ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

PROTECCIÓN ANTICORROSIVA DEL ACERO MEDIANTE EL USO DE PINTURAS ALQUÍDICAS CON PIGMENTOS DE ÓXIDO DE HIERRO EN ATMÓSFERAS URBANA Y SUBTROPICAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

ANDRÉS FRANCISCO RIBADENEIRA CABRERA

andresribadeneira@gmail.com

DIRECTOR: DR. FRANCISCO CADENA V.

francisco.cadena@epn.edu.ec

Quito, DM, Noviembre, 2008

© Escuela Politécnica Nacional 2008
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACION

Yo, Andrés Francisco Ribadeneira Cabrera declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Andrés Francisco Ribadeneira Cabrera

CERTIFICACION

Certifico que el siguiente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Andrés Francisco Ribadeneira Cabrera como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Químico.

_____

Dr. Francisco Cadena Villota

AUSPICIO

La presente investigación contó con los auspicios financieros de los proyectos: “Obtención de Sistemas Anticorrosivos Libres de Cromatos” CONESUP-FUN 08, y “Pymes” VVOB; que se ejecutan en el Departamento de Materiales.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar mi vida a través de un largo camino de aprendizaje cuyo propósito es la felicidad.

A mi familia, en especial a mis padres, hermano y abuelos por su amor, cariño, paciencia y entrega diaria para construir una vida llena de maravillosas experiencias que dan sentido a la existencia y que nos alientan a seguir adelante.

A la Escuela Politécnica Nacional porque despertó en mí mayor curiosidad por aprender y de esta manera me permitió trazar mayores retos para mi éxito personal y profesional.

Al Dr. Francisco Cadena por dejarme ser partícipe del proyecto planteado y darme la oportunidad de conocer cosas nuevas que contribuyeron para mi desarrollo. Gracias por su confianza y amistad.

Al Dr. Luis Lascano y al Ing. Francisco Quiroz por la colaboración, lectura y revisión del presente proyecto de titulación.

Al Dr. Iván Chango por su amistad, atención cordial y apoyo ante cualquier inquietud formulada.

A Jéssica por ser tan importante en mi vida; gracias por tu ánimo, dedicación, apoyo y comprensión en todos los momentos; realmente deseo que cumplas todos tus sueños y todas tus metas.

A todos los amigos que la vida me ha dado el privilegio y la oportunidad de conocer, con ustedes he compartido ideas, alegrías, tristezas, triunfos, fracasos y esperanzas. Gracias por su simpatía y aprecio!

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos sus futuros lectores, ya que ustedes son el medio para que esta investigación se conozca, se transmita, se evalúe, se corrija y se mejore continuamente; espero que sea útil para su búsqueda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN ..... **xxi**
INTRODUCCIÓN ..... **xxiii**

1. PARTE TEÓRICA **1**

1.1. SISTEMAS DE PINTURAS **1**
1.1.1. FORMULACIÓN 1
1.1.1.1. Concentración de Pigmento en Volumen (PVC) 2
1.1.2. RESINAS ALQUÍDICAS 5
1.1.2.1. Clasificación 5
1.1.2.1.1. Longitud de Aceite 5
1.1.2.1.2. Porcentaje de Anhídrido Ftálico 6
1.1.2.2. Propiedades y Usos 6
1.1.3. PIGMENTOS 7
1.1.3.1. Pigmentos Primarios 8
1.1.3.1.1. Óxidos de Hierro 8
1.1.3.1.2. Óxido de Hierro Micáceo 9
1.1.3.2. Pigmentos Extendedores o Cargas 11
1.1.3.2.1. Carbonato de Calcio 11
1.2. DEGRADACIÓN DE MATERIALES EN LA ATMÓSFERA **12**
1.2.1. CORROSIÓN DEL ACERO 12
1.2.1.1. Características 12
1.2.1.2. Control de la Corrosión 14
1.2.1.3. Estándar ASTM D610-01 15
1.2.2. DEGRADACIÓN DE PINTURAS 16
1.2.2.1. Degradación de Resinas Alquídicas 16
1.2.3. VARIABLES MEDIO AMBIENTALES 18
1.2.3.1. Luz 18
1.2.3.2. Calor y Temperatura 20
1.2.3.3. Humedad 20
1.2.3.4. Contaminantes 21
1.2.4. AMBIENTES 22
1.2.4.1. Subtropical 22
1.2.4.2. Urbano 22
1.2.4.3. Industrial 23
1.2.4.4. Marino 23
1.2.4.5. Rural 24
1.3. ENSAYOS ACELERADOS **25**
1.3.1. CÁMARA SALINA 25
1.3.1.1. Características 25
1.3.1.2. Funciones 26
1.3.1.2.1. Niebla Salina 26
1.3.1.2.2. Secado Forzado 27
1.3.1.2.3. Humedad 27

1.3.1.2.4. Dwell (Sin acción) 28
1.3.1.3. Estándares 28
1.3.1.3.1. ASTM B117-07 28
1.3.1.3.2. Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5) 29
1.3.2. CÁMARA DE ARCO DE XENÓN 31
1.3.2.1. Características 31
1.3.2.1.1. Tipos de Lámparas 32
1.3.2.1.2. Irradiación 33
1.3.2.1.3. Filtros 33
1.3.2.2. Estándares 34
1.3.2.2.1. ASTM G155-00a$^{\varepsilon 1}$ 34
1.3.2.2.2. ASTM D6695-03b 34

2. PARTE EXPERIMENTAL 36

2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS 36
2.2. OBJETIVOS…… 38
2.2.1. OBJETIVO GENERAL 38
2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 38
2.3. METODOLOGÍA. 39
2.3.1. MATERIALES UTILIZADOS 40
2.3.1.1. Sustrato Metálico 40
2.3.1.1.1. Preparación 40
2.3.1.1.2. Identificación 42
2.3.1.1.3. Tamaños 43
2.3.1.2. Revestimiento Polimérico 44
2.3.1.2.1. Calcinación y Difracción de Rayos X 45
2.3.1.3. Pupitres Portaprobetas 47
2.3.2. ENSAYOS DE CAMPO 47
2.3.2.1. Estación Quito 48
2.3.2.2. Estación Santo Domingo 48
2.3.3. ENSAYOS ACELERADOS 49
2.3.3.1. Cámara Salina 49
2.3.3.2. Cámara de Arco de Xenón 50
2.3.4. MONTAJE CÁMARA SALINA Q-FOG CCT-600 52
2.3.4.1. Ubicación 52
2.3.4.2. Accesos (Puertas) 53
2.3.4.3. Sistema de Vapor de Escape 53
2.3.4.4. Sistema de Aire Comprimido 53
2.3.4.5. Sistema de Purificación de Agua 54
2.3.4.6. Bases de Concreto (Piso) 57
2.3.4.7. Drenaje 57
2.3.4.8. Suministro Eléctrico 58
2.3.4.9. Sistema de Portamuestras Colgado 59
2.3.4.10. Rotulación de Seguridad e Identificación 59
2.3.4.11. Instructivos para el uso de equipos 59
2.3.5. MONTAJE CÁMARA DE ARCO DE XENÓN Xe-1-S 60
2.3.5.1. Sistema de Purificación de Agua 61
2.3.5.2. Suministro Eléctrico 63

2.3.5.3. Rotulación de Seguridad e Identificación 63
2.3.5.4. Instructivos para el uso de equipos 63
2.3.6. EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS EN ENSAYOS DE CAMPO Y ACELERADOS..... 64
2.3.6.1. Evaluación Visual 64
2.3.6.1.1. Estándares ASTM 64
2.3.6.1.2. Escala de Grises 65
2.3.6.2. Microscopio 66
2.3.6.3. Espectroscopia de Infrarrojos (IR) 67

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 69

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS 70
3.1.1. CALCINACIÓN..... 70
3.1.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X 71
3.2. RESULTADOS GENERALES DEL DETERIORO DE LOS REVESTIMIENTOS..... 73
3.2.1. RESULTADOS MICROSCOPIO 75
3.2.2. RESULTADOS POR SISTEMA DE PINTURA..... 77
3.2.2.1. Discusión de Resultados 79
3.2.2.2. Sistema Tipo 1..... 81
3.2.2.3. Sistema Tipo 2..... 83
3.2.3. RESULTADOS POR ESTACIÓN 85
3.2.3.1. Discusión de Resultados 87
3.2.3.2. Estación Quito (UIO) 88
3.2.3.3. Estación Santo Domingo (SDM)..... 90
3.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ACELERADOS 93
3.3.1. CÁMARA SALINA 93
3.3.2. CÁMARA DE ARCO DE XENÓN 95
3.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA EXPOSICIÓN ATMÓSFERICA CON LOS ENSAYOS ACELERADOS 98
3.5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS…… 101
3.5.1. SISTEMA TIPO 1 102
3.5.1.1. Ensayos de Campo 103
3.5.1.2. Cámara de Arco de Xenón 111
3.5.2. SISTEMA TIPO 2 113
3.5.2.1. Ensayos de Campo 114
3.5.2.2. Cámara de Arco de Xenón 122
3.6. MECANISMO DE DEGRADACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PINTURAS 124

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 127

4.1. CONCLUSIONES 127
4.2. RECOMENDACIONES..... 129

BIBLIOGRAFÍA 132
ANEXOS 135

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1: Propiedades de las resinas alquídicas según la longitud de aceite. . 6
Tabla 1.2: Clasificación de las resinas alquídicas. 6
Tabla 1.3: Ejemplos de pigmentos primarios y extendedores. 7
Tabla 1.4: Grado de herrumbre según el estándar ASTM D610-01. 15
Tabla 1.5: Clasificación de la región UV de acuerdo a la longitud de onda. 19
Tabla 1.6: Límites máximos permitidos de impurezas en cloruro de sodio (NaCl) para el ensayo de niebla salina (ASTM B117 Standard, 2003). 29
Tabla 2.1: Categorías de las atmósferas de acuerdo a la corrosividad del acero, tiempo de humectación (TDH) y concentración de dióxido de azufre (SO_2) según la norma ISO 9223. 36
Tabla 2.2: Codificación probetas. Segundo componente del código. 42
Tabla 2.3: Tamaños de Probetas 43
Tabla 2.4: Codificación de la Resina Alquídica usada en las Formulaciones de Pintura 44
Tabla 2.5: Caracterización del Pigmento Óxido de Hierro 44
Tabla 2.6: Características de las Formulaciones de Megapinturas 45
Tabla 2.7: Equipos. Preparación de las muestras para difracción de rayos X. 45
Tabla 2.8: Cámara Salina. Condiciones de Exposición. 50
Tabla 2.9: Cámara Salina. Pasos y parámetros del ciclo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A5) 50
Tabla 2.10: Cámara de Arco de Xenón. Condiciones de Exposición. 51
Tabla 2.11: Cámara de Arco de Xenón. Pasos y parámetros del Ciclo 1 (ASTM D6695). 51
Tabla 2.12: Cámara Salina Q-FOG CCT-600 52
Tabla 2.13: Características del Compresor. 53
Tabla 2.14: Cámara Salina. Sistema de Agua. 56
Tabla 2.15: Cámara de Arco de Xenón. Q-Sun Xe-1-S 60
Tabla 2.16: Cámara de Arco de Xenón. Sistema de Tratamiento de Agua..... 62
Tabla 2.17: Escala de Grises NBS. 65

Tabla 3.1: Porcentaje de resina y cargas en los sistemas de pintura por calcinación. 70

Tabla 3.2: Caracterización inorgánica de los sistemas de pintura mediante difracción de rayos X. 71

Tabla 3.3: Cámara de Arco de Xenón. Ensayo ASTM D6695-03b - Ciclo 1. Resultados de la evaluación con la escala de grises NBS a las 250 horas. 97

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1: Componentes de una pintura. 1
Figura 1.2: Concentración Crítica de Pigmento en Volumen (CPVC). 3
Figura 1.3: Relación PVC/CPVC. 4
Figura 1.4: Propiedades del revestimiento según la relación PVC/CPVC. 4
Figura 1.5: Tipos de óxidos de hierro micáceo según laminaridad..... 10
Figura 1.6: Efecto Barrera. 10
Figura 1.7: Tipos de corrosión según el estándar ASTM D610-01. Calificación 3 (16% de corrosión).. 16
Figura 1.8: Espectros FTi.r/PAS. A: Pintura alquídica con pigmento blanco sin degradación. B: Pintura alquídica con dióxido de titanio luego de exposición por 24 horas. 17
Figura 1.9: Variables en ensayos a la intemperie..... 18
Figura 1.10: Ambiente Urbano. Quito-Ecuador. 22
Figura 1.11: Ambiente Industrial. Refinería Estatal Esmeraldas (REE)..... 23
Figura 1.12: Ambiente Marino. Capitanía del Puerto. Esmeraldas-Ecuador. 24
Figura 1.13: Cámara Salina. Función de Niebla Salina y Niebla Saturada. 26
Figura 1.14: Cámara Salina. Función de Secado Forzado..... 27
Figura 1.15: Cámara Salina: Función de Humedad. 28
Figura 1.16: Práctica Estándar ASTM B117-03. 29
Figura 1.17: Práctica Estándar ASTM G85-A.5. 30
Figura 1.18: Tipos de Cámaras de Arco de Xenón.. 31
Figura 1.19: Enfriamiento de la lámpara por circulación de aire. 33
Figura 2.1: Membrete adhesivo colocado a las probetas..... 41
Figura 2.2: Probeta con muesca en equis. 41
Figura 2.3: Preparación de la muestra para difracción de rayos X. 46
Figura 2.4: Estación Quito. Ambiente Urbano. 48
Figura 2.5: Estación Santo Domingo. Ambiente Subtropical. 49
Figura 2.6: Dimensiones Cabina Metálica del Compresor 54
Figura 2.7: Escala de Grises NBS..... 66
Figura 2.8: Microscopio y Equipo de Luz. 67

Figura 3.1: Comparación entre sistemas. Adherencia. Lado Anterior. Muesca en Equis. 74
Figura 3.2: Microscopio. Estación Santo Domingo. Exposición 6 meses. Sistema Tipo 1. 75
Figura 3.3: Microscopio. Estación Santo Domingo. Exposición 6 meses. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. 76
Figura 3.4: Evaluación comparativa entre sistemas. Porcentaje de corrosión vs. Sistemas. Resultados sexto mes. 77
Figura 3.5: Fotografías comparativas entre sistemas. Estación Quito. Lado anterior. Exposición: 6 meses. 78
Figura 3.6: Fotografías comparativas entre sistemas. Estación Santo Domingo. Lado anterior. Exposición: 4 meses. 78
Figura 3.7: Sistema Tipo 1. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior. 81
Figura 3.8: Sistema Tipo 1. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior. 82
Figura 3.9: Sistema Tipo 2. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior. 83
Figura 3.10: Sistema Tipo 2. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior. 83
Figura 3.11: Evaluación comparativa entre estaciones. Porcentaje de corrosión vs. Estaciones. Resultados sexto mes. 85
Figura 3.12: Fotografías comparativa entre estaciones. Sistema Tipo 1. 86
Figura 3.13: Fotografías comparativa entre estaciones. Sistema Tipo 2. 86
Figura 3.14: Estación Quito. Porcentaje de Corrosión en el Sexto Mes. 88
Figura 3.15: Estación Quito. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior. 89
Figura 3.16: Estación Quito. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior. 89
Figura 3.17: Estación Santo Domingo. Porcentaje de Corrosión en el Sexto Mes. Comparación Lado Anterior vs. Lado Posterior. 90
Figura 3.18: Estación Santo Domingo. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior. 92

Figura 3.19: Estación Santo Domingo. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior. 92
Figura 3.20: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Evaluación comparativa entre sistemas. Porcentaje de corrosión a las 250 horas. 93
Figura 3.21: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Exposición 250h. Sistema Tipo 1. Resultados visuales. 94
Figura 3.22: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Exposición 250h. Sistema Tipo 2. Resultados visuales. 95
Figura 3.23: Cámara de Arco de Xenón. Ensayo ASTM D6695-03b - Ciclo 1. Exposición 250h. Fotografías comparativas entre sistemas. Resultados visuales. 96
Figura 3.24: Fotografías comparativa entre exposición atmosférica y ensayos acelerados. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. 98
Figura 3.25: Evaluación comparativa entre ensayos atmosféricos (Quito, Santo Domingo, 6 meses) y acelerado (Cámara Salina, Prohesion, 250 horas). 99
Figura 3.26: Fotografías comparativa entre exposición atmosférica y ensayos acelerados. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. 100
Figura 3.27: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Sin Exposición (Blanco) 102
Figura 3.28: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 103
Figura 3.29: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 105
Figura 3.30: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 107
Figura 3.31: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 109
Figura 3.32: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Ensayo Cámara de Arco de Xenón: ASTM D6695-03b-Ciclo 1. Exposición 250 horas. 111
Figura 3.33: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Sin Exposición (Blanco). 113
Figura 3.34: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 114

Figura 3.35: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 116
Figura 3.36: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 118
Figura 3.37: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 120
Figura 3.38: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Ensayo Cámara de Arco de Xenón: ASTM D6695-03b - Ciclo 1. Exposición 250 horas. 122
Figura 3.39: Mecanismo de degradación de los sistemas de pintura alquídicos con pigmento rojo óxido de hierro. 125

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO I: ESTÁNDARES Y NORMAS

ANEXO II: ESPESORES DE REVESTIMIENTO SECO, USO, ESTACIÓN Y CÓDIGO

Anexo II. 1: Probetas Sistema Tipo 1. Espesores de revestimiento seco inicial, uso, estación y código..... 142

Anexo II. 2: Convenciones..... 142

Anexo II. 3: Probetas Sistema Tipo 2. Espesores de revestimiento seco inicial, uso, estación y código..... 143

Anexo II. 4: Convenciones..... 143

Anexo II. 5: Sistemas Tipo 1 y Tipo 2. Espesores de revestimiento seco: promedio, rango y desviación estándar. 143

ANEXO III: CALCINACIÓN Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Anexo III. 1: Pesos de las Muestras de Pintura Sólida Raspada..... 145

Anexo III. 2: Pesos luego de Calcinación y Porcentajes de Cenizas..... 145

Anexo III. 3: Resultados de análisis. Difracción de Rayos X. 146

Anexo III. 4: Difractograma. Sistema Tipo 1..... 147

Anexo III. 5: Difractograma. Sistema Tipo 2..... 147

ANEXO IV: FOTOGRAFÍAS Y ESQUEMAS DE UBICACIÓN DE PROBETAS EN ESTACIONES

Anexo IV. 1: Estación Quito. Fotografía. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas. 149

Anexo IV. 2: Estación Santo Domingo. Fotografía. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas..... 149

Anexo IV. 3: Estación Quito. Esquema. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas. 150

Anexo IV. 4: Estación Santo Domingo. Esquema. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas. 150

ANEXO V: FOTOGRAFÍAS DE RESULTADOS EN ESTACIONES

Anexo V. 1: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. 152

Anexo V. 2: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior..... 153

Anexo V. 3: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. 154

Anexo V. 4: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior..... 155

Anexo V. 5: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. 156

Anexo V. 6: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. 157

Anexo V. 7: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. 158

Anexo V. 8: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. 159

ANEXO VI: RESULTADOS POR ESTACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN CADA PROBETA

Anexo VI. 1: Calificaciones del estándar ASTM D610- 01..... 161

Anexo VI. 2: Estación Quito. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según calificaciones del estándar ASTM D610- 01. 162

Anexo VI. 3: Estación Quito. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según porcentajes de corrosión correspondientes aproximados..... 162

Anexo VI. 4: Estación Santo Domingo. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según calificaciones del estándar ASTM D610- 01. 163

Anexo VI. 5: Estación Santo Domingo. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según porcentajes de corrosión correspondientes aproximados..... 163

ANEXO VII: ESPECTROS DE INFRARROJOS

Anexo VII. 1: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Sin Exposición (Blanco)..... 165
Anexo VII. 2: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Sin Exposición (Blanco)..... 166
Anexo VII. 3: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Ensayo Cámara de Arco de Xenón. Exposición 250 horas. 167
Anexo VII. 4: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Ensayo Cámara de Arco de Xenón. Exposición 250 horas. 168
Anexo VII. 5: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 169
Anexo VII. 6: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 170
Anexo VII. 7: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 171
Anexo VII. 8: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses. 172
Anexo VII. 9: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 173
Anexo VII. 10: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 174
Anexo VII. 11: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 175
Anexo VII. 12: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses. 176

ANEXO VIII: FOTOGRAFÍAS MONTAJE DE EQUIPOS

Anexo VIII. 1: Cámara Salina. Cuarto al inicio..... 178
Anexo VIII. 2: Cámara Salina. Construcción de bases de concreto. 178
Anexo VIII. 3: Cámara Salina. Construcción de viga e instalación de puertas. . 178
Anexo VIII. 4: Cámara Salina. Instalación de luz tubular..... 179
Anexo VIII. 5: Cámara Salina. Construcción y anclaje de cabina para destilador. 179
Anexo VIII. 6: Cámara Salina. Construcción de base de concreto y cabina para compresor..... 179

Anexo VIII. 7: Cámara Salina. Instalación de tuberías. 180
Anexo VIII. 8: Cámara Salina. Aplicación de pintura en cuarto. 180
Anexo VIII. 9: Cámara Salina. Aplicación de pintura alrededores. 180
Anexo VIII. 10: Cámara Salina. Pintura para identificación de tuberías (1). 181
Anexo VIII. 11: Cámara Salina. Pintura para identificación de tuberías (2). 181
Anexo VIII. 12: Cámara Salina. Adecuación de sistema de portamuestras colgado. 181
Anexo VIII. 13: Cámara Salina. Rotulación (1). 182
Anexo VIII. 14: Cámara Salina. Rotulación (2). 182
Anexo VIII. 15: Cámara Salina. Rotulación destilador. 182
Anexo VIII. 16: Cámara Salina. Rotulación compresor. 183
Anexo VIII. 17: Cámara Salina. Rotulación sistema de agua. 183
Anexo VIII. 18: Cámara Salina. Identificación de tuberías. 183
Anexo VIII. 19: Cámara Salina. Rotulación de interruptores Compresor/ Iluminación. 184
Anexo VIII. 20: Cámara de Arco de Xenón. Sistema de filtros y membrana. 184
Anexo VIII. 21: Cámara de Arco de Xenón. Filtro desionizador. 185
Anexo VIII. 22: Cámara de Arco de Xenón. Almacenamiento y transporte de agua..... 185
Anexo VIII. 23: Cámara de Arco de Xenón. Rotulación..... 185

ANEXO IX: FOTOGRAFÍAS DE RESULTADOS CÁMARA SALINA
Anexo IX. 1: Fotografías. Cámara Salina. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. 187
Anexo IX. 2: Fotografías. Cámara Salina. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. 188

ANEXO X: REPORTE ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5 (PROHESION)
Anexo X.1: Reporte ASTM. Cámara Salina. Registro diario de temperaturas... 190
Anexo X.2: Reporte ASTM. Cámara Salina. Registro diario de volúmenes recolectados..... 190
Anexo X.3: Reporte ASTM. Cámara Salina. Ubicación de probetas y recipientes de recolección..... 191
Anexo X.4: Reporte ASTM. Cámara Salina. Interrupciones al test. 192

ANEXO XI: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN CADA PROBETA PARA EL ENSAYO PROHESION EN CÁMARA SALINA

Anexo XI. 1: Relación entre la calificación o grado de corrosión según el estándar ASTM D610- 01 y el porcentaje de corrosión. 194

Anexo XI. 2: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Resultados de la evaluación de la corrosión según calificaciones del estándar ASTM D610- 01 y porcentajes de corrosión correspondientes aproximados..... 194

ANEXO XII: INSTRUCTIVOS PARA EL USO DE EQUIPOS

RESUMEN

El presente proyecto de titulación estudió los efectos de la atmósfera natural y de ensayos acelerados, sobre dos tipos de sistemas de pinturas anticorrosivas de la empresa Megapinturas S.A., específicamente resinas alquídicas medias en aceite de soya de alta viscosidad, en base a pigmentos de óxido de hierro.

