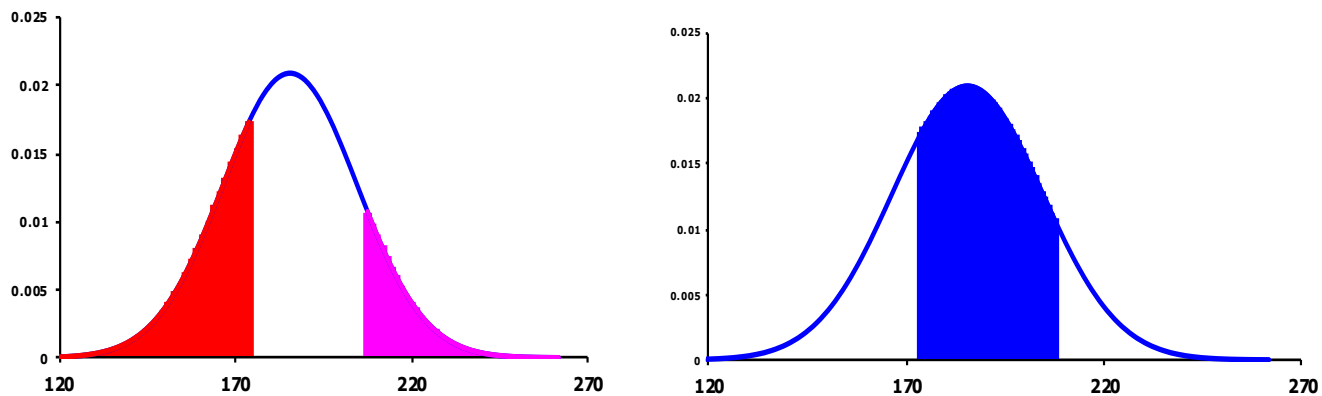


Figura 4.71: Probabilidad: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Sulfatos

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 26.97\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 12.43\%$$

$$\Pr(x_{\min} < x < x_{\max}) = 60.60\%$$

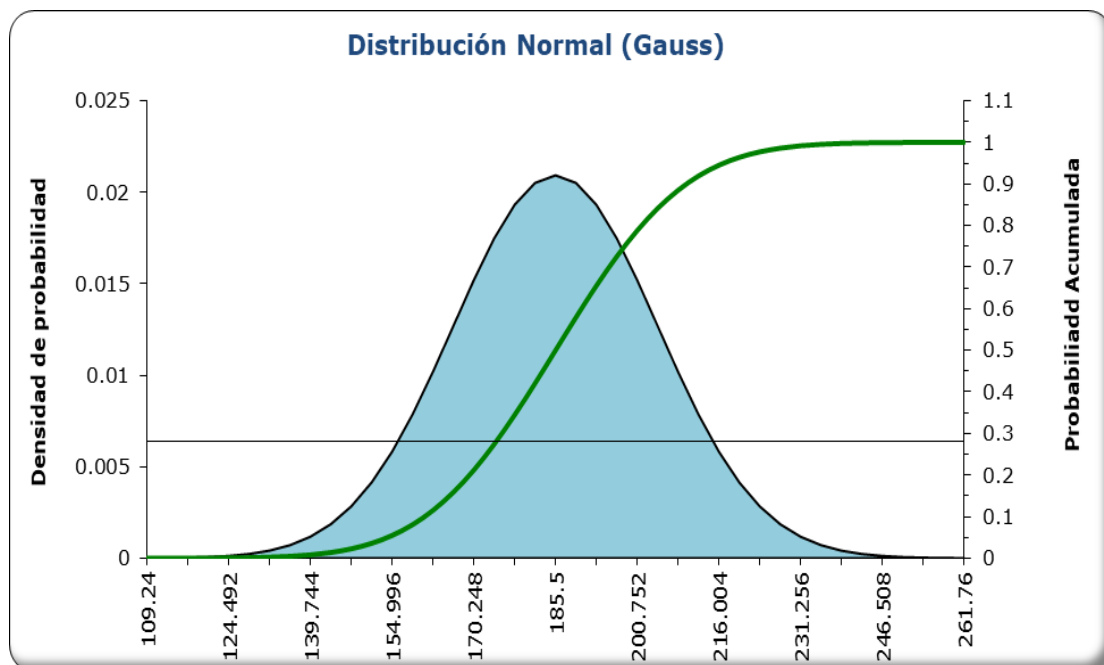


Figura 4.72: Distribución Normal: Concreto con Cemento Tipo I - 28 días Curado en Sulfatos

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.1.20. Resultados de Muestras de Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Sulfatos.

Tabla 4.35: Análisis Estadístico: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Sulfatos

	Muestra	f'c (Xi)
Resistencia a la Compresión (f'c) Obtenidas a los 28 Días Concreto con Cemento Hs Yura - Curado en Sulfatos	8	200.60
	9	191.60
	10	203.90

Variable Estadística	Valor	Unid.
Mínimo	191.600	kg/cm2
Máximo	203.900	kg/cm2
Rango	12.300	kg/cm2
Número de datos	3	
Valor promedio	198.700	kg/cm2
Valor Absoluto de la Dispersión	14.200	
Dispersión Media	4.733	
Varianza o Dispersión Cuadrática Media	40.530	
Desviación Estándar o Normal σ_x	6.366	kg/cm2
Incertidumbre o Error Típico	3.676	
Valor Más Probable	198.700	± 3.676
Coefficiente de Variación	3.204	%
Error Porcentual	1.850	%

Nota: Es el resultado de probetas elaboradas con cemento HS Yura, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

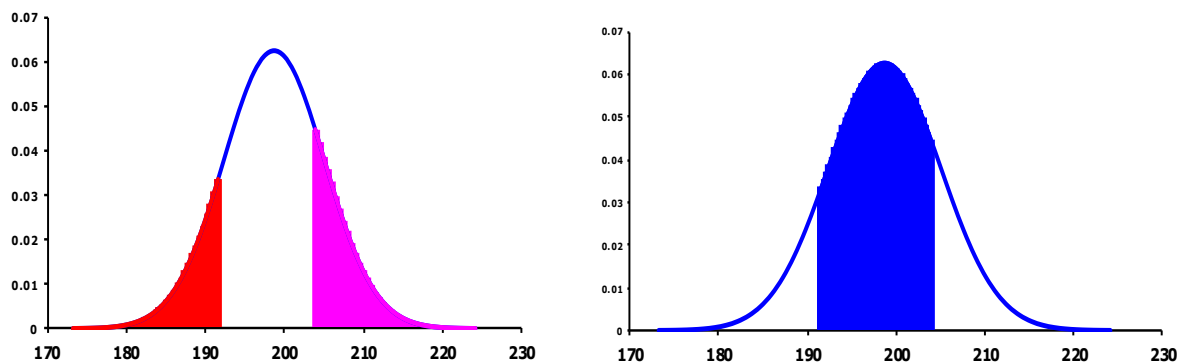


Figura 4.73: Probabilidad: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Sulfatos

Nota: Debajo de la figura representamos con rótulos de colores la probabilidad por intervalos limitados por los valores Mínimo y Máximo, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Pr(x < x_{\min}) = 16.33\%$$