Las muestras expuestas tanto a la atmósfera como a ensayos acelerados fueron probetas (láminas) de acero al carbono, recubiertas con los dos tipos de sistemas de pinturas mencionados.

El estudio en la atmósfera natural fue llevado a cabo durante seis meses en dos estaciones, la una ubicada en Quito y la otra en Santo Domingo de los Colorados; esto con el fin de representar atmósferas urbana y subtropical respectivamente.

Los ensayos acelerados se llevaron a cabo en dos equipos, una cámara salina y una cámara de arco de xenón. Para ello fue necesaria la instalación y montaje de los equipos recién adquiridos, que requirieron sistemas de alimentación de agua purificada y sistema de aire comprimido.

La cámara salina sirvió para el estudio de los efectos de humedad, calor temperatura y ambiente; y la cámara de arco de xenón, en cambio, para el estudio del efecto de la radiación ultravioleta (UV) sobre los sistemas de pinturas.

El proyecto caracterizó a los sistemas de pintura mediante calcinación y difracción de rayos X, y comparó los resultados de exposición en atmósferas naturales con los resultados acelerados, a escala macro mediante la aplicación de los estándares ASTM de apreciación visual y, a escala micro mediante la realización de espectros de infrarrojos.

Los sistemas de pintura alquídicos tipo 1 y tipo 2 con pigmentos rojo óxido de hierro presentaron dos fallas principalmente, corrosión y pérdida de color o decoloración; atribuidas a que la insuficiencia de resina en la formulación y su degradación permitieron la migración del pigmento primario (rojo óxido de hierro) y del extendedor (carbonato de calcio).

Finalmente, se concluyó que el parámetro más importante en la formulación de los sistemas de pintura es la relación PVC/CPVC, que en el estudio realizado probablemente es mayor a la unidad, por tanto, la cantidad de resina es insuficiente para recubrir las partículas del pigmento primario (rojo óxido de hierro) y del pigmento extendedor (carbonato de calcio), desencadenando así su migración hacia la superficie y con esto mayor vulnerabilidad de los sistemas frente a la intemperie.

INTRODUCCIÓN

El acero es una de las aleaciones más frecuentemente utilizada, tanto en nuestras actividades cotidianas como en las industriales, debido a su versatilidad, propiedades y bajo costo.

La degradación, el deterioro y la corrosión del acero son temas críticos en la industria porque pueden disminuir e inclusive parar su producción, afectar a la seguridad de su entorno y del recurso humano implicado, desencadenando graves repercusiones y problemas económicos. Se estima que el 25% de la producción anual de acero es destruida por la corrosión (Genescá *et al*., 1986).

La protección anticorrosiva del acero mediante la aplicación de películas o barreras protectoras como los recubrimientos poliméricos es un tema de profundo interés económico y constante investigación por la industria y la comunidad científica.

Los recubrimientos poliméricos como los sistemas de pintura tienen un amplio mercado económico a nivel mundial, con una producción de alrededor de 5 billones de galones anuales valorados en 80 billones de dólares americanos en el año 2002 (Farhat, 2005).

El interés de la industria es proteger a sus equipos frente a la corrosión con recubrimientos cada vez de más alta calidad, con mejores propiedades, menores costos y más “amigables” con el ser humano y el medio ambiente (atóxicos).

Es así, que se presenta la necesidad de investigar el desempeño de sistemas de pinturas en las condiciones ambientales ecuatorianas, tan particulares; evaluar sus características, mejorar las formulaciones y contribuir con el desarrollo de nuestra industria.

“Y al principio todo fue curiosidad” (ASIMOV, I.)

1. PARTE TEÓRICA

1.1. SISTEMAS DE PINTURAS

(Clive, 1994; Farhat, 2005)

Toda pintura es una suspensión de partículas sólidas inorgánicas* (pigmentos), en un medio líquido (vehículo) que principalmente se constituye de un material polimérico (resina) y de un solvente volátil.

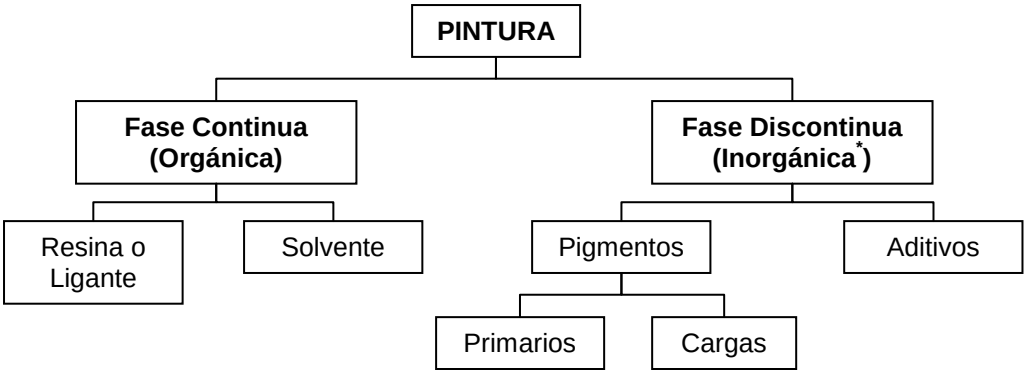


Figura 1.1: Componentes de una pintura.

(* Existen también algunos pigmentos orgánicos)

Durante el secado de la pintura, el solvente se volatiliza y la resina forma una película continua sobre el sustrato debido a que se polimeriza, es decir forma entrecruzamientos entre sus moléculas con enlaces covalentes.

1.1.1. FORMULACIÓN

La formulación de una pintura dependerá del substrato al cual va a ser aplicada y del medio donde será expuesta; el técnico en pinturas basado en su experiencia seleccionará la composición adecuada.

Los principales parámetros considerados en la formulación de una pintura son:

- Razón pigmento - ligante
- Contenido de sólidos
- Concentración en volumen de pigmento (PVC)
- Costo

1.1.1.1. Concentración de Pigmento en Volumen (PVC)

(Hare, 1994; Buxbaum y Pfaff, 2005)

La Concentración de Pigmento en Volumen, PVC por sus siglas en inglés, corresponde a la relación entre el volumen de pigmento y el volumen de sólidos totales de la película de pintura seca, tal como se representa en la ecuación [1.1]. El volumen de sólidos totales de la película de pintura seca corresponde a la suma del volumen de pigmento y el volumen de resina o ligante; se deben considerar todos los pigmentos usados en la formulación (primarios y cargas).

$$PVC = \frac{Vp}{Vp + Vr} \qquad [1.1]$$

Donde:
Vp: Volumen de pigmento
Vr: Volumen de resina o ligante (no volátil)

El PVC se debe analizar como un modelo sub-microscópico, donde cada partícula de pigmento de la película de pintura seca debe estar rodeada por la resina alrededor de toda su capa superficial y de los espacios intersticiales entre estas. Dependiendo de la porosidad de las partículas del pigmento, éstas pueden absorber en mayor o menor cantidad a la resina o ligante.

El volumen de resina se compone de la suma del volumen de resina de la capa absorbida y adsorbida de las partículas de pigmento (Va) y del volumen de resina en los espacios intersticiales (Vb), como se indica en la ecuación [1.2].

$$Vr = Va + Vb \qquad [1.2]$$

La condición conocida como CPVC (Concentración Crítica de Pigmento en Volumen), se da cuando *todas* las partículas de pigmento están completamente rodeadas por la resina alrededor de su capa superficial y de los espacios intersticiales existentes, como se puede apreciar en la Figura 1.2. Se puede afirmar que el CPVC es una condición ideal.

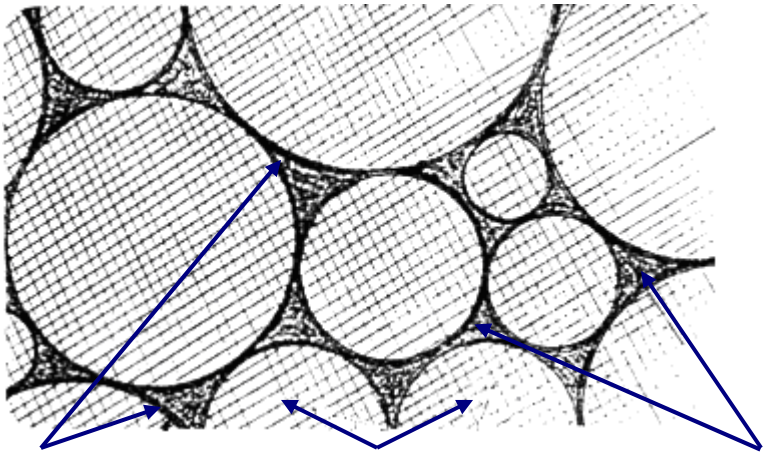
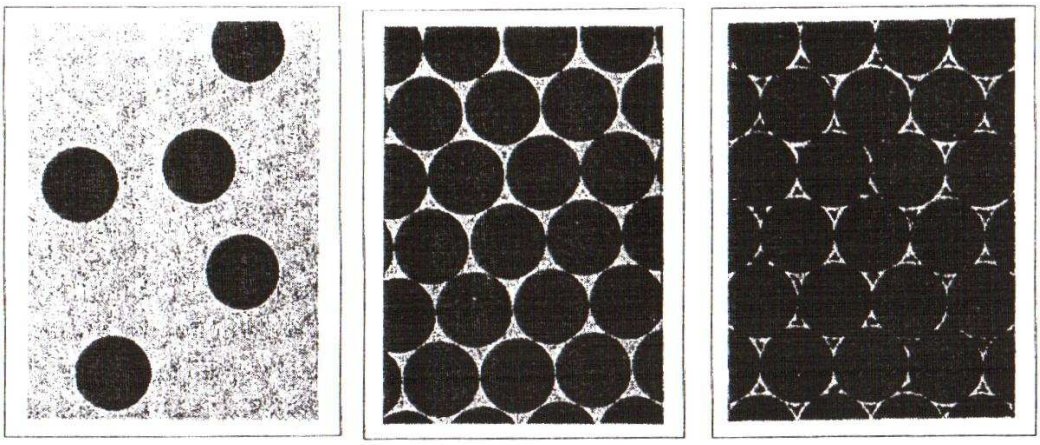


Figura 1.2: Concentración Crítica de Pigmento en Volumen (CPVC). (Hare, 1994)

Teóricamente existe un solo punto o valor finito de CPVC para cualquier combinación de pigmentos, este punto es solamente ajustable variando el tipo o la relación entre los pigmentos de baja absorción de aceite y los de alta absorción de aceite; pero no es ajustable variando la cantidad de resina.

La relación PVC/CPVC representada por Λ es una herramienta para conocer las propiedades y el comportamiento del revestimiento o pintura antes de ser formulada.
Si la relación de PVC/CPVC es mucho menor a la unidad existe un exceso de resina en la formulación; el pigmento se encuentra totalmente encapsulado por la resina dando como resultado una gran separación entre las partículas de pigmento. La película de pintura seca será muy brillante e impermeable.

En cambio, cuando la relación de PVC/CPVC es mayor a la unidad, los espacios intersticiales entre las partículas de pigmento en lugar de estar llenos de resina, están llenos de aire. La cantidad de resina es insuficiente para llenar estos espacios y la película de pintura seca será porosa, tendrá pobres propiedades físicas además de cohesión reducida.



(a) PVC es menor que CPVC. (Λ<1) (b) PVC es igual al CPVC (Λ=1) (c) PVC es mayor que CPVC. (Λ>1)

Figura 1.3: Relación PVC/CPVC. (Hare, 1994)

Tanto el PVC como el CPVC son las variables de mayor importancia en la tecnología y diseño de toda clase de pinturas; su correcta relación permitirá tener mejores propiedades con respecto al comportamiento (permeabilidad, resistencia a la corrosión y al ampollaje), apariencia (brillo, morfología), propiedades físicas (flexibilidad, dureza, resistencia al impacto y a la abrasión) de la pintura, como se indica en la Figura 1.4.

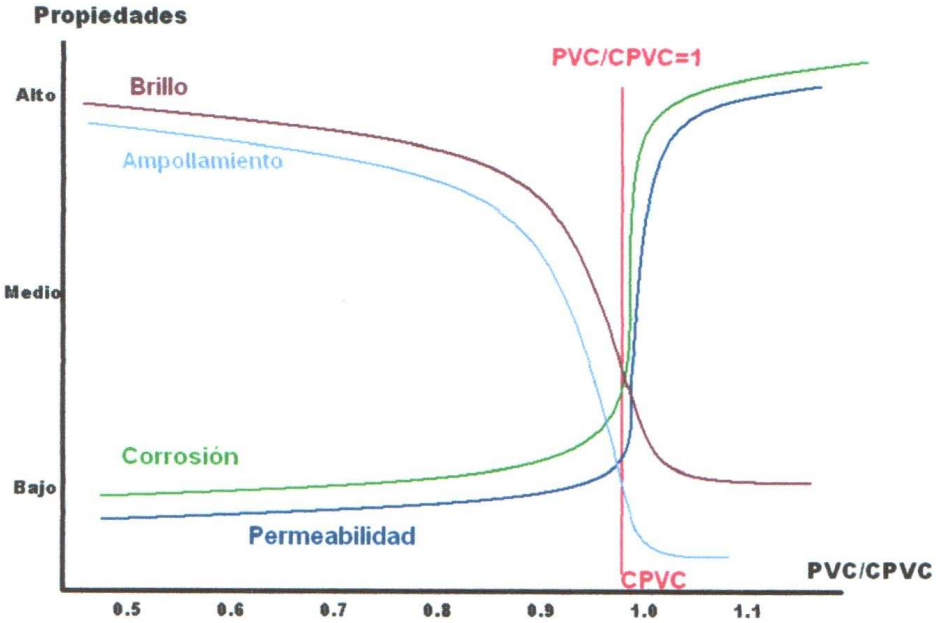


Figura 1.4: Propiedades del revestimiento según la relación PVC/CPVC. (Aldás y Rivas, 2007)

1.1.2. RESINAS ALQUÍDICAS

(Heitkamp y Pellote, 1995; Holmberg, 2006)

Las resinas alquídicas son un tipo especial de poliéster que se sintetiza mediante tres componentes básicos: poliácidos básicos orgánicos, polialcoholes y ácidos grasos o aceites. Las propiedades de la resina son controladas según la proporción y naturaleza de estos componentes.
Tienen amplio uso en revestimientos por su versatilidad y bajo costo, además de que pueden ser formuladas en base a solventes orgánicos y también en base agua.

El termino “alquídica”, en inglés “alkyd”, fue introducido por Kienle y Ferguson en 1927, éste se deriva de los reactivos para su síntesis, “al” por alcohol y “cid” por ácido, que posteriormente fue cambiado a “kyd”.

Mediante una reacción química de policondensación, el poliácido orgánico con el polialcohol forma un poliéster que tendrá mayor entrecruzamiento según la cantidad de grupos alcohol y ácido de sus reactantes.

Los poliácidos básicos más utilizados son el ácido ftálico y el anhídrido ftálico, el polialcohol, la glicerina; y el ácido graso o aceite, los aceites animales y vegetales como el aceite de pescado y el aceite de soya.

La definición de mayor aceptación indica que las resinas alquídicas son poliésteres modificados con ácidos grasos; las resinas no modificadas se les conoce en cambio, como poliésteres saturados e insaturados.

1.1.2.1. Clasificación

1.1.2.1.1. Longitud de Aceite

Según el porcentaje de ácido graso en la resina, estas se clasifican en cortas, medias, largas muy largas; la clasificación y las propiedades se indican en la Tabla 1.1. Las resinas alquídicas también se clasifican como secantes,

semisecantes y no secantes dependiendo del grado de insaturación de los residuos de los ácidos grasos.

Tabla 1.1: Propiedades de las resinas alquídicas según la longitud de aceite.

Propiedad	**Longitud de Aceite**			
	Muy Largas	Largas	Medias	Cortas
	>55%		45-55%	<45%
Contenido de aceite	Alta	⟷		Baja
Velocidad de secado	Lenta	⟷		Rápida
Flexibilidad del film	Alta	⟷		Baja
Resistencia química	Mala	⟷		Buena
Brillo	Bajo	⟷		Alto

1.1.2.1.2. Porcentaje de Anhídrido Ftálico

La Tabla 1.2 indica la relación inversa entre la clasificación de las resinas alquídicas según la longitud de aceite y la clasificación según el porcentaje de anhídrido ftálico. A mayor porcentaje de anhídrido ftálico, menor longitud de aceite.

Tabla 1.2: Clasificación de las resinas alquídicas.

	Tipo de Resina Alquídica		
	Largas	**Medias**	**Cortas**
Longitud de aceite	>55%	45-55%	<45%
Porcentaje de anhídrido ftálico	<20%	20-35%	>35%
Velocidad de secado	No secantes	Semi-secantes	Secantes

1.1.2.2. Propiedades y Usos

(Forsgren, 2006)

Las resinas alquídicas se caracterizan por buena adhesión y propiedades de secado. Las películas tienen buena flexibilidad y durabilidad.

Sin embargo, presentan también algunas desventajas, las cuales se indican a continuación:

- Luego del curado, la resina alquídica continúa reaccionando con el oxígeno de la atmósfera, esto ocasionará envejecimiento, pérdida de brillo debida al incremento en el entrecruzamiento.
- Altamente susceptibles a condiciones alcalinas, ya que favorecen la hidrólisis dando como resultado el regreso a las condiciones iniciales de alcohol y ácido

graso; posteriormente el ácido graso reacciona con el alcali (saponificación) presente para formar una sal de ácido graso (jabón). Por este motivo, las resinas alquídicas no son recomendadas junto a pigmentos alcalinos, superficies de zinc, concreto o donde estas condiciones se puedan presentar.

- Susceptibles a la radiación UV, según la composición específica de la resina.
- Malas propiedades barrera contra el vapor de agua, es necesario seleccionar un pigmento anticorrosivo efectivo para su formulación en sistemas de pintura.
- Pérdida de adhesión química al sustrato en inmersión en agua, debido a que el exceso de alcohol utilizado en su síntesis absorberá el agua.

1.1.3. PIGMENTOS

(Hare, 1994)

Un pigmento es un sólido finamente dividido e insoluble en el polímero con el cual se lo formule; para el caso de los revestimientos el polímero son las resinas o vehículos. El pigmento confiere determinadas propiedades a la masa de dicho polímero; en revestimientos el pigmento debe ser capaz de una óptima dispersión en la resina para tener una película homogénea y lisa.

Una clasificación de los pigmentos se basa en el rol que desempeñen en el revestimiento, así entonces se dividen principalmente en pigmentos primarios y extendedores.

Tabla 1.3: Ejemplos de pigmentos primarios y extendedores. (Hare, 1994)

Pigmento	Tipo	lb/galón	Gravedad Específica	Absorción de aceite*
Dióxido de titanio blanco rutilo	Primario	32,0 - 34,5	3,8 - 4,2	15 - 30
Óxido de hierro rojo sintético	Primario	38,0 - 42,0	4,6 - 5,0	15 - 30
Óxido de hierro amarillo	Primario	33,0 - 35,0	4,0 - 4,2	25 - 60
Óxido de hierro negro	Primario	39,0 - 42,0	4,7 - 5,0	10 - 25
Carbonato de calcio natural	Extendedor o Carga	22,6	2,7	13
Carbonato de calcio sintético	Extendedor o Carga	22,6	2,7	45

*gramos de aceite absorbido por 100 gramos de pigmento.

1.1.3.1. Pigmentos Primarios

Los pigmentos primarios son aquellos materiales que proporcionan al revestimiento o sistema de pintura, el color, la opacidad y la resistencia a luz ultravioleta. Existen pigmentos primarios tanto orgánicos como inorgánicos, pero son estos últimos los que mejores propiedades entregan.

Los pigmentos inorgánicos primarios son usados en revestimientos de alto desempeño porque la mayoría son inertes, insolubles, resistentes al calor y a ambientes con valores de pH extremos.