$$\Pr(x > x_{\max}) = 15.43\%$$

$$\Pr(X_{\min} < X < X_{\max}) = 68.24\%$$

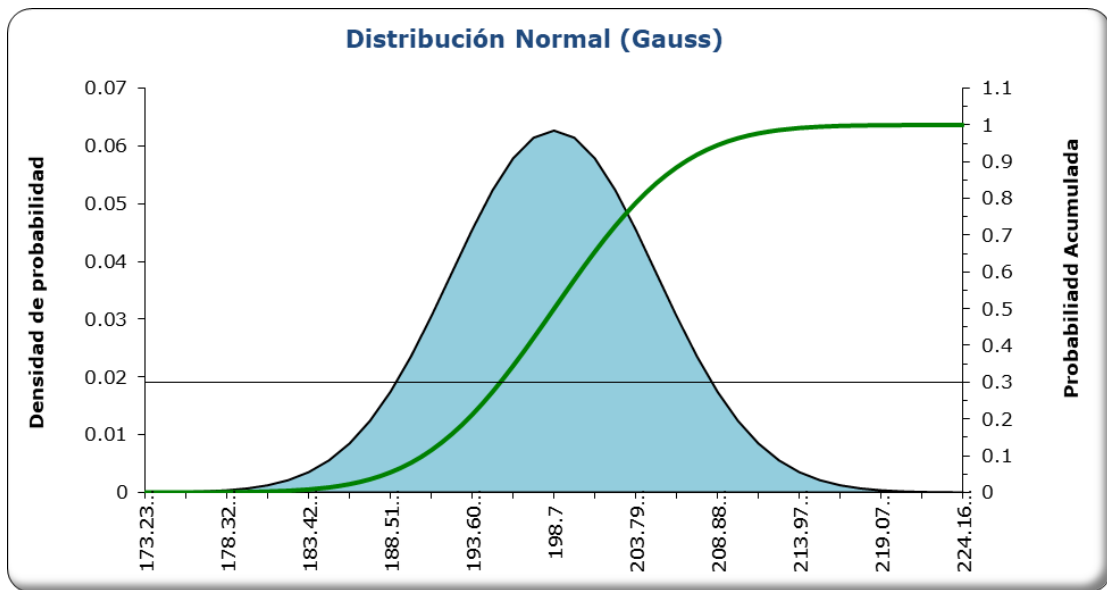


Figura 4.74: Distribución Normal: Concreto con Cemento HS Yura - 28 días Curado en Sulfatos

Nota: La Línea Verde representa la Probabilidad Acumulada, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.2. Interpretación de los Valores de Desviación Estándar.

Las fórmulas y criterios de diseño estructural involucran una serie de factores de seguridad que tienden a compensar las variaciones entre los resultados. El % pruebas que pueden admitirse por debajo del $f'c$ especificado va a depender de:

- El expediente Técnico
- El Reglamento de Diseño
- El diseñador

Cualquiera que sea el criterio, se traduce como la resistencia del concreto requerida en obra $f'cr$ debe tener un valor por encima del $f'c$, este valor se representa como:

$$f'cr = f'c + tD_s \quad \delta \quad f'cr = \frac{f'c}{1 - tV}$$

Dónde:

$f'cr$ = Resistencia promedio requerida en obra

$f'c$ = Resistencia especificada

D_s = Desviación Estándar

Ahí vemos que la desviación estándar es determinante para ajustar el valor real de la resistencia a la compresión del concreto debido a los valores diversos de desviación estándar ajustaremos los valores de acuerdo con la norma ACI 308.

4.5.2.1. *Criterios del Reglamento del ACI 318*

Ensayo de resistencia en compresión = Promedio de ensayo de 2 Probetas obtenidas de una misma muestra de concreto y que han sido curadas bajo condiciones controladas a 28 días.

El nivel de resistencia de una determinada clase de concreto se considerará satisfactorio si se cumplen los siguientes requisitos:

- El promedio de todos los grupos de 3 ensayos de resistencia en compresión consecutivos sea $f'c$

$$f'cr = f'c + 1.34D_s$$

- Ningún ensayo de resistencia debe ser menor que $f'c$ en más de 35 Kg/cm²

$$f'cr = f'c - 35 + 2.33D_s$$

Tabla 4.36: *Desviación Estándar de Ensayos de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo IP Rumi*

Tipo de Curado	Tiempo de Curado		
	7 días	14 días	28 días
Control (agua potable)	1.21	5.95	6.25
Curado en Cloruro de Sodio	1.46	2.50	14.00
Curado en Sulfato de Magnesio	1.92	10.63	19.07

Nota: Se observa mayor dispersión de datos en sulfatos que en cloruros al presentar cifras altas se corregirá en mayor medida el valor a tomar en cuenta, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4.37: *Desviación Estándar de Ensayos de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento HS Yura*

Tipo de Curado	Tiempo de Curado		
	7 días	14 días	28 días
Control (agua potable)	3.31	6.46	1.98
Curado en Cloruro de Sodio	7.06	6.73	13.85
Curado en Sulfato de Magnesio	6.04	3.16	6.37

Nota: Se observa mayor dispersión de datos en cloruros que en sulfatos al presentar cifras altas se corregirá en mayor medida el valor a tomar en cuenta, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El valor máximo de desviación estándar y del coeficiente de variación se presentó en el ensayo del concreto con cemento Tipo I sometido a curado en Sulfatos, el mismo que presento resultados muy dispersos pero de baja resistencia respecto al valor de las muestras control, este fenómeno puede darse por precipitación del sulfato de Magnesio suspendido en el agua de curado, así se vieron más afectadas las probetas de la parte inferior de los depósitos de curado.

De acuerdo a la tabla de Valores de dispersión tenemos el valor máximo de 19.07 kg/cm² y un mínimo de 1.21 kg/m² de desviación estándar que encaja entre Bueno a Excelente, mientras que evaluando el Coeficiente de Variación tenemos un máximo de 10.278% y un mínimo de 0.845% como se puede ver en las tablas 4.37 y 4.38

Tabla 4.38: *Coeficiente de Variación en % de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento Tipo IP Rumi*

Tipo de Curado	Tiempo de Curado		
	7 días	14 días	28 días
Control (agua potable)	0.845	3.287	2.994
Curado en Cloruro de Sodio	0.997	1.437	6.894
Curado en Sulfato de Magnesio	1.329	6.019	10.278

Nota: Es el cuadro resumen de los errores porcentuales entre valores obtenidos de las distintos grupos de probetas, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4.39: *Coficiente de Variación en % de Resistencia a la Compresión Simple de Muestras con Cemento HS Yura Antisalitre*

Tipo de Curado	Tiempo de Curado		
	7 días	14 días	28 días
Control (agua potable)	2.265	3.141	0.917
Curado en Cloruro de Sodio	4.839	3.737	6.644
Curado en Sulfato de Magnesio	4.155	1.740	3.204

Nota: Es el cuadro resumen de los errores porcentuales entre valores obtenidos de las distintos grupos de probetas, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo a los valores obtenidos de desviación estándar todas quedan por debajo del valor de tolerancia de la norma que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.40: *Valores de Dispersión en el Control del Concreto*

Dispersión Total					
Clase de Operación	Desviación Estándar para Diferentes Grados de Control (Kg/cm ²)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	>49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	>24.6
Dispersión entre Testigos					
Clase de Operación	Coficiente de Variación V para Diferentes Grados de Control (%)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	>6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	>5.0

Fuente: Control estadístico en el concreto <https://www.monografias.com/trabajos70/control-estadistico-concreto/control-estadistico-concreto2.shtml>

El Coeficiente de variación obtenido cuando las probetas son sometidas a curado en sulfatos y cloruros alcanza cifras superiores a 5%, esta dispersión de cifras entre probetas puede explicarse debido a la precipitación del componente activo en el agua teniendo diferentes grados de degradación entre los testigos.



V. CONCLUSIONES

Terminada la investigación podemos concluir en varios puntos:

- Se pudo determinar varios mecanismos de degradación del concreto cuando están en contacto a medios agresivos de sulfatos y cloruros, además de tener alternativas para mitigar o prevenir sus efectos,
- El ataque de sulfatos y cloruros afectan de forma directa a la resistencia a la compresión simple del concreto independientemente que sea elaborado con cemento IP o HS, el concreto presento menores valores de resistencia a la compresión simple y se hace más evidente con el transcurrir del tiempo.
- El concreto elaborado con cemento HS Antisalitre presento mejor comportamiento a la compresión simple frente al concreto elaborado con cemento IP que más se usa en la región en pruebas control y en aquellas que fueron sometidas a ataques de sulfatos y cloruros.
- A mayor relación a/c menor absorción del concreto, la relación entre la velocidad capilar y la relación a/c es directa y varia de forma exponencial.
- El concreto elaborado con cemento HS antisalitre tuvo menores valores de absorción frente al que fue elaborado con el cemento IP. Por ende nos proporciona mejores condiciones de trabajo en suelos con alto contenido de sulfatos y cloruros.
- De los resultados obtenidos en ensayos se concluye que la hipótesis es nula, ya que el cemento antisalitre atenúa, pero no evita por completo los daños producidos por cloruros y sulfatos en el concreto.
- Existe cierto grado de información sobre las patologías del concreto sometido ataques de humedad de los alumnos de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la UNAP, predominando entre muy poca a regular. Y existe una