1.1.3.1.1. Óxidos de Hierro

(Buxbaum y Pfaff, 2005; Hare, 1994)

Los pigmentos óxido de hierro tienen gran importancia debido a su estabilidad química, baja toxicidad, amplia variedad de colores que van desde el amarillo, naranja, rojo, café hasta el negro, además de una buena relación desempeño/precio.

La clasificación de los pigmentos de óxido de hierro se divide según su procedencia natural o sintética.

- Óxido de Hierro Natural:

El óxido de hierro de procedencia natural tiene al menos 85% de Fe_2O_3, el resto tiene una composición variable de FeO y arcillas. Fue usado desde la prehistoria en el arte rupestre encontrado en las cuevas de Altamira (España) y posteriormente por egipcios, griegos y romanos.

La importancia económica de estos pigmentos naturales depende de su color, la hematita (α-Fe_2O_3) como pigmento rojo, la geotita (α-FeOOH) como pigmento amarillo, los “umbers” y las “siennas” como pigmentos cafés.

Los yacimientos de hematita más importantes del mundo están en Málaga (España) y en el Golfo Pérsico.

- Óxido de Hierro Sintético:

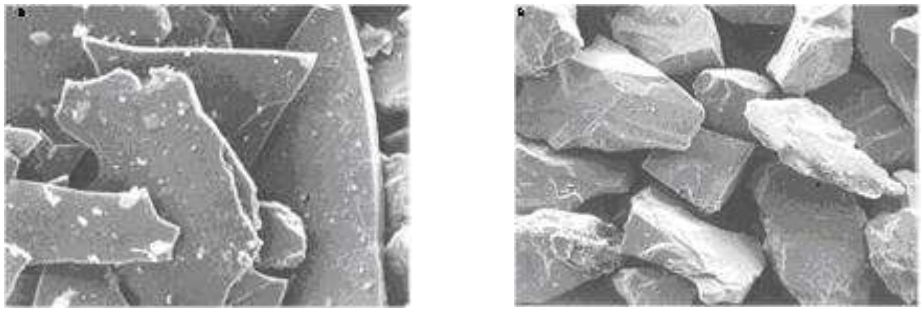
El óxido de hierro sintético es de gran atracción debido a sus propiedades consistentes, pureza de tinte y poder de coloración.
Algunos procesos son utilizados para obtener óxido de hierro de alta calidad, los más comunes son las reacciones de estado sólido, la precipitación e hidrólisis de sales de hierro y el proceso Laux que implica la reducción de nitrobenceno.
Las materias primas generalmente son chatarra de acero, hierro fundido molido, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y $FeCl_2$ subproductos de la producción del dióxido de titanio (TiO_2) y de la limpieza ácida del acero (pickling).

Para ofrecer un tamaño de partícula homogéneo y una óptima dispersión del pigmento, la industria presenta óxidos de hierro micronizados.
El proceso de micronización consiste en deshacer los aglomerados de partículas hasta alcanzar las partículas primarias del pigmento.

1.1.3.1.2. Óxido de Hierro Micáceo

Los pigmentos de óxido de hierro micáceo (MIO: micaceous iron oxide) son una forma natural de hematita ($a\text{-}Fe_2O_3$) que cristaliza principalmente de manera laminar y se la conoce como hematita especular.

El término micáceo hace referencia a la forma laminar que comúnmente tienen estos pigmentos, no se debe confundir con las micas (minerales de silicato y potasio). El estándar ISO 10601 (Micaceous iron oxide pigments for paints - Specifications and test methods) diferencia a los MIO en tres grados según el contenido laminar: grado 1 mayor a 50%, grado 2 entre el 10 y el 50%, y grado 3 menor al 10%. La Figura 1.5 indica la diferenciación de los MIO según el contenido laminar de sus partículas.



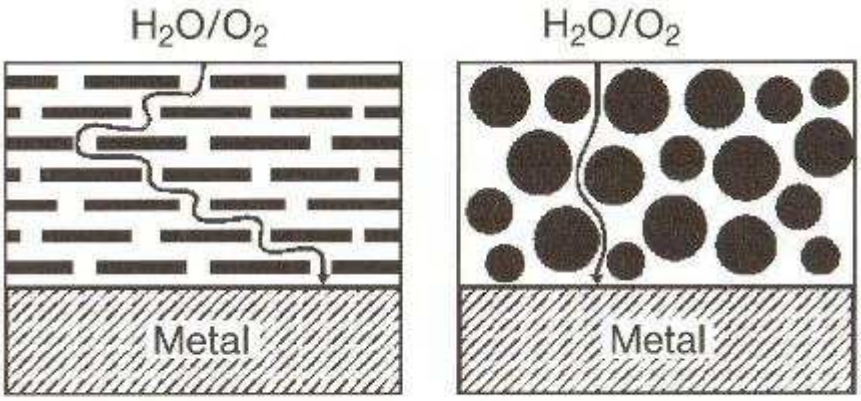
Alta laminaridad (Grado 1) Baja laminaridad (Grado 3)

Figura 1.5: Tipos de óxidos de hierro micáceo según laminaridad. (Llovensa, 2003).

La principal propiedad de los MIO en recubrimientos protectores es crear una barrera física, conocida como “efecto barrera”.

El efecto barrera se caracteriza en que las partículas del pigmento se orientan paralelamente al sustrato formando varias “láminas” que complicarán la difusión (camino o ruta) del agua, oxígeno y contaminantes hacia el sustrato.

La difusión se vuelve menos directa que en los pigmentos granulares, por tanto el tiempo de resistencia a la intemperie de los MIO será mayor al tiempo de resistencia de los pigmentos granulares.



Pigmento Laminar Pigmento Granulado

Figura 1.6: Efecto Barrera (Buxbaum y Pfaff, 2005).

1.1.3.2. Pigmentos Extendedores o Cargas

Los pigmentos extendedores fueron inicialmente utilizados como cargas con el propósito de aumentar el volumen de pintura o revestimiento y reducir costos.

La formulación moderna de la tecnología de pinturas selecciona de una mejor manera los pigmentos extendedores según sus propiedades y el comportamiento que tendrán dentro del revestimiento o pintura.

La clasificación más común va de acuerdo con su estructura química, por ejemplo, carbonatos, sulfatos, silicatos y óxidos.

1.1.3.2.1. Carbonato de Calcio

El carbonato de calcio ($CaCO_3$) se lo encuentra en forma natural (caliza, calcita, mármol) o en tipo sintético.

El carbonato de calcio natural se caracteriza por ser un pigmento extendedor o carga de bajo costo, de baja absorción de aceite y de baja gravedad específica, estas propiedades sirven para la formulación de revestimientos con alto contenido de sólidos, donde éste permite un pequeño incremento de viscosidad con menor demanda de resina.

Los carbonatos de calcio sintéticos tienen tamaños más finos, mayor absorción de aceite y un mejor control del brillo.

Sin embargo, tanto el carbonato de calcio natural como el sintético por su naturaleza alcalina reducen la resistencia del revestimiento a los ácidos, siendo perjudicial cuando reacciona con la lluvia ácida, ya que forma sulfato de calcio.

1.2. DEGRADACIÓN DE MATERIALES EN LA ATMÓSFERA

1.2.1. CORROSIÓN DEL ACERO

(Hare, 1994; Hare, 2006)

La corrosión es un proceso electroquímico que implica la degradación o el deterioro de un material; generalmente el término “corrosión” se utiliza principalmente para materiales metálicos.

El proceso implica una reacción química y una corriente eléctrica, por tanto se lo denomina electroquímico; principalmente se debe a un intercambio o conversión de energía. El metal que se encuentra en un estado energético inestable, debido a la gran cantidad de energía ganada en la fundición, empieza un proceso de deterioro para retornar hacia la condición de mineral, la cual tiene un estado energético más estable.

El metal con un alto estado energético reacciona con los componentes del ambiente (oxígeno, agua, luz, contaminantes) para ir hacia un estado energético menor, formando productos de corrosión como óxidos, sulfuros y otros.

1.2.1.1. Características

Los metales tienen distintas áreas o lugares en su superficie con distintos niveles de energía, debido a los procesos de transformación como la fundición; estos lugares se convierten en los electrodos de una celda electroquímica en contacto con un electrolito (intemperie).

Una celda electroquímica debe estar compuesta de electrodos (ánodo y cátodo), electrolito (agua, soluciones, intemperie) y un camino o ruta para la transferencia de electrones y/o iones.

La corrosión toma lugar en el ánodo, cuando el metal empieza a disolverse en forma de iones en el electrolito, por tanto, libera electrones que se dirigen hacia el cátodo, como se indica en la ecuación [1.3]:

$$\overset{0}{Fe} \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-} \qquad [1.3]$$

En el cátodo, los electrones del metal que llegaron del ánodo, reaccionan con el electrolito, según el tipo de electrolito (condiciones neutras, ácidas, básicas, con disponibilidad de oxígeno o ausencia). La reacción en soluciones neutras o básicas se indica en la ecuación [1.4]:

$$O_2 + 2\,H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4(OH)^{-} \qquad [1.4]$$

La reacción en soluciones ácidas, dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno será como se indica en las ecuaciones [1.5] y [1.6]:

$$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2 \qquad [1.5]$$

$$O_2 + 4H^{+} + 8e^{-} \rightarrow 4(OH)^{-} \qquad [1.6]$$

La reacción principal que se indicó en la ecuación [1.3] es simultánea con las reacciones indicadas en las ecuaciones [1.4], [1.5] y [1.6].
El producto de la corrosión es formado a partir de los iones metálicos de la reacción del ánodo con el producto de la reacción del cátodo como se indica en la ecuación [1.7]:

$$2\,Fe^{++} + 4(OH)^{-} \rightarrow 2\,Fe(OH)_2 \qquad [1.7]$$

La velocidad de disolución del metal en el ánodo está determinada por la diferencia de potencial de la celda electroquímica (V) y por la eficiencia con la cual el electrolito pueda transferir la corriente eléctrica (I).

El agua que contiene sales inorgánicas disueltas es mucho más corrosiva que el agua pura (desionizada), por tanto es un electrolito más eficiente para la conducción eléctrica. La razón para que el agua que tiene sales inorgánicas disueltas conduzca mejor la corriente eléctrica se debe a que las sales se disocian en sus respectivos iones (especies eléctricamente cargadas) para ofrecer una

excelente transmisión de la corriente implicada en el proceso de corrosión. Existen algunas sales como los cromatos, nitratos y otras que inhiben la reacción de corrosión.

La ley de Ohm indica la relación entre la magnitud de la corriente de corrosión (I), la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo (V) y la resistencia de la celda de corrosión (R), matemáticamente expresada en la ecuación [1.8]:

$$I = \frac{V}{R} \qquad [1.8]$$

La resistencia total de la celda electroquímica no solo depende del electrolito, depende también de las áreas metálicas de la celda y de la conjunción entre el ánodo y el cátodo. Inicialmente el proceso corrosivo depende más de la resistencia del electrolito (Re) que de las resistencias del ánodo (Ra) y del cátodo (Rc). Los metales son tan buenos conductores que las resistencias del cátodo y del ánodo se consideran despreciables, en relación con la del electrolito.

$$I = \frac{V}{R_a + R_c + R_e} \qquad [1.9]$$

1.2.1.2. Control de la Corrosión

El control de la corrosión se basa en una interferencia externa al proceso electroquímico indicado anteriormente. Si la entrada de los componentes del ambiente (agua, oxígeno, contaminantes) se restringe de alguna manera, estos componentes no interactuarán con los iones metálicos del ánodo y la reacción de corrosión será frenada.

En términos físicos, el control de la corrosión se basa en la reducción de la corriente (I); esto es posible si la diferencia de potencial (V) se reduce y la resistencia (R) aumenta. La resistencia que es necesario considerar es la resistencia del electrolito (Re), si esta aumenta, la corriente se volverá más baja.

El control de la corrosión es entonces posible mediante el uso de revestimientos protectivos que aumentan la resistencia del electrolito, los iones del electrolito se filtrarán en la superficie, la corriente de electrones disminuirá y por consecuencia podrá inhibirse la reacción de corrosión.

1.2.1.3. Estándar ASTM D610-01

El estándar ASTM D610-01 (Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces) sirve para cuantificar el grado de herrumbre en superficies de acero con revestimientos o pinturas.

El grado de herrumbre es cuantificado mediante la comparación visual entre la probeta degradada y las figuras patrón que se encuentran al final de éste estándar, de esta manera se asigna una calificación dentro de una escala de 1 a 10. La Tabla 1.4 indica el grado de herrumbre y el equivalente porcentaje de superficie de revestimiento corroída.

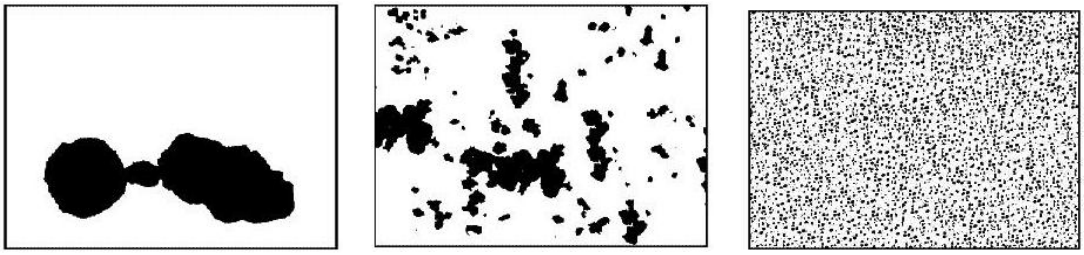
Tabla 1.4: Grado de herrumbre según el estándar ASTM D610-01.

Grado de herrumbre	Porcentaje de superficie corroída
10	Menor o igual al 0,01%
9	Entre el 0,01% y el 0,03%
8	Entre el 0,03 % y el 0,1%
7	Entre el 0,1% y el 0,3%
6	Entre el 0,3% y el 1,0%
5	Entre el 1,0% y el 3,0%
4	Entre el 3,0% y el 10,0%
3	Entre el 10,0% y el 16,0%
2	Entre el 16,0% y el 33,0%
1	Entre el 33,0% y el 50,0%
0	Mayor al 50%

La distribución de la corrosión en el estándar es clasificada como se indica a continuación y es diferenciada con una letra luego del grado de corrosión asignado a la probeta o muestra corroída:

- Mancha de herrumbre (spot rust, S)
- Herrumbre general (general rust, G)
- Puntos de corrosión (pinpoint rust, P)
- Herrumbre híbrida (hybrid rust, H)

La Figura 1.7 indica la distribución de la corrosión según la clasificación de este estándar, para una calificación de 3.



Spot Rust (3-S) General Rust (3-G) Pinpoint Rust (3-P)

Figura 1.7: Tipos de corrosión según el estándar ASTM D610-01. Calificación 3 (16% de corrosión). (ASTM, 2001).

1.2.2. DEGRADACIÓN DE PINTURAS

1.2.2.1. Degradación de Resinas Alquídicas

(Hodson y Lander, 1987)

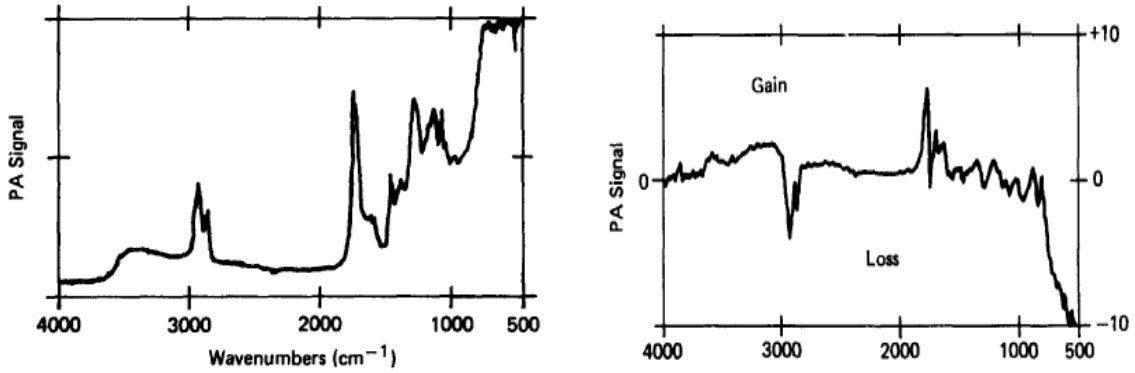
La espectroscopia de infrarrojos foto-acústica con transformada de Fourier (FTi.r/PAS: Fourier transform infra-red/photoacoustic spectroscopy) es una técnica ampliamente usada para caracterizar pinturas alquídicas, epóxicas, acrílicas, siliconas y poliuretanos.

Hodson y Lander (1987) estudiaron el comportamiento de pinturas alquídicas con una variedad de pigmentos blancos, frente a la intemperie acelerada, en un equipo QUV Weatherometer, con un ciclo programado de cuatro horas de luz UVA a 60ºC, seguido por cuatro horas de condensación a 40ºC, con distintos tiempos de exposición, mayores a las 24 horas.

Los resultados analizados por FTi.r/PAS indicaron cambios en las bandas de absorción infrarroja debido a la destrucción y generación de varios grupos químicos durante el ensayo acelerado, estos cambios se indican a continuación:

- Pérdidas de material alifático con decrecimiento en las bandas de CH_3 y CH_2, a 2855 cm^{-1} y 2930 cm^{-1} respectivamente, atribuidos a reacciones de ruptura en la cadena de la resina.
- Pequeños incrementos en bandas de 3500 cm^{-1} y 3000 cm^{-1} atribuidos a la generación de especies que contienen COOH y OH.
- Pérdida del grupo carbonilo ester y formación de grupos carbonilo nuevos, debido a la hidrólisis y oxidación de la resina.
- Pérdidas del pigmento dióxido de titanio en bandas de 500-700 cm^{-1}.

La Figura 1.8 indica los espectros FTir/PAS analizados por Hodson y Lander, el primero (A) corresponde a una pintura sin degradación, el segundo (B) corresponde a una pintura degradada luego de una exposición acelerada de 24 horas.



(A) (B)

Figura 1.8: Espectros FTi.r/PAS. A: Pintura alquídica con pigmento blanco sin degradación. B: Pintura alquídica con dióxido de titanio luego de exposición por 24 horas. (Hodson J. y Lander J., 1987)

1.2.3. VARIABLES MEDIO AMBIENTALES

(Jacques, 2000; Hicks y Crewdson, 1995)

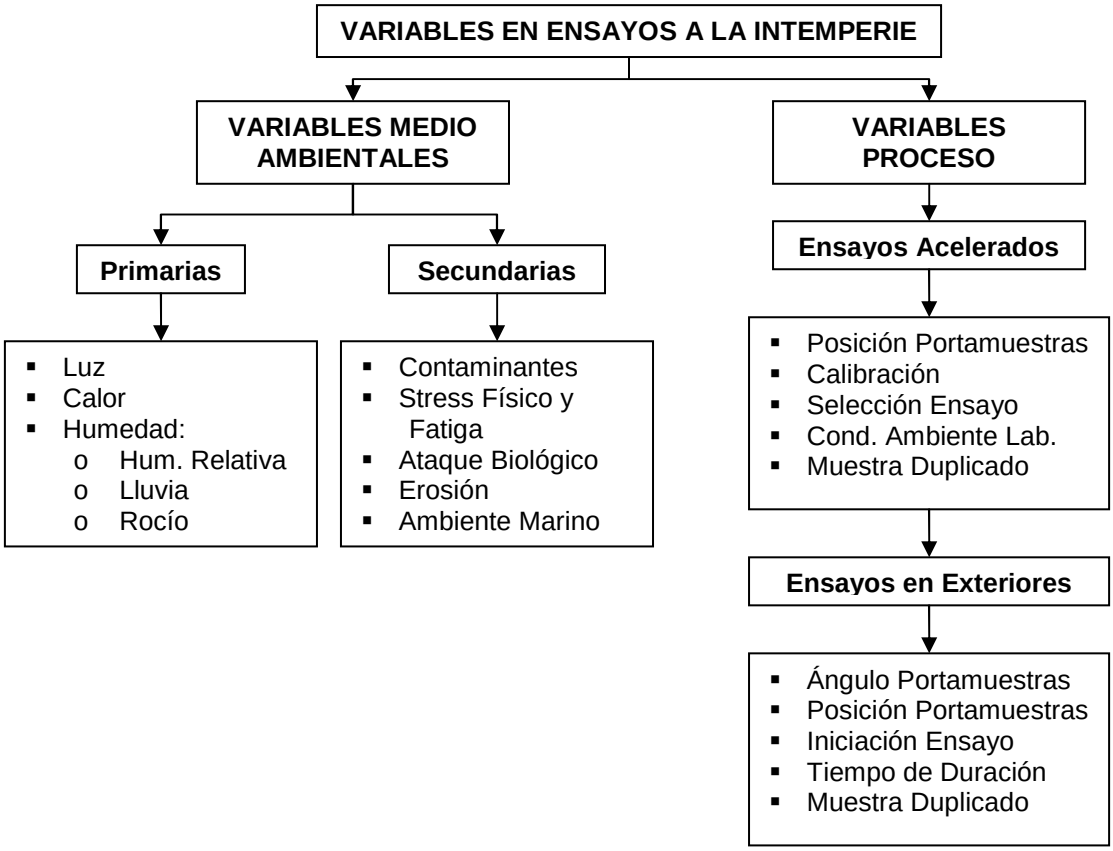


Figura 1.9: Variables en ensayos a la intemperie (Jacques, 2000)

La Figura 1.9 indica las variables en ensayos a la intemperie natural como acelerada; a continuación se detallan solamente las principales variables medio ambientales que interesan su análisis en el presente estudio, como son la luz, el calor y la temperatura, la humedad y los contaminantes.

1.2.3.1. Luz

La energía electromagnética del sol está dividida en luz ultravioleta (<400nm), luz visible (400-760nm), y luz infrarroja (>760nm).

La luz solar varía en intensidad y en la distribución en el espectro energético según la estación, la locación y los efectos atmosféricos como los contaminantes y la masa de aire.

La región ultravioleta (UV) del espectro de luz solar es generalmente la responsable del inicio del proceso de degradación de materiales a la intemperie, ya que esta región de longitudes de onda bajas, tiene alta energía como fotones, considerando la teoría cuántica.

La energía de los fotones es absorbida por el material polimérico, rompiendo enlaces químicos. A medida que la longitud de onda es más baja, la energía de cada fotón aumenta, permitiendo al fotón romper enlaces moleculares cada vez más fuertes. La foto-degradación ocurre entonces por la ruptura de enlaces químicos causando deterioro en la estructura física del material.

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) subdivide a la región ultravioleta del espectro de luz solar en UV-A, UV-B y UV-C de acuerdo a la longitud de onda; solo la UV-A y la UV-B están presentes en la superficie de la tierra, la UV-C es encontrada solo en el espacio exterior, ya que es filtrada por la atmósfera terrestre.

Por tanto, las regiones UV-A y UV-B son las responsables de la foto-degradación, pero la UV-B es la que ocasiona un daño severo en la estructura polimérica del material.

Tabla 1.5: Clasificación de la región UV de acuerdo a la longitud de onda. (Hicks y Crewdson, 1995).

Región	**Longitud de Onda (nm)**
UV-A	400-315
UV-B	315-280
UV-C	<280

Mayor Energía

1.2.3.2. Calor y Temperatura

La medición de la temperatura ambiente puede ser usada para describir el clima, sin embargo esta temperatura no coincide con la temperatura de superficie de un material expuesto a la atmósfera o a ensayos acelerados.

El intemperismo es principalmente un *efecto de superficie* donde la temperatura ambiente no tiene tanta influencia sobre el material expuesto como lo tiene la temperatura de superficie.
El efecto de la radiación como calor depende de la fuente de radiación (solar, artificial) como también de las propiedades específicas de absorción y conductividad del material expuesto.

Kockott (1996) definió la siguiente ecuación para aproximar la radiación absorbida, que es la contribuyente del calentamiento de la muestra expuesta:

$$E_{abs} = \int E_{\lambda} \in (\lambda) d\lambda$$

donde $\in (\lambda)$ es la absorbancia, E_{λ} es la conductividad térmica y λ es la longitud de onda.

Teóricamente un cuerpo negro absorbe el 100% de energía y un cuerpo gris absorbe el 0% de energía. La temperatura de panel negro representa la máxima temperatura de superficie llevada durante la exposición y es generalmente la que se reporta medida con instrumentos especiales.

Saunders *et al*. (1990) desarrollaron técnicas para predecir la temperatura de superficie en revestimientos, basados en parámetros físicos del revestimiento e información solar y atmosférica, para así evitar su monitoreo y estimarla con información disponible.

1.2.3.3. Humedad

El agua puede ser entregada a un material en diversas formas, agua representada como humedad relativa, agua lluvia, o agua formada en la superficie debido al rocío o condensación; siendo su absorción en el material, la causa de su

deterioro. La absorción de agua en el material puede causar daño tanto químico como físico en el material.

La absorción de agua en un material, causa un aumento de volumen en éste y consecuentemente se dará un “stress” dentro del material.
Un periodo húmedo seguido de un periodo seco causa contracciones en las capas superficiales del material desarrollando un “stress” dentro de éste, que puede desencadenar luego un deterioro químico y mecánico.

1.2.3.4. Contaminantes

La contaminación atmosférica es una variable de importancia y que se encuentra en aumento por la proliferación de industrias y la combustión de automotores. Las emisiones industriales se mezclan con la humedad del ambiente para formar la lluvia ácida que causa reacciones químicas de degradación a los materiales expuestos a la atmósfera. Los principales causantes de la lluvia ácida son el SO_2 y los NOx, que reaccionan con los componentes atmosféricos para formar ácido sulfúrico y nítrico respectivamente. Existen otros contaminantes de importancia en la degradación de materiales como los cloruros en atmósferas marinas, el monóxido de carbono, el ozono y el material partículado.

1.2.4. AMBIENTES

(Hicks y Crewdson, 1995)

Los ambientes atmosféricos se clasifican según la agresividad que presentan con respecto a factores como temperatura, humedad, contaminantes, y características especiales como presencia de cloruros, microorganismos y otras.

1.2.4.1. Subtropical

El clima subtropical se caracteriza por veranos muy cálidos e inviernos templados, con alta humedad ambiental todo el año.

Las regiones subtropicales tienen una temperatura media anual mayor a 20 ºC y una mínima en el mes más frío del año entre los 20ºC y los 0 ºC, lo que las clasifica como de clima templado.

1.2.4.2. Urbano

El ambiente urbano es característico de ciudades densamente pobladas que presentan alto grado de contaminación atmosférica debido a la combustión de los automotores. Sin embargo, es un ambiente menos agresivo que el ambiente industrial. La Figura 1.10 es una fotografía de la ciudad de Quito catalogada como un ambiente urbano.

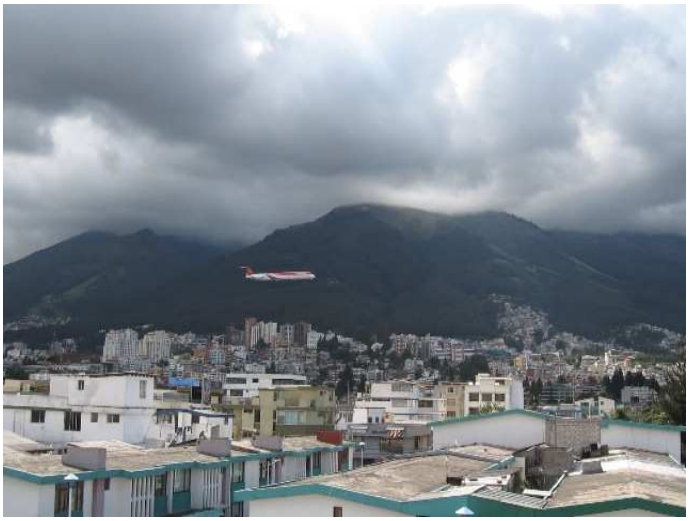


Figura 1.10: Ambiente Urbano. Quito-Ecuador.

1.2.4.3. Industrial

Los ambientes industriales se caracterizan por la presencia de gases corrosivos como el dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_X) y monóxido de carbono (CO). La Figura 1.11 es una fotografía de los alrededores de una refinería de petróleo, ambiente altamente agresivo.

Figura 1.11: Ambiente Industrial. Refinería Estatal Esmeraldas (REE). Esmeraldas-Ecuador.

1.2.4.4. Marino

Las atmósferas marinas se caracterizan por su cercanía al mar, lo cual la lleva a tener alto nivel de cloruros y otras sales de mar. Las sales de mar pueden estar disueltas en el aire y ser transportadas por el viento tierra adentro, algunas de estas sales son muy higroscópicas permitiendo retener agua en su interior y una superficie mojada más tiempo.

Figura 1.12: Ambiente Marino. Capitanía del Puerto. Esmeraldas-Ecuador.

1.2.4.5. Rural

Los ambientes rurales se caracterizan por ser apartados de las grandes ciudades, no son muy agresivos ya que no tienen los contaminantes urbanos e industriales, ni las sales que tienen los ambientes marinos. Sin embargo, en estos ambientes se pueden encontrar polvos y gases derivados de los productos químicos utilizados en las actividades agrícolas.

1.3. ENSAYOS ACELERADOS

(Q-LAB Corporation, 2006)

1.3.1. CÁMARA SALINA

Una cámara salina es un equipo de simulación de los efectos de la corrosión que presentan los metales a la intemperie. A través de la atomización de una solución salina característica, a condiciones controladas de temperatura, presión de aire y flujo de esta solución, el metal empieza a experimentar una corrosión acelerada.

A partir de 1914 se empezaron a realizar ensayos en estos equipos para probar el desempeño de revestimientos sobre acero. En 1939, ASTM estandarizó un ensayo con la designación de B117. El ensayo B117 es el ensayo histórico por convención, con el cual se ha probado el desempeño tanto de metales desnudos como de metales con revestimientos. Este ensayo genera niebla salina *continua* y ha sido cuestionado por ser poco realista.

Actualmente, se prefieren los ensayos *cíclicos*, porque incluyen condiciones de niebla, secado, humedad y otras, que se asemejan más a las atmósferas naturales. ASTM ha estandarizado ensayos cíclicos con distintos tipos de soluciones salinas, bajo la designación de G85.

El ensayo continuo es liderado por el ASTM B117 y el ensayo cíclico por el ASTM G85-A.5, más conocido como Prohesion.

1.3.1.1. Características

Una cámara salina necesita para su funcionamiento:

- Alimentación de aire comprimido.
- Alimentación de agua purificada.
- Sistema de vapores de escape.
- Drenaje

1.3.1.2. Funciones

(Q-LAB Corporation, 2006)

1.3.1.2.1. Niebla Salina

El aire comprimido y la solución salina almacenada en el reservorio, son enviados simultáneamente hacia la boquilla del pulverizador, tal como se aprecia en la cámara salina Q-Fog de la Figura 1.13, tomada como ejemplo.

Una bomba permite el transporte de la solución salina hacia el pulverizador.

El aire comprimido no va directamente hacia la boquilla del pulverizador, sino que pasa previamente por la torre de burbujeo

El agua caliente de la torre de burbujeo satura el aire comprimido, para luego ser enviado hacia el pulverizador.

En el pulverizador se unen las dos corrientes indicadas para formar una fina llovizna conocida como niebla salina.

La temperatura de la cámara se mantiene a la temperatura programada ("set point") por medio de las placas de calentamiento.

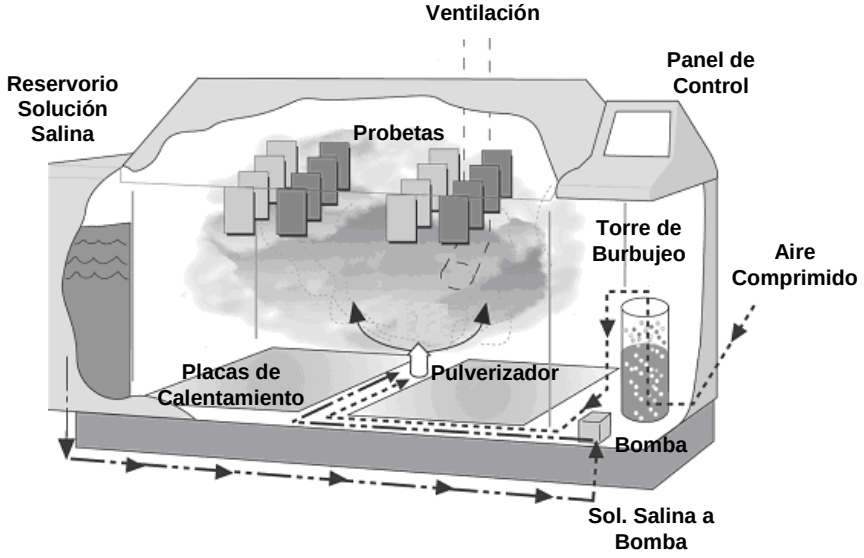


Figura 1.13: Cámara Salina. Función de Niebla Salina y Niebla Saturada.

1.3.1.2.2. Secado Forzado

El secado forzado se logra a mediante la operación de las placas de calentamiento y el soplador. La Figura 1.14 permite apreciar la función de secado forzado en la cámara salina Q-Fog, tomada como ejemplo.

El flujo de aire pasa por el soplador para alcanzar las condiciones fijadas en la cámara. El calentador de aire se activa si la temperatura deseada es mayor a la temperatura ambiente.

La temperatura de la cámara se mantiene a la temperatura programada ("set point") mediante una combinación en la operación de las placas de calentamiento y el calentador de aire.

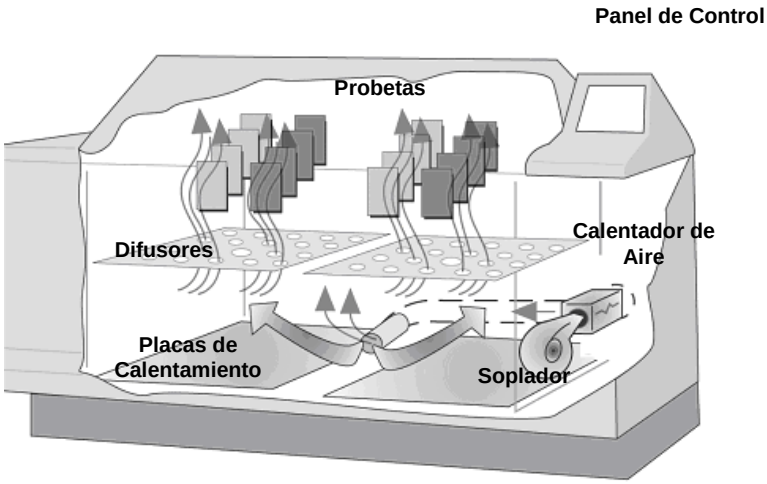


Figura 1.14: Cámara Salina. Función de Secado Forzado. (Q-Lab Corporation, 2006)

1.3.1.2.3. Humedad

La Figura 1.15 permite apreciar los componentes que trabajan en la función de humedad de la cámara salina Q-Fog, tomada como ejemplo.

La cámara es mantenida a una humedad relativa del 100%, esto es posible, gracias al calentamiento del agua purificada (independiente del reservorio de la solución salina) en el generador de vapor, para producirse, como su nombre lo indica, vapor.

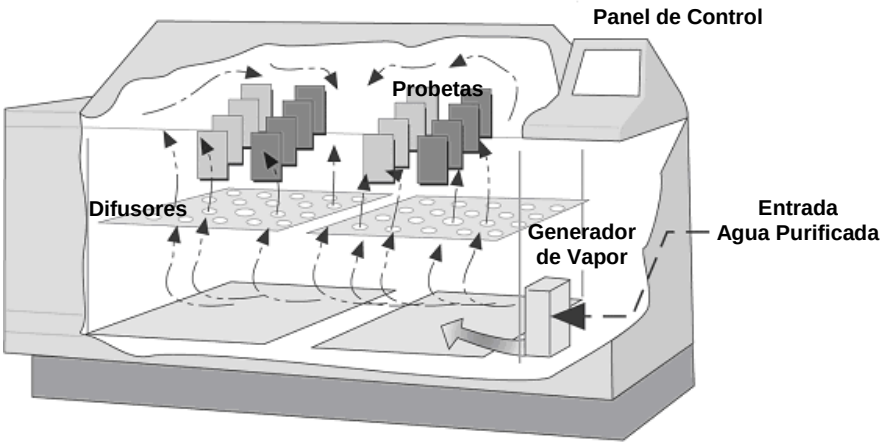


Figura 1.15: Cámara Salina: Función de Humedad. (Q-Lab Corporation, 2006)

1.3.1.2.4. Dwell (Sin acción)

La cámara solamente se mantiene a una temperatura constante, no hay generación de niebla, humedad o entrada de aire.

1.3.1.3. Estándares

1.3.1.3.1. ASTM B117-07

El ensayo ASTM B117 es el más utilizado desde hace más de 80 años, y continúa siendo referencial en las industrias.

Consiste en la exposición de las probetas a una niebla salina *continua* compuesta por un electrolito con 5% de cloruro de sodio (NaCl) a una temperatura de 35ºC.

La niebla salina es continua, este ensayo no es cíclico, como se aprecia en la Figura 1.16. Las probetas se mantienen mojadas durante todo el tiempo de exposición.

Su gran inconveniente es que los resultados no siempre pueden ser correlacionados con la exposición atmosférica, por tanto, se vuelven controversiales y poco realistas; este ensayo sirve posiblemente para simular ambientes marinos (Cremer, 1989).

Para la realización de este estándar es necesario cloruro de sodio de alta pureza (99.7%). La Tabla 1.6 indica los límites máximos permitidos de impurezas según el estándar ASTM B117.

Tabla 1.6: Límites máximos permitidos de impurezas en cloruro de sodio (NaCl) para el ensayo de niebla salina (ASTM B117 Standard, 2003).

Descripción	Cantidad
Impurezas Totales	≤0,3%
Haluros (Bromuros, Fluoruros y Yoduros)*	≤0,1%
Cobre	<0,3 ppm
Agentes anti-caking	0,00%

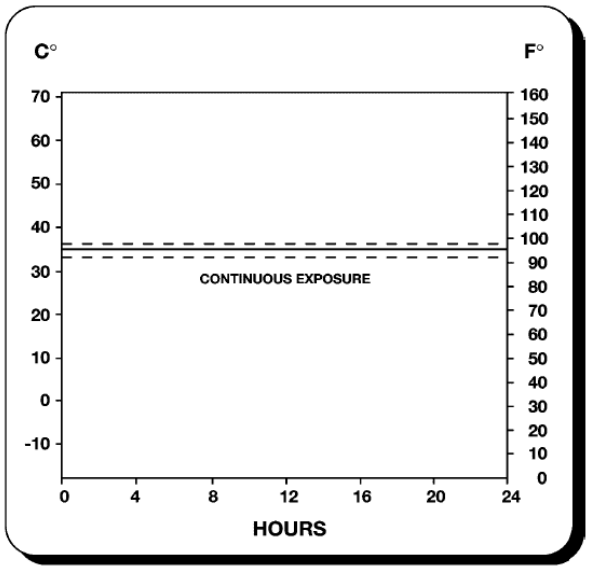


Figura 1.16: Práctica Estándar ASTM B117-03. (ASTM Standards, 2003)

1.3.1.3.2. Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5)

El ensayo ASTM G85 fue desarrollado para mejorar al B117, ya que los revestimientos desarrollados con el B117 fallaban en las atmósferas naturales; además, se consideró que la intemperie no es constante, sino cíclica, por tanto, los ensayos de laboratorio debían ser correspondientes. (Cremer, 1989)

Harrison y Tickle (1962) encontraron que el comportamiento de un primer de fosfato de zinc en ambiente industrial fue excelente, pero que su comportamiento

frente al ensayo ASTM B117 fue pobre, por tanto, sugirieron utilizan una solución de sulfato de amonio y cloruro de sodio, sales típicas de atmósferas industriales.

El ensayo ASTM G85-A.5 es más conocido como Prohesion (Protección es Adhesión) y fue desarrollado por F.D.Timmins junto con la empresa Mebon Paintings.
Timmins decidió cambiar la condición de temperatura de 35 ºC a 25ºC, con el fin de que sea correspondiente a la temperatura ambiente; y considerar una solución con las sales utilizadas por Harrison y Tickle.
Finalmente, ASTM estandarizó el ensayo Prohesion con la designación G85-A.5.

El ensayo ASTM G85-A.5 consiste en la exposición de las probetas a dos ciclos, un ciclo húmedo y un ciclo seco, como se indica en la Figura 1.17.
El ciclo húmedo consiste de una niebla salina compuesta por un electrolito débil con 0.35% de sulfato de amonio y 0.05% de cloruro de sodio a una temperatura de 25ºC durante 1 hora.
El ciclo seco consiste en un secado forzado a 35ºC durante 1 hora.
Según el tiempo programado en la cámara, los ciclos se van repitiendo.

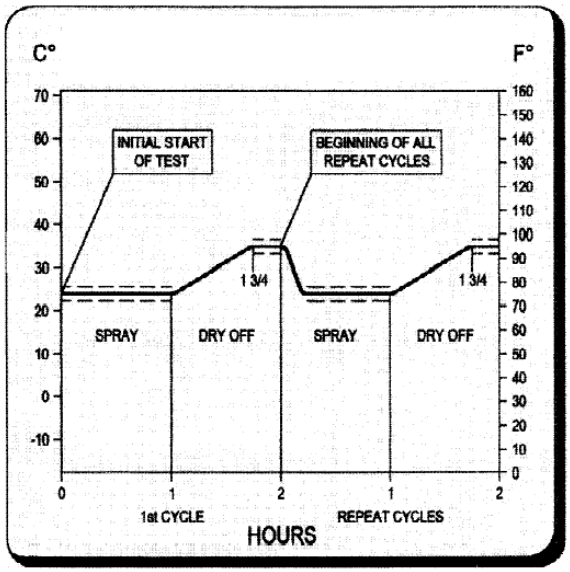


Figura 1.17: Práctica Estándar ASTM G85-A.5. (ASTM Standards, 2002)

1.3.2. CÁMARA DE ARCO DE XENÓN

1.3.2.1. Características

Una cámara de arco de xenón es un equipo de simulación de los efectos de la radiación solar y la humedad de la intemperie.

Los efectos de la radiación solar son simulados con lámparas que usan gas de xenón ionizado, para producir luz brillante y blanca con calidad de luz del día.
La simulación alcanzada considera el espectro completo de la luz solar, produce tanto luz UV, visible como infrarroja, debido a esto, las cámaras de arco de xenón se consideran como la mejor simulación actualmente disponible.

Los efectos de humedad son simulados con sistemas de pulverización (spray) de agua y/o con sistemas de control de humedad, estos sistemas también son útiles para simular efectos de erosión y choque (shock) térmico.

Existen dos tipos de cámaras, rotativas y estáticas; las rotativas constan de un tambor giratorio al estilo de un carrusel, donde son montadas las muestras para que giren alrededor de una lámpara fija ubicada en el centro; las estáticas en cambio, tienen las muestras fijas ubicadas en un panel plano inclinado a cierto ángulo. La Figura 1.18 indica los dos tipos de cámara de arco de xenón que se encuentran disponibles en el mercado.

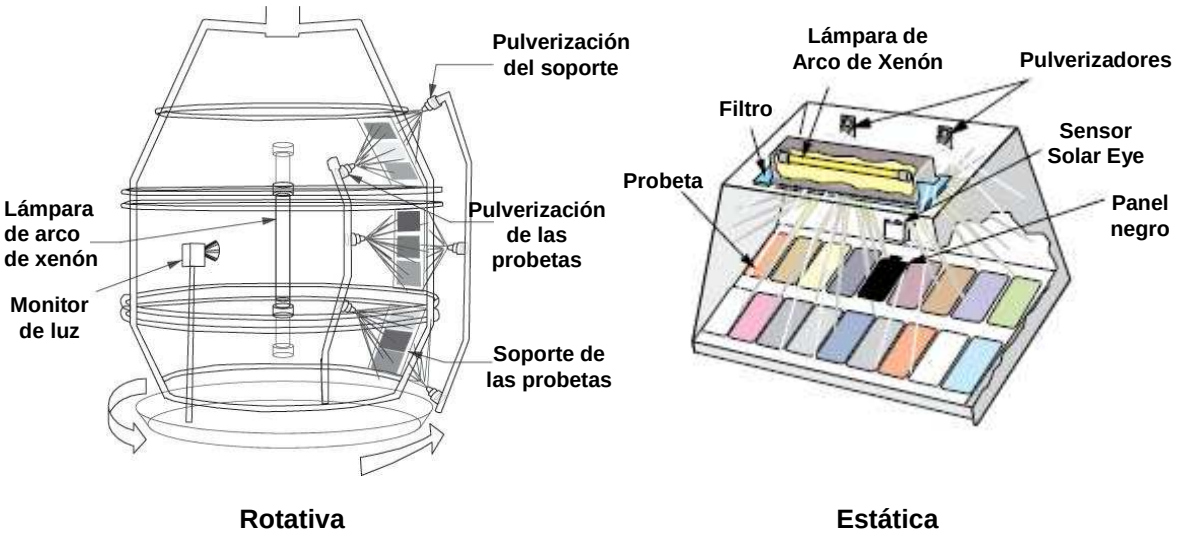


Figura 1.18: Tipos de Cámaras de Arco de Xenón. (Brennan *et al*., 2002).

Brennan *et al*., 2002, compararon el comportamiento de nueve materiales distintos en cámaras de arco de xenón rotativas como estáticas, y concluyeron que los resultados son funcionalmente equivalentes y que las variabilidad se encuentra en un margen normal si se definen y utilizan las mismas condiciones de exposición y filtro de manera correcta.

1.3.2.1.1. Tipos de Lámparas

(Q-Lab Corporation, 2007; Wikipedia, 2008)

Las lámparas de arco de xenón también son usadas para iluminación, equipos de proyección de video y otros.

Se dividen en tres categorías:

- Lámpara de xenón de arco largo de salida continua
- Lámpara de xenón de arco corto de salida continua
- Lámpara flash de xenón.

Consisten de un tubo de vidrio o cuarzo fusionado con electrodos de tungsteno a cada extremo. En las lámparas flash se encuentra además un tercer electrodo conocido como “trigger”.

Las lámparas de arco corto de xenón vienen en dos distintas variedades, xenón puro o una combinación de xenón-mercurio, la cual contiene gas de xenón y una pequeña cantidad de mercurio en estado metálico.

La generación de calor debida a la lámpara es alta por tanto son necesarios sistemas de enfriamiento. Los tipos de sistema de enfriamiento más utilizados son dos, por circulación de agua, o por circulación de aire.

La cámara de arco de xenón Q-Sun Xe-1-S es enfriada por circulación de aire, propulsado desde el soplador (“blower”) hacia el compartimento de la lámpara. El calor generado en la lámpara es arrastrado hacia la zona de ventilación ubicada en la parte posterior del equipo. El enfriamiento de este modelo de cámara se puede apreciar en la Figura 1.19.

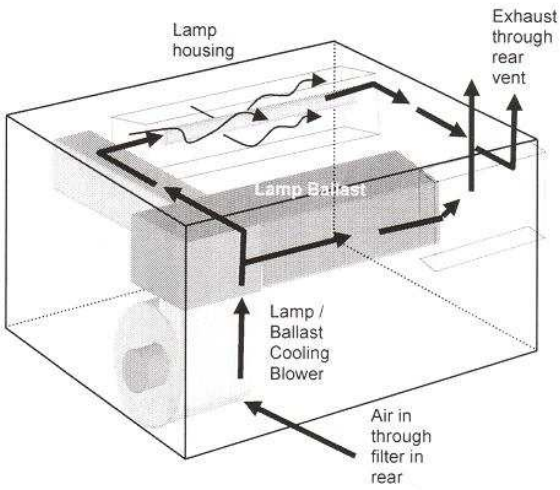


Figura 1.19: Enfriamiento de la lámpara por circulación de aire.

(Q-Lab Corporation, 2007)

1.3.2.1.2. Irradiación

(Sherbondy, 1995)

Las irradiaciones más comúnmente utilizadas en cámaras de arco de xenón son 0.35 y 0.55 W/m^2 a 340 nm., ambas se encuentran dentro del rango de la luz solar natural. La irradiación de 0.55 W/m^2 es cercana a la luz solar de verano mientras que la irradiación de 0.35 W/m^2 es cercana a la luz solar de invierno.

1.3.2.1.3. Filtros

(Q-Lab Corporation, 2007; Sherbondy, 1995)

La luz de xenón producida debe ser filtrada para evitar radiación no deseada, por este motivo, existen diferentes tipos de filtros.

La radiación UV de longitudes de onda corta es la responsable de la degradación de los materiales a la atmósfera, sobretodo en polímeros; la radiación infrarroja en cambio, produce temperatura y calor a las muestras produciéndoles una degradación térmica, efecto que no se presenta en la intemperie, por lo que es filtrada en estos equipos.

Tres categorías de filtros se encuentran generalmente para el análisis de pinturas:

- Daylight (Cuarzo-Borosilicato)
- Window Glass (Borosilicato-Borosilicato)
- Extended UV (Cuarzo-Cuarzo)

Los filtros a usarse dependen del material a ensayarse y de la aplicación que tendrá dicho material. Así, por ejemplo, los materiales a ensayarse pueden ser plásticos, textiles, pinturas; y la aplicación de estos puede ser en exteriores o interiores. En una cámara de arco de xenón Q-Sun se pueden utilizar seis distintas clases de filtros que varían según la distribución de energía espectral y que son recomendados según el material y la aplicación de éste.

1.3.2.2. Estándares

1.3.2.2.1. ASTM G155-00a$^{\varepsilon 1}$

El estándar ASTM G155 indica los requerimientos para la exposición de materiales no metálicos en cámaras de arco de xenón.
Este estándar reemplaza al ASTM G26, ampliamente utilizado y que es mencionado en bibliografía no actualizada.

Presenta doce ciclos de exposición, que se diferencian según el tipo de filtro, la irradiación, la longitud de onda, el control de temperatura de panel negro aislado o no aislado, humedad relativa y pasos característicos. Estos ciclos se encuentran en la tabla X3.1 del apéndice de este estándar.

1.3.2.2.2. ASTM D6695-03b

El estándar ASTM D6695 es específico para la exposición de pinturas y revestimientos en cámaras de arco de xenón.
Presenta siete ciclos diferentes según la aplicación de la pintura o revestimiento, así por ejemplo, revestimientos generales, pigmentos para aplicación en exteriores, madera, esmaltes para ambientes marinos, revestimientos para automotores y otros.

El Ciclo 1 es el ciclo histórico por convención para cualquier tipo de pintura o revestimiento, este tiene la misma referencia numérica tanto en el estándar ASTM G155 como en el estándar ASTM D6695, consta de dos pasos.

El primer paso tiene una duración de 102 minutos de luz continua con una irradiación de 0.35 W/m^2, temperatura de panel negro no aislado de 63ºC y humedad relativa del 50%.

El segundo paso tiene una duración de 18 minutos y consiste de luz continua de las mismas características del paso anterior, pero simultáneamente con la pulverización (spray) de agua purificada.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

El Proyecto MICAT (Mapas de Iberoamérica de Corrosividad Atmosférica) del programa iberoamericano CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) estudió la corrosividad en cinco ciudades del Ecuador mediante ensayos de campo en sus atmósferas naturales, pero este estudio no incluyó a las ciudades de Quito y Santo Domingo de los Colorados. (Morcillo *et al.*, 1998)

El Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), a partir del año 2002, ha realizado algunos estudios de corrosión y degradación de sistemas de pinturas en el Distrito Metropolitano de Quito, en el Municipio de Santo Domingo de los Colorados y en otras ciudades del Ecuador, con el objetivo de categorizar a sus atmósferas y mejorar el desempeño de los sistemas de pinturas anticorrosivas aplicados a sustratos metálicos.

La clasificación de las atmósferas según la corrosividad del acero (pérdida de peso), tiempo de humectación (TDH) y concentración de dióxido de azufre (SO_2), según la norma ISO 9223, se presenta en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1: Categorías de las atmósferas de acuerdo a la corrosividad del acero, tiempo de humectación (TDH) y concentración de dióxido de azufre (SO_2) según la norma ISO 9223.

Categoría	Corrosividad Acero	TDH	SO_2	Agresividad
	C	τ	P	
	(μm/año)	(h/año)	(mg SO_2/m^2 día)	
1	≤1,3	<10	≤10	Muy Baja
2	1,3 - 25	10 - 250	10 - 35	Baja
3	25 - 50	250 - 2500	35 - 80	Media
4	50 - 80	2500 - 5500	80 - 200	Alta
5	80 - 200	>5500		Muy Alta

*TDH: Tiempo de Humectación

Los estudios realizados por el CIAP han sido publicados como proyectos de titulación de ingeniería y presentados en eventos nacionales e internacionales; a

continuación se presenta lo más relevante y relacionado de cada uno de estos estudios con el presente trabajo de investigación.

Cazco y Recalde (2002) y posteriormente *Salinas* (2004), realizaron las primeras determinaciones de la corrosividad atmosférica de la ciudad de Quito y, basadas en la norma ISO 9223 concluyeron que la corrosión del acero al carbono corresponde a una categoría C2, equivalente a baja agresividad, y de acuerdo al tiempo de humectación a una categoría $\tau 4$ equivalente a humedad relativamente alta.

Narváez (2006), continuó el estudio en Quito y basado en la norma ISO 9223, determinó que la corrosión del acero al carbono en algunos casos alcanza la categoría C3, equivalente a agresividad media. De acuerdo al tiempo de humectación se mantiene en la categoría $\tau 4$, e incluye la clasificación de acuerdo al dióxido de azufre (SO_2), que le corresponde una categoría P_1, equivalente a muy baja.

Aldás y *Valle* (2007) determinan que el parámetro atmosférico de mayor influencia en Quito es el dióxido de azufre (SO_2), con máximos en los meses de noviembre a enero, posiblemente según ellos por el incremento en el tráfico vehicular en esa época.

Salgado y *Navarrete* (2007) realizaron una de las más recientes determinaciones de la corrosividad en la ciudad de Santo Domingo de los Colorados y reportaron que para el acero al carbono, según la norma ISO 9223, la categoría correspondiente es C2, equivalente a baja agresividad y de acuerdo al tiempo de humectación la categoría correspondiente es $\tau 5$, equivalente a muy alta agresividad.

Aldás y Rivas (2008) compararon el desempeño de recubrimientos alquídicos con fosfatos de zinc como pigmentos, en Esmeraldas (Municipio), Quito y Santo Domingo, y determinaron que la atmósfera más agresiva entre estas corresponde

a Santo Domingo, ambiente muy húmedo, de temperatura media y con proliferación de microorganismos.

Los estudios anteriores se llevaron a cabo en conjunto con la empresa Pinturas Cóndor S.A., en sistemas de pinturas con resinas alquídicas, acrílicas, nitrocelulósicas, epóxicas, poliuretanos; con pigmentos en base a cromatos y fosfatos.

El presente estudio trabaja en conjunto con la empresa Megapinturas S.A. en dos sistemas de pinturas anticorrosivas.
Se continúa con la evaluación del comportamiento de las resinas alquídicas, pero ahora el componente a considerar en la protección anticorrosiva es el pigmento óxido de hierro.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia de dos atmósferas (urbana y subtropical) en la degradación de sistemas de pinturas alquídicas, que en su formulación tienen óxidos de hierro como pigmentos barrera.

2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar ensayos de campo mediante la exposición de los revestimientos anticorrosivos en las ciudades de Quito y Santo Domingo.
- Identificar y caracterizar los parámetros más importantes de las atmósferas mencionadas, que afectan a la vida útil de los revestimientos poliméricos.
- Evaluar el desempeño de revestimientos alquídicos anticorrosivos en base a pigmentos de óxido de hierro, en las atmósferas de Quito y Santo Domingo.
- Realizar ensayos de laboratorio (acelerados) para establecer una correlación con los ensayos de campo.

2.3. METODOLOGÍA

El presente proyecto de titulación con el fin de cumplir los objetivos propuestos, llevó a cabo los pasos que se detallan a continuación:

- Aplicación de dos sistemas de pinturas alquídicas, denominadas tipo 1 y tipo 2, sobre 54 probetas de acero al carbono, en coordinación con la empresa Megapinturas S.A.
- Caracterización cuantitativa orgánica e inorgánica de los sistemas de pinturas mediante calcinación, y caracterización inorgánica cuantitativa y cualitativa mediante difracción de rayos X.
- Exposición de 14 probetas con recubrimiento alquídico en las estaciones de ensayo, 8 probetas en la estación Quito y 6 probetas en la estación Santo Domingo.
- Evaluación de las probetas de forma mensual para Quito y de forma bimensual para Santo Domingo, mediante estándares ASTM de comparación visual.
- Remoción de probetas representativas en degradación atmosférica luego de seis meses de exposición, una por cada sistema y estación, para su evaluación mediante espectroscopia de infrarrojos.
- Montaje de equipos de degradación acelerada (cámara salina y cámara de arco de xenón) mediante la adquisición e instalación de sistemas de purificación, almacenamiento, transporte de agua y aire comprimido.
- Puesta en marcha de los equipos de degradación acelerada mediante la exposición de 8 probetas en cámara salina y 6 probetas en cámara de arco de xenón, a los ensayos Prohesion y ASTM D6695-03B-Ciclo 1, respectivamente.
- Evaluación de las probetas expuestas a ensayos acelerados de manera diaria, mediante escala de grises y estándares ASTM.
- Rotulación de seguridad e identificación para equipos de degradación acelerada montados.
- Lavado de probetas expuestas en agua destilada a 38ºC (100ºF) y secado inmediato con aire caliente, para remover depósitos de sal luego de los ensayos atmosféricos y de cámara salina.

- Almacenamiento de probetas expuestas en bolsas plásticas herméticas para demostración de resultados.
- Recopilación y análisis de resultados.
- Realización de instructivos para el uso de los equipos de degradación acelerada montados.

2.3.1. MATERIALES UTILIZADOS

2.3.1.1. Sustrato Metálico

El sustrato metálico seleccionado fue acero al carbono, debido a que es una de las aleaciones más usadas en las instalaciones de la industria ecuatoriana por su disponibilidad y precio, pero que tiene gran sensibilidad a la corrosión atmosférica.

Los metales como materia prima para la manufactura representan el 10% del valor total importado por el Ecuador. (Banco Central del Ecuador, 2005).

Las probetas expuestas tanto a la atmósfera como a los ensayos acelerados, fueron placas (láminas) de acero al carbono, recubiertas con dos tipos de sistema de pintura alquídicos, denominados tipo 1 y tipo 2, con diferencias en composición.

2.3.1.1.1. Preparación

Megapinturas S.A. se encargó de la preparación de la superficie metálica, la aplicación de las pinturas y la rotulación de las probetas.

El procedimiento usado fue acordado en conjunto con la empresa y se describe a continuación:

- Lijado en dirección longitudinal con lija de agua #240 (tela de esmeril para metales) para obtener la rugosidad adecuada.
- Limpieza de grasa, impurezas y herrumbre con desengrasante y desoxidante preparado por Megapinturas S.A.
- Aplicación de la pintura utilizando soplete.

- Rotulación de las probetas con membretes adhesivos de (50 x 25) mm., luego de transcurrido el tiempo de secado. En la Figura 2.1 se indica el contenido de los membretes adhesivos:

ANTICORROSIVO
ROJO OXIDO MATE
TIPO 1

Mayo 21/07

Figura 2.1: Membrete adhesivo colocado a las probetas

Las probetas entregadas por Megapinturas S.A. fueron clasificadas y siguieron el proceso descrito a continuación.

- Medición del espesor de película de revestimiento seco con equipo: Elcometer 256FN.59 Coating Thickness Gauge en tres diferentes puntos de cada probeta, para posteriormente calcular un promedio por probeta y por sistema, tal como se indica en las tablas del Anexo II. El sistema de pintura tipo 1 tiene un espesor promedio de 2.48 mils (63.02 μm) frente al sistema tipo 2 que tiene un espesor promedio de 2.12 mils (53.95 μm).
- Aplicación de masilla epóxica Rally/Duraepoxi de Borden para la protección de los bordes de las probetas, como se indica en la figura 2.2, con el fin de que la corrosión empiece superficialmente y no desde los bordes hacia el interior.
- Aplicación de silicona en defectos de la capa de pintura, para que la corrosión no empiece por estos sitios.
- Realización de una muesca en equis en probetas seleccionadas como se indica en la Figura 2.2, para evaluar la adherencia del sistema de pintura al sustrato metálico.

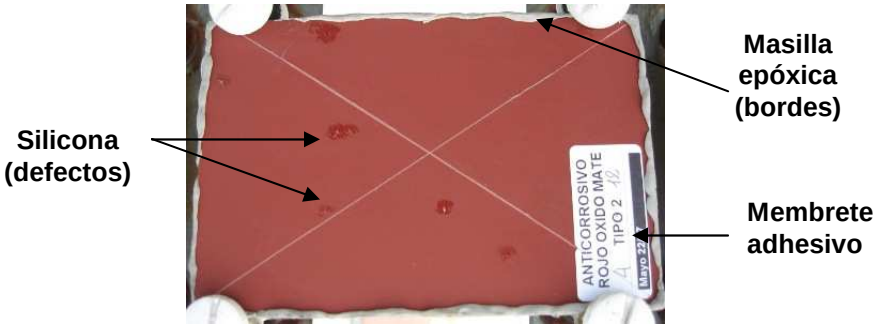


Figura 2.2: Probeta con muesca en equis.

- Corte de probetas según requerimientos para cámara de arco de xenón y espectroscopia de infrarrojos.

2.3.1.1.2. Identificación

Además del membrete adhesivo colocado por Megapinturas S.A., se identificó a todas las probetas con un código de cuatro componentes, que indica el tipo de revestimiento, utilización respetiva, orden de medición de espesor y ubicación en mueble portaprobetas y/o cámara salina.

- Primer Componente:
  Corresponde al tipo de revestimiento aplicado, identificado en números romanos, según el caso. Para el revestimiento tipo 1 se identificó con I y para el revestimiento tipo 2 se identificó con II.
- Segundo Componente:
  Corresponde a tres letras que indican la estación de ensayo o la utilización respectiva de la probeta, tal como se indica en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2: Codificación probetas. Segundo componente del código

Uso/ Estación de Ensayo	Código
Originales sin degrdación (Blanco)	BLC
Difracción de Rayos X	DRX
Cámara de Arco de Xenón	SUN
Cámara Salina	FOG
Espectrofotometría de Infrarrojos	EIR
Santo Domingo	SDM
Quito	UIO

- Tercer Componente:
  Corresponde al orden en la medición del espesor de la pintura por probeta. Este número se escribió en el costado derecho del membrete adhesivo colocado por Megapinturas S.A.
- Cuarto Componente:
  Corresponde a la ubicación de la probeta en la estación de ensayo y en cámara salina. El primer número indica la fila y el segundo número indica la

columna respectiva, estos números están separados por un signo de dos puntos.

Este componente no fue asignado a los usos de blanco, difracción de rayos X, cámara de arco de xenón y espectroscopia de infrarrojos.

Ejemplo:

I-UIO-18-5:1: Tipo 1, Estación Quito, Probeta No.18, Fila 5, Columna 1

Los códigos de todas las probetas pueden ser observados en el Anexo II.

2.3.1.1.3. Tamaños

La forma de las probetas es rectangular, con las siguientes dimensiones: largo 150 mm., ancho 100mm. y espesor de 0.5 mm. (100 x 150 x 0.5) mm.

Cuatro probetas originales (100x150) mm. se cortaron con una cizalla de chapas en el Laboratorio de Conformado Mecánico (EPN), para los tamaños requeridos en cámara de arco de xenón y espectroscopia de infrarrojos.

El tamaño requerido para la exposición en cámara de arco de xenón es de (100x50) mm., debido a que su portamuestras presenta estas dimensiones.
De una probeta original (100x150) mm. fue posible sacar tres probetas de dimensiones (100x50) mm. para la exposición en cámara de arco de xenón.

El tamaño requerido para el análisis de espectroscopia de infrarrojos es de (15x60) mm., la parte sobrante del corte fue utilizada para la difracción de rayos X que se indica más adelante en el subcapítulo 2.3.1.2.1.

Tabla 2.3: Tamaños de Probetas

Uso	Dimensiones (mm.)
Difracción de Rayos X	(100x150)
Estaciones de Ensayo	(100x150)
Cámara Salina	(100x150)
Cámara de Arco de Xenón	(100x50)
Espectroscopia de Infrarrojos	(15x60)

2.3.1.2. Revestimiento Polimérico

Para Megapinturas S.A. fue de interés conocer el desempeño de dos tipos de sistemas de pinturas, los cuales fueron denominados tipo 1 y tipo 2.

La resina utilizada en la formulación de los dos tipos de sistemas de pintura fue una resina alquídica media en soya, en la Tabla 2.4 se presenta la codificación de dicha resina.

El pigmento utilizado en la formulación de los dos sistemas de pinturas fue óxido de hierro micronizado, en la Tabla 2.5 se detallan las características de este pigmento.

Los sistemas de pintura ensayados tipo 1 y tipo 2 tienen diferencias cuantitativas en su formulación, tanto de resina, pigmento, solvente como de aditivos.

Megapinturas mantiene la información de sus formulaciones confidencialmente por motivos comerciales.

Tabla 2.4: Codificación de la Resina Alquídica usada en las Formulaciones de Pintura

Resina Alquídica Media en Soya de Alta Viscosidad	
AMSO50WAV	
Proveedor	Pinturas Cóndor
Código	50804012-14

Tabla 2.5: Caracterización del Pigmento Óxido de Hierro

Pigmento	Oxido de Hierro Rojo Sintético
Proveedor	Minerva
Fabricante	Nubiola Colombia Pigmentos S.A.
Nombre Comercial	Oxifer Standard
Especificación	R-5540
Índice de Color	Pigment Red 101 C.I. 77491
Fórmula Química	Fe_2O_3
CAS No.	1309.37.1
Apariencia	Polvo
Peso específico	4,90gr/cm3
Punto de Fusión	>1000ºC
Solubidad en agua	Insoluble
Absorción Aceite	19
Poder Coloración	100
Datos Cromáticos	DL<1,00 Da<1,00 Db<1,00 DE<1,50
Solidez Intemperie	8
Solidez a la luz	8

Tabla 2.6: Características de las Formulaciones de Megapinturas

Marca Comercial	Producto	Código	Color	Tiempo de Secado (min)	Sólidos por peso	Sólidos por volumen	Rendimiento Teórico
Euro-Anticorrosivo	Tipo 1	PM-2500 M	Rojo Mate	30 - 60 (25ºC)	57,40%	36%	14,2 m^2/litro
	Tipo 2						

2.3.1.2.1. Calcinación y Difracción de Rayos X

La calcinación permitió caracterizar el porcentaje de cargas inorgánicas y de resina que tienen los dos tipos de revestimiento.

La difracción de rayos X, en cambio, permitió caracterizar cualitativamente y cuantitativamente los componentes inorgánicos que tienen los revestimientos estudiados.

Las muestras para estos ensayos correspondieron al polvo seco desprendido al raspar las probetas con revestimiento con una espátula metálica.

Los equipos y materiales para esta preparación de la muestra se indican en la Tabla 2.7 y en la Figura 2.3:

Tabla 2.7: Equipos. Preparación de las muestras para difracción de rayos X.

Equipo	Marca	Modelo	Características
Balanza Analítica	Denver Instrumente Company	AA-200	Máx. 200g
Mufla	Vulcan	A-130	(200-1100)ºC
Mechero	Bunsen	---	---

El procedimiento para la preparación de las muestras se describe a continuación:

- Raspado de dos probetas tipo 1 y dos probetas tipo 2, el polvo desprendido fue recolectado en dos cajas Petri. También se raspó la parte restante de las probetas cortadas para infrarrojos, con el fin de obtener mayor cantidad de muestra.
- Tarado de dos crisoles de porcelana en la mufla a 600ºC durante 30 minutos. Los crisoles se introdujeron en la mufla apagada, cuando la mufla registró una temperatura de 600ºC se empezó a contabilizar el tiempo correspondiente de 30 min. Al finalizar este tiempo se retiraron los crisoles de la mufla con pinzas.
- Enfriamiento y almacenamiento de los crisoles en un desecador con cloruro de calcio ($CaCl_2$).

- Pesaje de los crisoles tarados vacíos con una pinza en la balanza analítica.
- Las muestras en polvo contenidas en las cajas Petri se colocaron en los crisoles tarados y se pesaron nuevamente. Por diferencia se obtuvo el peso de la muestra inicial.
- Los crisoles con las muestras se llevaron a la llama del mechero Bunsen por 20 minutos o hasta que la muestra desprendió humo; con el objetivo de que se queme parcialmente el material orgánico. (Si la muestra se lleva directamente a calcinación, el material orgánico generará una llama dentro de la mufla con consecuencias perjudiciales para el refractario de su interior.)
- Calcinación de las muestras en la mufla a 800ºC por 15 minutos. Cuando la temperatura alcanzó los 800ºC, se empezó a contabilizar el tiempo correspondiente. Esta temperatura fue seleccionada para garantizar la descomposición de la materia orgánica (resina) y la permanencia de los principales componentes inorgánicos. El óxido de hierro (Fe_2O_3) se descompone a temperaturas mayores a 800ºC según datos del fabricante y el carbonato de calcio ($CaCO_3$) se descompone a una temperatura mayor a 882ºC, 760 mm.Hg (Laitinen y Harris, 1982).
- Pesaje final de los crisoles con la muestra calcinada y a la llama, estos valores son necesarios para los cálculos de porcentaje de resina y cargas inorgánicas.
- Las muestras finales se colocaron en dos cajas Petri y se enviaron a difracción de rayos X en el Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

(A)

(B)

Figura 2.3: Preparación de la muestra para difracción de rayos X.

(A: Mechero Bunsen; B: Mufla Vulcan)

Todos los pesos registrados y los resultados del análisis de difracción de rayos X dado por el DEMEX se encuentran en el Anexo III.

2.3.1.3. Pupitres Portaprobetas

Se utilizaron los pupitres portaprobetas previamente diseñados y construidos por *Recalde y Cazco* (2002) bajo las normas ASTM G7 y ASTM G50, con una capacidad de 70 placas de dimensiones (100x150)mm.

Los pupitres portaprobetas constan de dos partes básicamente, una base de cuatro patas y un tablero. Las probetas fueron sujetas con pernos plásticos al tablero, evitando así la formación de pilas galvánicas.

El pupitre tiene dos factores importantes a considerar en la degradación atmosférica:

- Ángulo de inclinación del tablero 45º con respecto a la horizontal.
- Distancia de 80 cm. desde el piso hasta el tablero.

Detalles adicionales de diseño y construcción de los pupitres portaprobetas pueden revisarse en el proyecto de titulación de *Cazco y Recalde* (2002).

En el Anexo IV se presentan fotografías de los pupitres portaprobetas en las estaciones de ensayo.

2.3.2. ENSAYOS DE CAMPO

Las probetas fueron expuestas durante seis meses a dos atmósferas distintas, una atmósfera urbana, que corresponde a la ciudad de Quito, y una atmósfera subtropical, que corresponde a la ciudad de Santo Domingo de los Colorados.

En la estación Quito se expusieron ocho probetas en total, cuatro probetas tipo 1 y cuatro probetas tipo 2. Por cada tipo de revestimiento, a una probeta se le realizó una muesca en equis.

En la estación Santo Domingo se expusieron seis probetas en total, tres probetas tipo 1 y tres probetas tipo 2. En esta estación no se instalaron probetas con muesca en equis debido a que el pupitre portaprobetas no disponía de espacio para éstas.

2.3.2.1. Estación Quito

Ubicada en la terraza del edificio de dos pisos de la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, avenida Río Coca E6-85 e Isla Genovesa en la ciudadela Jipijapa.

El sector aledaño es comercial y de gran tráfico en horas pico; perpendicular a dos de las principales arterias de la ciudad, la avenida Amazonas y la avenida Seis de Diciembre; cercana a la estación Río Coca del sistema de transporte masivo Ecovía y al aeropuerto Mariscal Antonio José de Sucre.

Figura 2.4: Estación Quito. Ambiente Urbano.

2.3.2.2. Estación Santo Domingo

Ubicada en la terraza del edificio del palacio municipal del Ilustre Municipio de Santo Domingo de los Colorados, Av. Quito y Tulcán, frente al Parque Zaracay.

El sector aledaño corresponde al centro de la ciudad, de gran tráfico y con gran actividad comercial.

Figura 2.5: Estación Santo Domingo. Ambiente Subtropical.

2.3.3. ENSAYOS ACELERADOS

Se realizaron dos ensayos acelerados para estudiar el comportamiento de los revestimientos frente a estas condiciones, el primero en cámara salina y el segundo en cámara de arco de xenón.

2.3.3.1. Cámara Salina

El ensayo seleccionado para cámara salina fue el ensayo cíclico Prohesion que corresponde al estándar ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ Anexo A5 (Dilute electrolyte cyclic fog/dry test), ya que este ensayo fue desarrollado para probetas con revestimiento y presenta además una mejor simulación de la atmósfera natural que el ensayo ASTM B117, como se indicó en el subcapítulo 1.3.1.3.

El tiempo de exposición planificado fue de 250 horas (10 días aprox.); este tiempo garantiza una corrosión y un deterioro similar o mayor al dado en los seis meses de exposición atmosférica en las estaciones de Quito y Santo Domingo, ya que la corrosión media del acero en una atmósfera como la de Santo Domingo en nueve meses de estudio presenta un valor de 13.46 μm (Salgado y Navarrete, 2007) frente a una corrosión media de 44.88 μm en cámara salina durante 192 horas de exposición al ensayo ASTM B117 (Recalde y Cazco, 2002).

Las características generales del equipo, el tipo de ensayo, el tiempo de exposición y la solución salina usada se especifican en la Tabla 2.8.
Los pasos de este ensayo cíclico húmedo/seco y sus parámetros se indican en la Tabla 2.9.

Tabla 2.8: Cámara Salina. Condiciones de Exposición.

Cámara Salina:	Q-Fog	**Ciclo**	Prohesion	**Tiempo Exposición:**	250 horas
Modelo:	CCT-600	**Identificación**	Cycle B		
Solución Salina	0,35% $(NH_4)_2SO_4$; 0,05% NaCl en peso				

Tabla 2.9: Cámara Salina. Pasos y parámetros del ciclo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A5)

Paso	**Función**	**Temperatura**	**Tiempo**	**Flujo de Deposición**	**Presión Spray**
		(ºC)	(horas)	(mL/h)	(psi)
1	Niebla Salina	25	1	1 - 2	8
2	Secado Forzado	35	1	---	---
3	Final: Ir al Paso 1				

Los reactivos utilizados para la preparación de la solución salina cumplen los límites máximos permitidos de impurezas indicados en la Tabla 1.6

La cámara salina utilizada fue recientemente adquirida por el Centro de Investigación Aplicada a Polímeros (CIAP); el montaje e instalación de equipos adicionales para su funcionamiento se expone más adelante en el subcapítulo 2.3.4.

2.3.3.2. Cámara de Arco de Xenón

El ensayo seleccionado para cámara de arco de xenón fue el Ciclo 1, que se encuentra en el estándar ASTM D6695-03b Tabla 1.
El Ciclo 1 es el ciclo histórico de ASTM por convención, tiene la misma referencia numérica tanto en el estándar ASTM G155 como en el estándar ASTM D6695.

El tiempo de exposición planificado fue de 250 horas (10 días aprox.), este tiempo es sugerido como mínimo por el fabricante Q-LAB, para ensayos de pinturas alquídicas (Q-SUN, Operating Manual, Sec 9.1, Pág 3).

Las características generales del equipo, el tipo de ensayo, el tiempo de exposición, el filtro y sensor usados se especifican en la Tabla 2.10.
Los pasos de este ensayo cíclico y sus parámetros se indican en la Tabla 2.11.

Tabla 2.10: Cámara de Arco de Xenón. Condiciones de Exposición.

Cámara de Arco de Xenón:	Q-Sun	**Filtro UV:**	Daylight Q	**Tiempo Exposición:**	250 horas
Modelo:	Xe-1-S	**Sensor UV:**	340 nm		
Ciclo	ASTM D6695-03b, Ciclo 1				

Tabla 2.11: Cámara de Arco de Xenón. Pasos y parámetros del Ciclo 1 (ASTM D6695).

Paso	**Función**	**Irradiación**	**Temperatura**	**Temperatura de Aire en la Cámara**	**Humedad**	**Tiempo**
		(W/m^2)	(ºC)	(ºC)	(%)	(min.)
1	Luz	0,35	63	48	30	102
2	Luz + Spray de Agua	0,35	63	48	30	18
3	Final: Ir al Paso 1					

Las probetas ensayadas fueron reposicionadas diariamente para compensar la variación de irradiación y temperatura en la cámara, según las recomendaciones del fabricante.

La cámara de arco de xenón utilizada fue recientemente adquirida por el Centro de Investigación Aplicada a Polímeros (CIAP); el montaje e instalación de equipos adicionales para su funcionamiento se expone más adelante en el subcapítulo 2.3.5.

2.3.4. MONTAJE CÁMARA SALINA Q-FOG CCT-600

El Centro de Investigación Aplicada a Polímeros (CIAP) adquirió una cámara salina para la realización de estudios de corrosión acelerada, la cual para su montaje y puesta en marcha necesitó de la instalación de sistemas de alimentación de agua purificada y aire comprimido.

En la Tabla 2.12 se resumen las características de la cámara salina adquirida:

Tabla 2.12: Cámara Salina Q-FOG CCT-600

Marca	Q-LAB
Modelo	Q-FOG CCT-600
Características	Cámara de Corrosión Cíclica 208V, 16A, 50/60 Hz, monofásico 4 Funciones Volumen cámara 640 L Volumen reservorio 120L 8 Portamuestras con inclinación 15º Capacidad portamuestras: 17 probetas c/u. Tamaño Probetas máx. 100x300 mm.
Dimensiones Externas	(1051x1244x1821) mm (ancho x alto x largo)
Funciones	Niebla Salina Secado Forzado Humedad 100% Dwell (sin acción)

El montaje incluyó la construcción de accesos, cabinas de metal y bases de concreto, además de la instalación de sistemas de aire comprimido, purificación de agua, vapor de escape, drenaje, suministro eléctrico necesario, rotulación y adecuación de un sistema portamuestras.

Todo el proceso de montaje fue documentado con fotografías, las que se indican en el Anexo VIII.

2.3.4.1. Ubicación

La cámara salina fue ubicada en el Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria (FIQA, EPN), en un pequeño cuarto que anteriormente era utilizado para estudios con vapor.

2.3.4.2. Accesos (Puertas)

El cuarto mencionado fue adecuado; se construyeron dos accesos, con puertas de aluminio y vidrio.

El acceso frontal permite el ingreso hacia la cámara para la manipulación de las muestras, y el acceso lateral permite el mantenimiento especificado por el fabricante.

2.3.4.3. Sistema de Vapor de Escape

El sistema de vapor de escape está conformado por tubería sanitaria Plastigama de policloruro de vinilo (PVC) de 110mm, la cuál sale horizontalmente por la pared hacia el exterior del laboratorio, sube verticalmente sujetada con abrazaderas y termina en forma de “TEE” de acuerdo a los requerimientos del fabricante.

El sistema de vapor de escape recorre una longitud aproximada de 3m. desde la salida de la cámara salina hasta la terminación en forma de “TEE”.

2.3.4.4. Sistema de Aire Comprimido

El sistema de aire comprimido está conformado por un compresor y tubería de acero galvanizado para el transporte de este fluido.

Las características del compresor adquirido se indican la Tabla 2.13.

Tabla 2.13: Características del Compresor.

Sistema	Equipo	Marca	Modelo	Características
Aire Comprimido	Compresor	Coleman Powermate	Contractor CN0200412	Compresor de aire libre de aceite Serie No. A03110158 115V, 15A, 60Hz, Monofásico Potencia 2 HP 5,7 CFM a 40 psi 4,0 CFM a 90 psi Tanque 4 galones Presión de trabajo (95-125) psi

*CFM (cubic feet per minute) o ft^3/min

Debido al alto ruido que generan los compresores y a su uso continuo necesario para la alimentación de aire comprimido a la cámara salina, se instaló el compresor en la terraza del Laboratorio de Química Analítica.

Para su protección contra la intemperie, se construyó una cabina metálica (tol galvanizado), las dimensiones respectivas se indican en la Figura 2.6.

El transporte de aire comprimido se realiza mediante tubería de acero galvanizado de ½", identificada con color azul; característica del fluido (aire comprimido), número (3.1) y dirección de flujo en color de contraste blanco; según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0440:84, Colores de Identificación de Tubería.

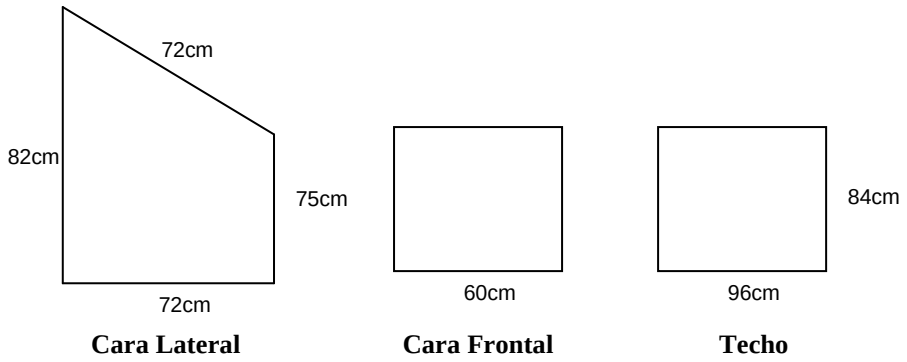


Figura 2.6: Dimensiones Cabina Metálica del Compresor

La tubería de aire comprimido recorre una longitud total aproximada de 8m. desde la terraza hasta la cámara salina. En su camino pasa por un filtro regulador de aire y agua, ubicado en la pared lateral exterior al cuarto que aloja la cámara salina.

A lo largo de toda la tubería de aire comprimido existen dos válvulas de compuerta, una a la salida del compresor y otra antes de la entrada al filtro regulador.

2.3.4.5. Sistema de Purificación de Agua

El sistema de purificación de agua está conformado por un destilador, un tanque de almacenamiento de agua destilada; un sistema de bombeo hidroneumático y tubería de policloruro de vinilo (PVC) y/o polipropileno (PP) para el transporte de este fluido.

Para cumplir los requerimientos de la cámara salina se adquirió el destilador de agua Boeco WS-3500, que tiene una capacidad de 3.5 L/h de producción de agua destilada.

Para protección y seguridad del destilador se construyó una cabina metálica (tol galvanizado y varilla) de dimensiones (34x50x65) cm., dicha cabina está anclada en una de las columnas del laboratorio.

El tanque de almacenamiento de agua destilada seleccionado fue uno de polietileno (PE) Plastigama de 500L de capacidad, con el objetivo de disponer siempre de este recurso, por los problemas de desabastecimiento recurrente de agua potable en la universidad y en la ciudad. El tanque se encuentra identificado con el fluido que contiene (agua destilada) y su capacidad total.

El agua destilada almacenada en el tanque de 500L es transportada hacia la cámara mediante el uso de un sistema de bombeo hidroneumático, que está conformado por una bomba periférica, un tanque de presión, un switch de presión o preóstato, manómetro y accesorios.

El sistema hidroneumático se seleccionó con el objetivo de que la bomba no se encuentre todo el tiempo encendida, que fuera el caso, cuando se adquiere únicamente la bomba. Este sistema mantiene presión de agua en la línea mediante el tanque de presión.

La Tabla 2.14 indica las características y los componentes de los sistemas hidroneumático y de purificación de agua.

Tabla 2.14: Cámara Salina. Sistema de Agua.

Sistema	Equipo	Marca	Modelo	Características
Hidroneumático	Tanque de Presión	Varem	Intervarem	Código: 52020361BP Material: Acero (-10 a +99) ºC Membrana de Goma Butilo Presión de Trabajo Máx.10 bar
	Switch de Presión (Preóstato)	Square D	Pumptrol	Presión de Conexión: 20 psi Presión de Desconexión: 40 psi
	Bomba	Pedrollo	JCRm 1A	Tipo: Monofásica Potencia: 0,85 HP Autocebante Jet Cuerpo: Acero Inoxidable AISI 304 Caudal hasta 50 L/min Altura Manométrica hasta 47 m
	Manómetro	Paolo	Vertical	(0 – 100)psi
	Válvula de Canastilla	Helbert	1"	Material: Bronce
Purificación de Agua (Destilación)	Destilador de Agua	Boeco	WS-3500	Capacidad: 3,5 L/hora Agua de refrigeración: 30 L Voltaje: 110V 50/60 Hz Resistencia: 2,25 KW 20A Serie: 100001
	Tanque de Almacenamiento	Plastigama	Cónico	Capacidad: 500L Polietileno 100% virgen Hermético: Tapa a presión Higiénico: Paredes lisas

La tubería de agua potable es de acero galvanizado de ½” (ya existente), la que se identificó con color verde; característica del fluido (agua potable), número (1.0) y dirección de flujo en color de contraste blanco; según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0440:84, Colores de Identificación de Tubería.

La tubería instalada para el transporte de agua destilada del tanque de almacenamiento de 500L hacia la cámara es de polipropileno (tubo tricapa, Hidro 3) y/o policloruro de vinilo (Polimex/ Plastigama), de 1” en la succión y de ½” en la descarga.

La tubería de agua destilada fue identificada con color verde; característica del fluido (agua destilada), número (1.4) y dirección de flujo en color de contraste

blanco; según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0440:84, Colores de Identificación de Tubería.

La tubería de agua destilada recorre una longitud total aproximada de 7m., desde el tanque de almacenamiento hasta la cámara salina. En su camino pasa por una válvula de compuerta, instalada para la preparación de la solución salina.

2.3.4.6. Bases de Concreto (Piso)

Se construyeron bases de concreto en el piso para la cámara salina, para el compresor y para el sistema hidroneumático de bombeo.

La cámara salina tiene dos bases de dimensiones (72x14x14) cm. (lateral, frontal, alto), estas fueron construidas por dos motivos: facilidad en la instalación del drenaje y nivelación de la cámara con el piso, debido a que el piso del laboratorio tiene una ligera inclinación.

El compresor tiene una base de dimensiones (97x84x9.5) cm. (lateral, frontal, alto), estas fueron construidas para que no se acumule agua de lluvia debido a que el equipo se encuentra en la terraza del laboratorio.
El sistema hidroneumático tiene dos bases de dimensiones (30x12x12) cm. (lateral, frontal, alto), estas fueron construidas para anclar el equipo al piso debido a su vibración propia en operación.

2.3.4.7. Drenaje

La cámara salina tiene tres drenajes:

- Cámara (½”).
- Torre de Burbujeo y Generador de Vapor (¼”).
- Reservorio de Solución Salina (¾”).

El fabricante incluyó tres mangueras para el drenaje respectivo, las cuales fueron insertadas en una sola tubería sanitaria Plastigama de policloruro de vinilo (PVC)

de 2”, instalada en la parte trasera de la cámara y sujetada al piso con abrazaderas.

La tubería fue identificada con color verde; característica del fluido (agua residual), número (1.9) y dirección de flujo en color de contraste blanco, según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0440:84, Colores de Identificación de Tubería.

La manguera de drenaje del reservorio de la cámara tiene en su inicio una válvula de bola (shut-off) para vaciar dicho reservorio, instalada por el fabricante.

La manguera de drenaje de ¼” tiene dos válvulas de bola, la primera se encuentra ubicada bajo la torre de burbujeo y la segunda se encuentra ubicada al lado izquierdo del generador de vapor, las dos son para vaciar dichos componentes de la cámara y fueron instaladas por el fabricante.

2.3.4.8. Suministro Eléctrico

En el interior de la pared lateral del cuarto donde se aloja la cámara salina, se instalaron dos interruptores. El interruptor inferior enciende dos lámparas de neón y el interruptor superior enciende el compresor directamente; para evitar equivocaciones cada interruptor está identificado con un rótulo adhesivo.

Las cabinas metálicas que alojan al compresor y al destilador tienen tomacorrientes de 110V y la cámara salina un tomacorriente de 220V, instalados según especificaciones de los fabricantes y todos con conexión a tierra.

Por proteger a los equipos de las variaciones de voltaje fue instalado un fusible en el techo del cuarto de la cámara salina, que protege al compresor y a la cámara.
Si la variación de voltaje ocurriere, el daño será en el fusible y no en los equipos mencionados.

2.3.4.9. Sistema de Portamuestras Colgado

Las probetas a ensayar en cámara salina se pueden colocar en el portamuestras dado por el fabricante. En este caso las probetas se encuentran apoyadas en su lado inferior al portamuestras y con una inclinación de 15º.

De manera adicional, se instaló un sistema para colgar las probetas en la cámara, el cuál dispone de 6 tubos de policloruro de vinilo (PVC) de 75 cm. y 24 ganchos redondos.
Las probetas a ser colgadas deben tener un orificio en el centro de su lado superior, con un diámetro mayor o igual a 12.5 mm., con el fin de poder colocarlas en los ganchos mencionados. Este sistema portamuestras se encuentra documentado con una fotografía en el Anexo VIII.12.

2.3.4.10. Rotulación de Seguridad e Identificación

La rotulación está conformada por siete carteles, ubicados estratégicamente, que identifican e indican las pautas de seguridad y los riesgos al utilizar la cámara salina y los sistemas de purificación de agua y aire comprimido.

Se utilizaron en los rótulos símbolos de seguridad encontrados en la Norma Técnica Peruana NTP 399.010-1 del 2004 y en el estándar ISO 3864-2.

2.3.4.11. Instructivos para el uso de equipos

Fueron realizados ocho instructivos para la correcta operación de la cámara salina y los sistemas que forman parte de ésta, como son el sistema de purificación de agua (destilación) y el sistema hidroneumático.

Todos los instructivos constan de objetivos, componentes, procedimiento y documentos auxiliares a utilizar. Dentro del procedimiento se especifican los implementos necesarios, las precauciones y consideraciones, el desarrollo y el esquema del equipo.

Los instructivos que se indican a continuación se encuentran en el Anexo XII:

- Operación cámara salina
- Funcionamiento sistema de destilación
- Preparación solución salina
- Funcionamiento sistema hidroneumático
- Funcionamiento aire comprimido
- Drenado de agua condensada en compresor
- Titulación de la solución salina condensada
- Limpieza sistema de destilación

2.3.5. MONTAJE CÁMARA DE ARCO DE XENÓN Xe-1-S

El Centro de Investigación Aplicada a Polímeros (CIAP) adquirió para la realización de estudios de simulación de la radiación solar y humedad, una cámara de arco de xenón, la cual para su montaje y puesta en marcha necesitó de la instalación de un sistema de alimentación de agua desionizada.

El montaje incluyó además la instalación del suministro eléctrico necesario y una rotulación de seguridad e identificación del equipo. En la Tabla 2.15 se resumen las características de la cámara de arco de xenón adquirida:

Tabla 2.15: Cámara de Arco de Xenón. Q-Sun Xe-1-S

Marca	Q-LAB
Modelo	Q-SUN Xe-1-S
Características	230V, 11A, 50/60 Hz, monofásica 1 Lámpara de arco de xenón 1800W 1 Filtro UV: Daylight Q 1 Sensor UV: 340nm Control temperatura: Panel negro (no aislado) 3 Funciones Tablero portamuestras 450x240 mm. 8 Portamuestras Capacidad portamuestras: 2 probetas c/u. Tamaño Probetas 100x50 mm.
Dimensiones Externas	(775x521x648) mm (ancho x alto x largo)
Funciones	Luz Spray de agua deionizada Oscuridad

El proceso de montaje fue documentado con fotografías, las que se indican en el Anexo VIII.

2.3.5.1. Sistema de Purificación de Agua

El sistema de purificación de agua está conformado por un sistema de filtros, membrana, desionizador, tanque de almacenamiento y bomba.

El sistema de purificación se vale de la ósmosis inversa, también llamada hiperfiltración, que permite remover partículas tan pequeñas como los iones de una solución, para mejorar el color, olor y propiedades del agua.
A continuación se detalla los componentes del sistema de purificación de agua por ósmosis inversa instalado:

- **Prefiltro:** Atrapa las partículas mayores a 5 μm presentes en el agua potable y que corresponden a sedimentos, suciedad e impurezas.

- **Filtro de Carbono:** Remueve los cloruros antes de que estos entren en contacto con la membrana, extendiendo el tiempo de vida de la membrana TFC (Thin Film Composite).

- **Filtro de Carbono en Bloque:** Remueve eficientemente el plomo soluble y otros metales pesados, antes de que entren en contacto con la membrana.

- **Membrana:** Es el corazón del sistema de ósmosis inversa, usa una membrana TFC que no puede soportar más de 1000 horas en contacto con cloruros, por tanto, previamente existen los dos filtros de carbono instalados.

- **Filtro Desionizador:** La membrana mencionada previamente aunque remueve gran cantidad de contaminantes, deja pasar trazas de estos. Para remover estas trazas (nitratos, fosfatos y silica) se agrega al sistema de tratamiento, el filtro desionizador.

El filtro desionizador tiene un lecho de resinas catiónicas y aniónicas que reaccionan químicamente con los contaminantes para obtener agua con niveles extremadamente bajos de éstos, casi indetectables.

- **Tanque de Presión:** El tanque mantiene a presión el agua purificada en la línea, mediante un diafragma de goma butilo (donde se almacena el agua), y aire a presión que se encuentra al exterior del diafragma.

- **Bomba y Switch:** La bomba permite subir la presión de entrada de agua potable con el fin de incrementar la producción de agua desionizada.
  El switch de presión o preóstato detiene la operación de la bomba si el flujo de entrada de agua potable tiene una presión mayor o igual a 80psi.

La Tabla 2.16 indica las características y los componentes del sistema de agua adquirido para la cámara de arco de xenón.

Tabla 2.16: Cámara de Arco de Xenón. Sistema de Tratamiento de Agua

Sistema	Equipo	Marca	Modelo	Características
Purificación de Agua	Sistema de Filtros y Membrana	S/N	R_2O	1 Prefiltro 1 Filtro de Carbono 1 Filtro de Carbono en Bloque 1 Membrana TFC
	Filtro Desionizador	S/N	AF-10-4030	Filter Cartridge Lote # 032370
Transporte y Almacenamiento	Switch de Presión	Aquatec		Offsetting 80psi 15A / 1/2HP / 125/250 VAC
	Adaptador de Corriente	Aquatec	MEC-B5578	Input 120V, 60 Hz, 25W Output 24VAC 800mA
	Bomba	Aquatec	CDP 6800	Pressure Boost Pump Bomba de bajo voltaje Serial Number 2260294 Model Number 6840-2503-V221 24 VAC, 50/60 Hz
	Tanque de Presión	Amtrol	Well-X-Trol Professional	Model Number WX-202 Capacidad 76 litros Presión Máx. Trabajo 125 psi Presión Total 125 psi

Todo el proceso de montaje fue documentado con fotografías, las que se indican en el Anexo VII.

2.3.5.2. Suministro Eléctrico

Se instaló un tomacorriente de 220V con conexión a tierra para la cámara de arco de xenón, cumpliendo los requerimientos del fabricante.
También se instaló un tomacorriente de 110V con conexión a tierra para la bomba del sistema de producción de agua desionizada.

2.3.5.3. Rotulación de Seguridad e Identificación

La rotulación está conformada por un cartel, que identifica e indica las pautas de seguridad y los riesgos al utilizar la cámara de arco de xenón.
En este rótulo se utilizaron símbolos de seguridad encontrados en la Norma Técnica Peruana NTP 399.010-1 del 2004 y en el estándar ISO 3864-2.

2.3.5.4. Instructivos para el uso de equipos

Se realizó solamente un instructivo para la correcta operación de la cámara de arco de xenón y el sistemas de purificación de agua desionizada que forma parte de ésta, debido a la poca complejidad para su manejo.

El instructivo consta de objetivos, componentes, procedimiento y documentos auxiliares a utilizar. Dentro del procedimiento se especifican los implementos necesarios, las precauciones y consideraciones, el desarrollo y el esquema del equipo. El instructivo que se indica a continuación se encuentra al final del Anexo XII.

- Operación Cámara Arco de Xenón

2.3.6. EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS EN ENSAYOS DE CAMPO Y ACELERADOS

La evaluación de las probetas expuestas tanto a las atmósferas naturales de las estaciones Quito y Santo Domingo, como a los ensayos acelerados de cámara salina y cámara de arco de xenón, se realizó a escala macro mediante la aplicación de los estándares ASTM de apreciación visual y a escala micro mediante espectros de infrarrojos y microscopio.

2.3.6.1. Evaluación Visual

La evaluación visual de las probetas expuestas en la estaciones Quito y Santo Domingo fue mensual y bimensual respectivamente.

La evaluación visual de las probetas expuestas a ensayos acelerados fue de manera diaria, exceptuando fines de semana y feriados.

2.3.6.1.1. Estándares ASTM

La evaluación visual corresponde a la comparación entre la probeta degradada y las figuras patrón que se encuentran al final de los estándares ASTM, para así asignar una calificación de 1 a 10 según la falla presentada.

Los estándares ASTM utilizados según el tipo de falla presentada se indican a continuación:

- Corrosión: ASTM D-610 *Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces*.
- Cuarteamiento: ASTM D-660 *Test Method for Evaluating Degree of Checking of Exterior Paints.*
- Agrietamiento: ASTM D-661 *Test Method for Evaluating Degree of Cracking of Exterior Paints.*
- Erosión: ASTM D-662 *Test Method for Evaluating Degree of Erosion of Exterior Paints.*
- Ampollaje: ASTM D-714 *Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints.*

- Escamas: ASTM D-772 *Method for Evaluating Degree of Flaking (Scaling) of Exterior Paints.*

2.3.6.1.2. Escala de Grises

(Romero, 1974)

Solamente para la evaluación del cambio de color del ensayo realizado en cámara de arco de xenón, se utilizó la *escala de grises* NBS (National Bureau of Standards).

La escala de grises para evaluar el cambio de color tiene cinco pares de rectángulos pequeños de color gris, cada par representa un grado de diferencia de color o contraste (ya sea en oscurecimiento o en profundidad).
Las unidades NBS de la escala vienen determinadas por los valores de la fórmula cromática de Adams.

Los resultados evalúan la diferencia de color entre la muestra analizada y el original con la diferencia representada en la escala.
Se debe colocar la probeta original y la probeta degradada una junto a la otra, en el mismo plano y con la misma orientación. Luego se coloca la escala cerca de las probetas, en el mismo plano de éstas, para proceder a la comparación visual.

La Tabla 2.17 indica la valoración de 1 a 5 que presenta la escala de grises y los parámetros correspondientes de diferencia de color y tolerancia.

Tabla 2.17: Escala de Grises NBS.

Valoración de Solidez	**Diferencia de Color**	**Tolerancia**
	(Unidades NBS)	
5	0	0
4	1,5	0,2
3	3,0	0,2
2	6,0	0,5
1	12,0	1,0

El grado 5 representa la más alta solidez por tanto una total resistencia al ensayo realizado y ninguna diferencia de color.
El grado 3 representa un punto intermedio e indica una mediana solidez. En este caso habría ya algún cambio de color sea en profundidad o en matiz.
El grado 1 representa la más baja solidez e implica la total descomposición y remoción del color luego del ensayo realizado.

La Figura 2.7 indica una fotografía de la escala de grises NBS con cinco pares de rectángulos usada.

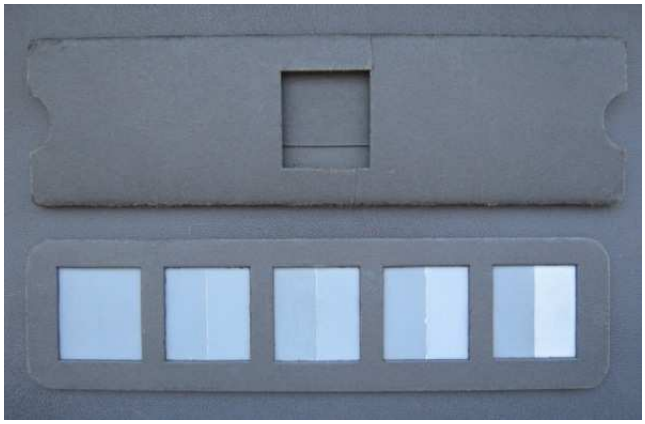


Figura 2.7: Escala de Grises NBS

2.3.6.2. Microscopio

El microscopio permitió observar en aumento de 4X y 10X las fallas presentadas en las probetas luego de la degradación atmosférica y acelerada.
Se utilizó el microscopio Thomas Scientific 1230CM, junto con el equipo de luz Fiber-Lite MI-150 High Intensity Iluminator (Dolan Jenner industries), pertenecientes al Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP), los cuales se indican en la Figura 2.8.

Figura 2.8: Microscopio y Equipo de Luz.

2.3.6.3. Espectroscopia de Infrarrojos (IR)

Las probetas retiradas a los seis meses de exposición en las estaciones de Quito y Santo Domingo, junto con las probetas del ensayo en cámara de arco de xenón y las probetas originales sin degradación ("blancos") fueron cortadas como se mencionó en el subcapítulo 2.3.1.1.3 y enviadas a análisis de espectroscopia de infrarrojos.

Las probetas utilizadas para este análisis corresponden a los códigos que se indican a continuación; los códigos de todas las probetas pueden ser observados en el Anexo II.

- I-EIR-13 (sin degradación)
- II-EIR-13 (sin degradación)
- I-SDM-20-3:10
- II-SDM-6-4:10
- I-UIO-22-5:2
- II-UIO-11-1:7
- I-SUN-5
- II-SUN-24

Los espectros obtenidos de los sistemas de pintura luego de la exposición atmosférica y exposición en cámara de arco de xenón serán comparados con los espectros de los sistemas de pintura originales sin degradación (“blancos”).

El análisis de infrarrojos se realizó en el Departamento de Ciencia y Tecnología de Polímeros, Universidad del País Vasco, España.
El equipo utilizado en este análisis fue el espectrómetro de infrarrojo Nicolet Magna 560 con transformadas de Fourier y microscopio.
Para evitar errores cuantitativos y cualitativos en los espectros registrados por este equipo, se realizaron algunas correcciones mediante el software Spectrum 2005 Versión 5.3 de Perkin Elmer, el procedimiento abarcó los siguientes pasos en su orden:

- Suavizado (Automatic Smooth)
- Corrección de la línea base (Baseline Correction, Interactive Correction)
- Normalización (Normalize)
- Corrección ATR (ATR Correction)

Los espectros que se encuentran en el estándar ASTM D2621-87(2005), indican las principales bandas de los grupos funcionales que tienen las resinas alquídicas, los cuales servirán como guía en la interpretación de los resultados de los espectros de las probetas expuestas a la degradación atmosférica y acelerada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presentación de resultados consta inicialmente de la cuantificación parcial de los componentes orgánicos e inorgánicos de los dos sistemas de pinturas estudiados (tipo 1 y tipo 2) mediante dos técnicas analíticas: calcinación y difracción de rayos X.

Posteriormente se indican los resultados generales del deterioro de los sistemas de pinturas tanto para la exposición atmosférica como para la exposición a los ensayos acelerados, resaltando las fallas más significativas.

A continuación, los resultados son analizados relacionando la composición de los sistemas de pintura y sus propiedades, con las fallas y la degradación observada.
El análisis se presenta tomando en consideración por separado, las observaciones en microscopio, los resultados por estación de ensayo, los resultados por sistema de pintura, los resultados en los ensayos acelerados y una comparación entre los resultados de la exposición atmosférica y los resultados acelerados.

Luego se indican los resultados obtenidos por espectroscopia de infrarrojos y se realiza la discusión de la degradación según el aumento o disminución de la intensidad de las bandas de los grupos funcionales principales con respecto a los espectros originales (sin degradación).

Finalmente se entrega una propuesta del mecanismo de degradación común presentado en los sistemas de pintura analizados, relacionando tanto la exposición atmosférica en las estaciones de ensayo, como también la exposición acelerada en cámara salina y cámara de arco de xenón.

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS

3.1.1. CALCINACIÓN

La calcinación permitió cuantificar los porcentajes de resina (componente orgánico) y de cargas (componentes inorgánicos) presentes en los dos tipos de sistema de pinturas estudiados. La Tabla 3.1 indica los resultados obtenidos en la calcinación a 800ºC.

Tabla 3.1: Porcentaje de resina y cargas en los sistemas de pintura por calcinación.

Sistema	%Componentes Inorgánicos (Cargas)	%Componentes Orgánicos (Resina)	Total
Tipo 1	64.43	35.57	100
Tipo 2	60.89	39.11	100

La formulación de los componentes orgánicos (resina alquídica) y los componentes inorgánicos (óxido de hierro, carbonato de calcio) entre los dos sistemas de pinturas es muy similar según los porcentajes que se observan en la Tabla 3.1.

El sistema de pintura denominado tipo 1 tiene menor contenido de componentes orgánicos, principalmente resina alquídica, que el sistema denominado tipo 2, con porcentajes de 35.57% y 39.11% respectivamente.

El sistema de pintura denominado tipo 1 tiene mayor contenido de componentes inorgánicos, principalmente pigmento y carga, que el sistema tipo 2, con porcentajes de 64.43% y 60.89% respectivamente.

Los resultados obtenidos por difracción de rayos X complementarán a los resultados de los componentes inorgánicos obtenidos por calcinación. Más adelante, en la discusión de resultados por sistema de pintura correspondiente al subcapítulo 3.2.2.1 se analizará el comportamiento de estas formulaciones frente a la exposición atmosférica.

3.1.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La difracción de rayos X permitió caracterizar los componentes inorgánicos que tienen los dos tipos de sistemas de pinturas aplicados a las probetas de acero al carbono. La Tabla 3.2 indica los resultados obtenidos por difracción de rayos X.

Tabla 3.2: Caracterización inorgánica de los sistemas de pintura mediante difracción de rayos X.

Material	Fórmula	Tipo 1	Tipo 2
		(%)	(%)
Cuarzo	SiO_2	30,0	3,0
Hematita	Fe_2O_3	10,0	4,0
Calcita	$CaCO_3$	20,0	60,0
Portlandita	$Ca(OH)_2$	12,0	22,0
Perowskita	$CaTiO_3$	2,0	3,0
Merwinita	$Ca_3Mg(SiO_4)_2$	8,0	8,0
Phlogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}F_2$	4,0	---
Muscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	14,0	---
Total		100,0	100,0

Los minerales de interés a considerar en los resultados de la Tabla 3.2 son la hematita (Fe_2O_3) y la calcita ($CaCO_3$), ya que servirán para el posterior análisis del comportamiento a la intemperie de los sistemas de pintura denominados tipo 1 y tipo 2.

La hematita (Fe_2O_3) corresponde al pigmento primario rojo óxido de hierro y la calcita ($CaCO_3$) corresponde al carbonato de calcio utilizado como pigmento extendedor o carga, dos de los principales componentes en las formulaciones de los sistemas de pintura.

Los otros minerales que se presentan en los resultados de la Tabla 3.2 no serán considerados para el análisis posterior, pero se resaltan los altos porcentajes de cuarzo y portlandita. Los altos porcentajes de cuarzo y portlandita probablemente son impurezas del carbonato de calcio utilizado, como se explicará a continuación.

El carbonato de calcio que se encuentra en el mercado generalmente corresponde al mineral sin refinación obtenido de las minas, que posteriormente se tritura y finalmente se comercializa. La falta de refinación del mineral trae como consecuencia variedad de impurezas.

De esta manera, se justifica como impurezas del carbonato de calcio la presencia de otros materiales como el cuarzo, la calcita, la perowskita, la merwinita, la phlogopita y la muscovita en los resultados de la difracción de rayos X.

El sistema de pintura denominado tipo 1 tiene mayor contenido del pigmento primario (Fe_2O_3) que el sistema denominado tipo 2, con porcentajes de 10.0% y 4.0% respectivamente.

El sistema de pintura denominado tipo 1 tiene menor contenido del pigmento extendedor o carga ($CaCO_3$) que el sistema tipo 2, con porcentajes de 20.0% y 60.0% respectivamente.

3.2. RESULTADOS GENERALES DEL DETERIORO DE LOS REVESTIMIENTOS

El deterioro en los sistemas de pintura estudiados debido a la exposición atmosférica en las estaciones de Quito y Santo Domingo, con ambientes urbano y subtropical respectivamente, se caracterizó por dos fallas principales:

- Corrosión
- Pérdida de Color (Decoloración)

La evaluación del deterioro de las probetas a escala macro fue realizada solamente con el estándar de apreciación visual ASTM-D610-01, el cual corresponde a la evaluación de la corrosión en superficies de acero protegidas por sistemas de pinturas. La cuantificación mediante este estándar y su equivalencia en porcentaje de corrosión se encuentra en el Anexo VI.

Las fallas de corrosión y pérdida de color fueron documentadas con fotografías para su apreciación, discusión y demostración. El Anexo V y el Anexo IX presentan fotografías del avance de la degradación de los dos sistemas para una probeta representativa, en exposición atmosférica y en cámara salina respectivamente.

Los otros estándares de apreciación visual ASTM, mencionados previamente en la parte experimental, subcapítulo 2.3.6.1.1, no fueron utilizados, ya que las fallas, tales como, cuarteamiento, agrietamiento, erosión, ampollaje o escamas no se presentaron en los sistemas de pinturas.

La evaluación del deterioro de las probetas a escala micro, mediante microscopio permitió confirmar que la falla presentada en las estaciones fue corrosión.

La evaluación del deterioro de las probetas a escala micro mediante espectroscopia de infrarrojos permitió caracterizar que las fallas presentadas se

deben principalmente a la pérdida de material alifático (-CH_3 y -CH_2) y a la pérdida del grupo carbonilo ester, lo cual indica la degradación de la resina alquídica.

El deterioro en los sistemas de pintura estudiados debido a la exposición en cámara salina con el ciclo Prohesion por 250 horas, presentó la falla de corrosión para el sistema de pintura tipo 1 y la falla de pérdida de color para el sistema de pintura tipo 2.

El deterioro en los sistemas de pintura debido a la exposición en cámara de arco de xenón frente al Ciclo 1 (ASTM D6695-03b) por 250 horas, presentó únicamente la falla de pérdida de color, no se presentó corrosión.

La adherencia de los sistemas de pintura al sustrato (acero al carbono) tuvo un buen comportamiento; debido a que las probetas con muesca en equis destinadas para el estudio de esta propiedad, no presentaron delaminación ni otras fallas asociadas, como se indica en la Figura 3.1.

SISTEMA TIPO 1	**SISTEMA TIPO 2**
Cámara Salina (Prohesion)	**Estación Quito**
250 horas	6 meses

Figura 3.1: Comparación entre sistemas. Adherencia. Lado Anterior. Muesca en Equis.

3.2.1. RESULTADOS MICROSCOPIO

La observación al microscopio de las probetas degradadas tanto en las estaciones de Quito y Santo Domingo como en los ensayos acelerados confirma que las fallas principales son la corrosión y la pérdida de color o decoloración.

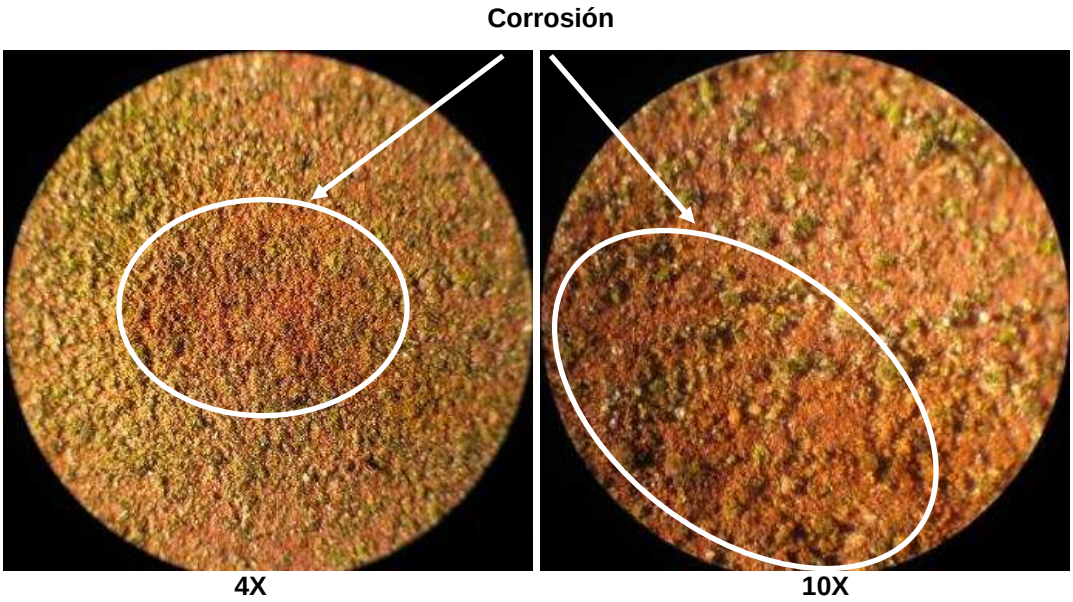


Figura 3.2: Microscopio. Estación Santo Domingo. Exposición 6 meses. Sistema Tipo 1. Lado Anterior.

La Figura 3.2 indica la observación al microscopio con aumento de 4X y 10X del sistema tipo 1 para el lado anterior, expuesto en la estación Santo Domingo por seis meses; la corrosión se confirma ya que el color característico de la herrumbre se diferencia del color de la pintura.

Además, se resalta la presencia de hongos (moho verde) en toda la superficie de la pintura, fenómeno que fomenta aún más la corrosión.

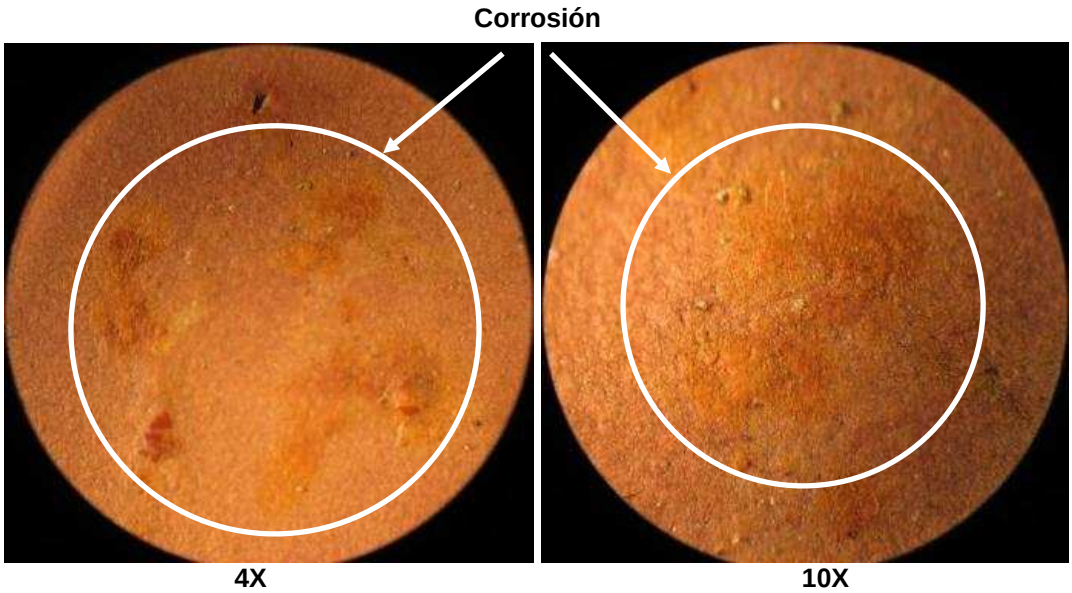


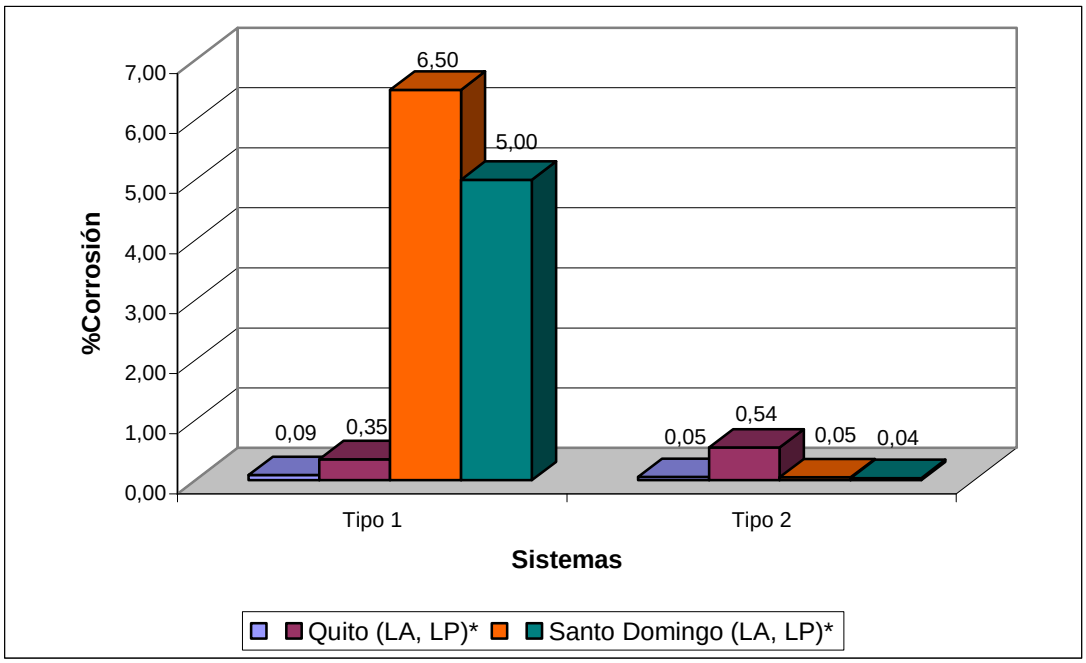
Figura 3.3: Microscopio. Estación Santo Domingo. Exposición 6 meses. Sistema Tipo 2. Lado Posterior.

La Figura 3.3 confirma la presencia de la corrosión para el sistema tipo 2 en su lado posterior, el color característico de la herrumbre se diferencia notablemente del color de la pintura debido al pigmento.

Se resalta que en el lado posterior de las probetas, tanto en el sistema tipo 1 como en el sistema tipo 2 no se observó la presencia de hongos (moho verde).

La Figura 3.2 y la Figura 3.3 confirman la presencia de la corrosión en el sistema tipo 1 y tipo 2 en la estación Santo Domingo

3.2.2. RESULTADOS POR SISTEMA DE PINTURA



*LA: Lado Anterior, LP: Lado Posterior.

Figura 3.4: Evaluación comparativa entre sistemas. Porcentaje de corrosión vs. Sistemas. Resultados sexto mes.

La Figura 3.4 indica que el sistema de pintura alquídica de mayor protección anticorrosiva es el sistema tipo 2, tanto para la estación Quito (UIO) como para la estación Santo Domingo (SDM), ya que presenta los porcentajes de corrosión más bajos en comparación con los porcentajes de corrosión del sistema tipo 1 (mayores a la unidad en la estación SDM).

Sin embargo se debe resaltar que en la estación Quito (UIO), el lado posterior del sistema tipo 2 presenta mayor corrosión (0.54%) que este mismo lado para el sistema tipo 1 (0.35%). Por lo tanto, la aseveración anterior que generaliza al sistema tipo 2 como el de mayor protección anticorrosiva, tiene en este caso una excepción particular.

La diferencia entre estos porcentajes de corrosión es mínima (0.19%), por lo cual no es representativa frente a los altos porcentajes de corrosión del sistema tipo 1 en la estación Santo Domingo (SDM): 6.5% y 5% para el lado anterior y posterior

respectivamente, por lo cual se continúa con la aseveración que generaliza al sistema tipo 2 como el de mayor protección anticorrosiva.

La Figura 3.5 y la Figura 3.6 sirven para realizar la comparación visual de los dos sistemas de pintura para las dos estaciones frente a su probeta original (blanco), considerando la falla de pérdida de color.

Se resalta que el sistema de pintura tipo 2 presenta mayor pérdida de color o decoloración en las dos estaciones.

SISTEMA TIPO 1		SISTEMA TIPO 2	
Estación Quito			
Blanco	Degradada	Blanco	Degradada

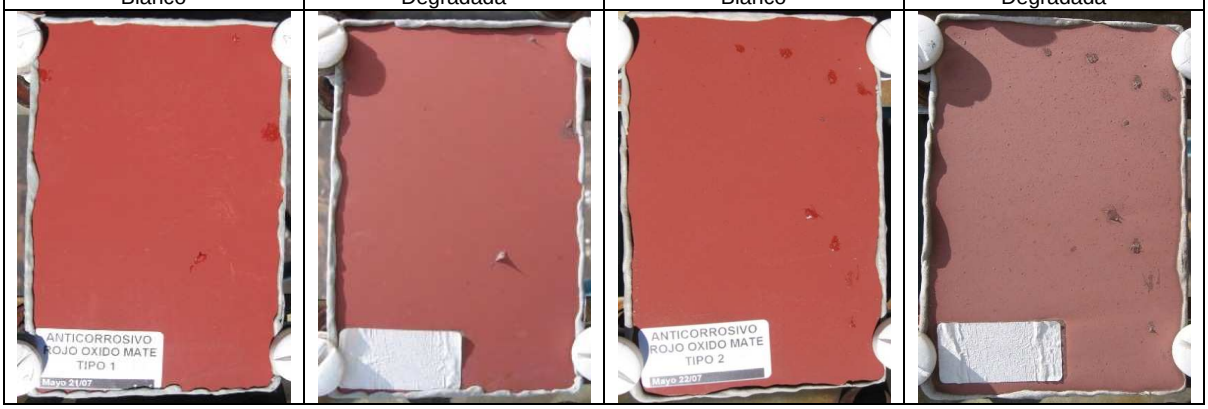
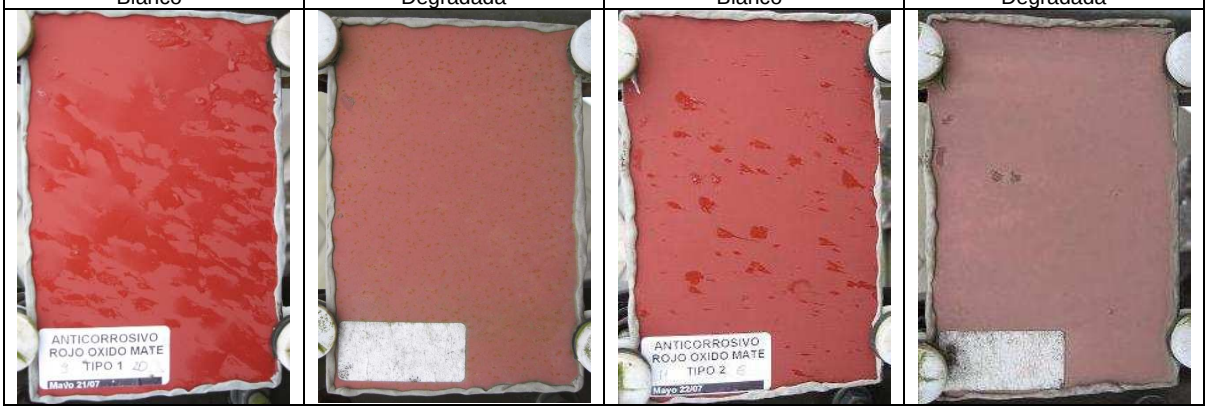


Figura 3.5: Fotografías comparativas entre sistemas. Estación Quito. Lado anterior. Exposición: 6 meses.

SISTEMA TIPO 1		SISTEMA TIPO 2	
Estación Santo Domingo			
Blanco*	Degradada	Blanco*	Degradada



*Al momento de tomar las fotografías se presentó lluvia en la estación.

Figura 3.6: Fotografías comparativas entre sistemas. Estación Santo Domingo. Lado anterior. Exposición: 4 meses.

3.2.2.1. Discusión de Resultados

Los dos sistemas de pintura alquídica tienen valores similares en proporción de componentes orgánicos e inorgánicos, como se indicó previamente en el subcapítulo 3.1.1 (calcinación) y como se aprecia en la Tabla 3.1.

El componente orgánico principal es la resina alquídica, que al parecer es insuficiente en la formulación, por lo cual no recubre en su totalidad a las partículas de los pigmentos rojo óxido de hierro (primario) y carbonato de calcio (pigmento extendedor o carga) permitiendo así que estos migren hacia la superficie y que los sistemas de pintura sean vulnerables al ataque de la intemperie.

A continuación se amplia esta explicación tomando en cuenta por separado a cada uno de los sistemas de pintura.

El sistema de pintura tipo 1 es el que presenta mayor corrosión, pero menor pérdida de color (decoloración). En cuanto a su formulación, tiene mayor contenido de pigmento (Fe_2O_3) y menor contenido de carbonato de calcio ($CaCO_3$), frente al sistema tipo 2, como se indicó en el subcapítulo 3.1.2.
Su comportamiento frente a la exposición atmosférica probablemente se debe a las siguientes acotaciones:

- El mayor contenido de pigmento rojo óxido de hierro (Fe_2O_3) incrementa el valor de la relación PVC/CPVC del sistema de pintura, alcanzando valores mayores a la unidad, consecuentemente la cantidad de resina alquídica es insuficiente y algunas de las partículas de pigmento no serían recubiertas en su totalidad, permitiendo así, que el pigmento migre a la superficie.
  La relación PVC/CPVC con un valor probable mayor a la unidad, permitió una mayor permeabilidad del sistema frente al agua, oxígeno, contaminantes y microorganismos, facilitando su contacto con el sustrato (acero al carbono), para que así, se desencadene mayor corrosión.

- El efecto barrera del pigmento anticorrosivo rojo óxido de hierro no se desarrolló en el sistema, ya que su formulación ocasionó que previamente el pigmento migre hacia la superficie, como se expuso anteriormente.

- El pigmento primario cuyo rol principal es la protección anticorrosiva mediante el efecto barrera, al migrar deja al sistema tipo 1 vulnerable a la corrosión y este es el motivo para que presente mayores porcentajes.

- La cantidad de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en la formulación es baja en este sistema; por esta razón, el carbonato que migra hacia la superficie es insuficiente para darle el aspecto “blanquecino” presentado en el sistema de pintura tipo 2.
  De esta manera, se justifica que el color rojo debido al pigmento permanezca durante la exposición atmosférica y la pérdida de color sea mínima.

El sistema de pintura tipo 2 es el que presenta menor corrosión, pero el de mayor pérdida de color (decoloración). En cuanto a su formulación tiene menor contenido de pigmento (Fe_2O_3), pero mayor contenido de carbonato de calcio ($CaCO_3$), frente al sistema tipo 1, como se indicó en el subcapítulo 3.1.2.
Su comportamiento frente a la exposición atmosférica probablemente se debe a las siguientes acotaciones:

- El mayor contenido del pigmento extendedor, carbonato de calcio ($CaCO_3$), ubica igualmente a este sistema de pintura en valores mayores a la unidad para la relación PVC/CPVC, consecuentemente, es posible que la cantidad de resina alquídica en la formulación sea insuficiente, ya que las partículas de carbonato no fueron recubiertas en su totalidad por la resina, permitiendo así, que el carbonato migre hacia la superficie.
  La relación PVC/CPVC con un valor probable mayor a la unidad, permitió una mayor pérdida de color, esta relación considera toda la formulación del sistema de pintura como se indicó en el subcapítulo 1.1.1.1.

- Los variables medioambientales de las estaciones Quito y Santo Domingo reaccionaron con la gran cantidad de carbonato de calcio ($CaCO_3$) presente en la formulación; la cual migró hacia la superficie para darle una característica estética más “blanquecina” al sistema de pintura, que se aprecia visualmente como una pérdida de color o decoloración.

- El carbonato de calcio forma una capa “blanquecina” como se indicó antes, que temporalmente protege de la corrosión al sistema tipo 2, es así que se explica que este sistema presente menor corrosión que el sistema tipo 1.

- Considerando que primero migró el carbonato de calcio por el aparecimiento de “manchas blancas”, luego migraría el pigmento anticorrosivo rojo óxido de hierro, por lo tanto, luego de la migración del carbonato se desencadenaría la corrosión y la característica adicional del efecto barrera no podría trabajar adecuadamente.

3.2.2.2. Sistema Tipo 1

La Figura 3.7 y la Figura 3.8 presentan el avance de la corrosión para el sistema tipo 1, considerando el lado anterior y el lado posterior respectivamente.

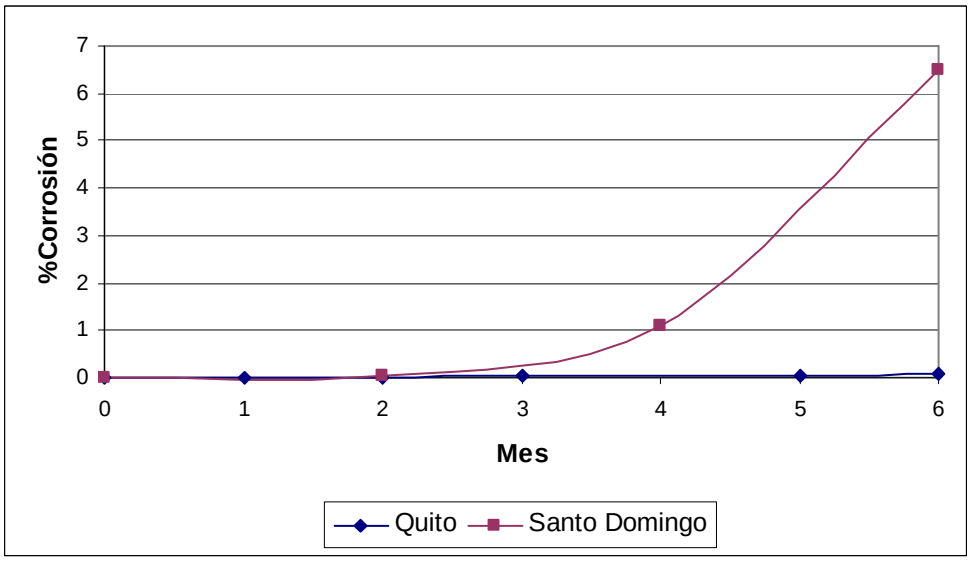


Figura 3.7: Sistema Tipo 1. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior.

La Figura 3.7 indica que la corrosión para el lado anterior del sistema tipo 1 empieza luego del segundo mes de exposición en la estación Santo Domingo (SDM) con un valor promedio final de 6.5%, en cambio, la corrosión en la estación Quito (UIO) tiene porcentajes muy bajos menores a 0.08%.