elevada identificación del problemas en edificaciones debido a la humedad, muchos declararon que identificaron el problema entre muchas veces y regularmente.



VI. RECOMENDACIONES

Una vez realizado la presente investigación y al observar que los problemas provocados por la humedad proveniente del suelo en las viviendas, existen y afectan a las edificaciones podemos recomendar:

- Evaluar e investigar si existe problemas en edificaciones cercanas a los proyectos a realizar, para evitar tener problemas por humedad proveniente del suelo. Por ende al momento de realizar un proyecto, sin importar la magnitud que éste tenga, es imprescindible realizar a través de un profesional idóneo un estudio de suelos.
- En suelos con alto contenido en sulfatos, cloruros se debe proceder a elegir el mejor método para lograr aislar las cimentaciones de la vivienda para así evitar el contacto entre el suelo y la edificación. Dicha elección debe ser tomada en base a los recursos que se pueden invertir y a la eficiencia de los métodos ofrecidos. Se recomienda utilizar una solución del tipo de membranas impermeables. Si además se está en presencia de napa superficial, es recomendable realizar un aislamiento de toda la cimentación con cualquier tipo de aislantes antes del vaciado de cimientos corridos y zapatas, se puede usar polietileno, bolsas de cemento si estas tienen plástico en su composición, de tal forma que evitara que el suelo absorba la lechada y provoque una estructura porosa.
- El uso del cemento antisalitre en cimentaciones reducirá la velocidad de absorción capilar en gran proporción cosa que nos ayudara a proteger la estructura frente a sulfatos y sales que pueden estar en el suelo o estar en los agregados que al entrar en contacto con el agua terminan disolviéndose.
- En esta época que se está dando la debida importancia a la contaminación del



planeta por diversos agentes, urge evaluar el impacto de la construcción con concreto armado, así como evitar demoliciones, hacer estructuras durables para tener menor impacto en el medio ambiente y menor huella de carbono.

- Es necesario incluir en la formación académica mediante clases o trabajos la información sobre la prevención y medidas correctivas sobre el concreto sometido a ataques de humedad, degradación química, degradación por intemperancia, degradación biológica, etc. Tenemos que incidir que la encuesta básicamente se basa en la información que proporcionaron los estudiantes que respondieron de forma subjetiva, pero que no es validado al no presentarse ninguna evaluación sino un cuestionario en los cuales se confía en la percepción de los estudiantes.
- Como horizonte futuro a la presente investigación sería recomendable realizar una con periodos más largos de curado en soluciones de cloruros y sulfatos, diversos autores indican que el efecto de los cloruros es ninguno, pero en la presente se determinó que si alteran la resistencia a la compresión simple del concreto por consiguiente si genera una degradación del mismo.
- También sería recomendable investigar sobre el uso y la eficacia de otros métodos que sirven para prevenir y para reparar estructuras que son dañadas con sulfatos y cloruros. Como el uso de membranas, barreras, aditivos reductores de agua para bajar la velocidad por absorción capilar. Se presenta un abanico de posibilidades para realizar futuras investigaciones.



VII. REFERENCIAS

- Abanto Castillo, T.F (1997): *Tecnología del Concreto*, Lima: Editorial San Marcos.
- Adam Neville y J.J. Brooks. (1998) *Tecnología del Concreto*. México D.F: Trillas.
- Aguilar V. J. (2013) “*Influencia del Deterioro por Corrosión del Acero Sobre la Recalcalinización del Concreto*”, Nuevo León, México Universidad de Nuevo León.
- Avendaño A. A. (2000) “*Corrosión del Concreto de Mediana a Baja Resistencia por Acción del Cloruro de Sodio con Cemento Portland Tipo I*”, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería
- Espejo A. H. (2004) “*Corrosión del Concreto por Cloruro de Sodio*”, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Fernández C. Juan P. (2008) “*Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones*”. Santiago: Universidad de Chile.
- Garzón Pire, William. (2013) *Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gerardo A. Rivera L. *Concreto Simple*. Popayán Colombia: Universidad del Cauca.
- Kosmatka, Steven H. Kerkhoff, William C; Panarese y Tanesi, Jussara (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Skokie. Illinois: Portland Cement Association
- Muñoz, H. A. (2001) *Evaluación de Patologías de Estructuras en Concreto*. Bogotá: Instituto del Concreto Asocreto
- Pasquel Carbajal, E. (1993) *Tópicos de Tecnología del Concreto*, Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Pkmehta Kumar Mehta, Povindar K. Mehta (1986) *Structure, Properties, and Materials*, Prentice-Hall
- Portugal B. (2007) *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*, Paris: Imprimerie Lafayette



Constructor Civil, (2011), Recuperado de:

<https://www.elconstructorcivil.com/2011/04/tratamiento-electro-osmotico-contrala.html>

Fuentes F. (2009) Recuperado de: <https://www.monografias.com/trabajos70/control-estadistico-concreto/control-estadistico-concreto.shtml>

Normas Y Reportes

ASTM C 31/ C 31M. (2003). *Práctica Estándar para Fabricación y Curado de Especímenes de Concreto*. Estados Unidos: American Society for Testing and Materials Internacional.

ASTM C39/C39M. (2014). *Método de Prueba Estándar para Resistencia a la Compresión de los Especímenes Cilíndricos de Concreto*. Estados Unidos: American Society for Testing and Materials Internacional.

ASTM C 293-02. (2002). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*. Estados Unidos: American Society for Testing and Materials Internacional.

ASTM C 1585 – 04e1. (2007) *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes*1.

INDECOPI, *Normas NTP*, www.indecopi.gob.pe/bvirtual/normalizacion.htm

NTP_400.012. (2002). *Análisis Granulométrico del Agregado Fino y Grueso Global*. Lima, Perú: Norma Técnica Peruana.

NTP_400.021. (2002). *Método de Ensayo Normalizado para Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso*. Lima, Perú: Norma Técnica Peruana.

ANEXOS

A. Fotografías de la Granulometría



Nota: Se observa el pesaje de los agregados Fino y Grueso, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se puede observar el tamaño aparente del agregado grueso, y a la derecha observamos las taras con material de distinta granulometría, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa el proceso de tamizado y el pesado de material de diferente tamaño de los agregados Fino y Grueso, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. Fotografías de Determinación de Pesos Unitarios y Absorción de Agregados



Nota: Se observa el equipo para determinar el peso unitario suelto y compactado de agregado, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa llenado del molde para determinar el peso unitario suelto y compactado de agregado,
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa el secado superficial del agregado Grueso para determinar la absorción en agregados,
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa el equipo para determinar el porcentaje de absorción de agregado fino, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa el secado superficial del agregado fino, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. Fotografías de la Elaboración de Probetas



Nota: Se observa el llenado de moldes para la elaboración de probetas con concreto con cemento Tipo I,
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa el llenado de moldes colocando 2 capas a 24 golpes cada una para la elaboración de probetas con concreto con cemento Tipo I, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa el llenado de moldes para la elaboración de probetas con concreto con cemento HS Yura Antisalitre, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa las probetas con concreto con cemento HS Yura Antisalitre esperando para el desencofrado, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

D. Fotografías de Curado de Probetas



Nota: Se observa el curados de probetas con concreto con cemento HS Yura Antisalitre en soluciones de Cloruros y Sulfatos, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Nota: Se observa la extracción de probetas con concreto con cemento HS Yura Antisalitre y Tipo I del curado en diferentes soluciones, Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo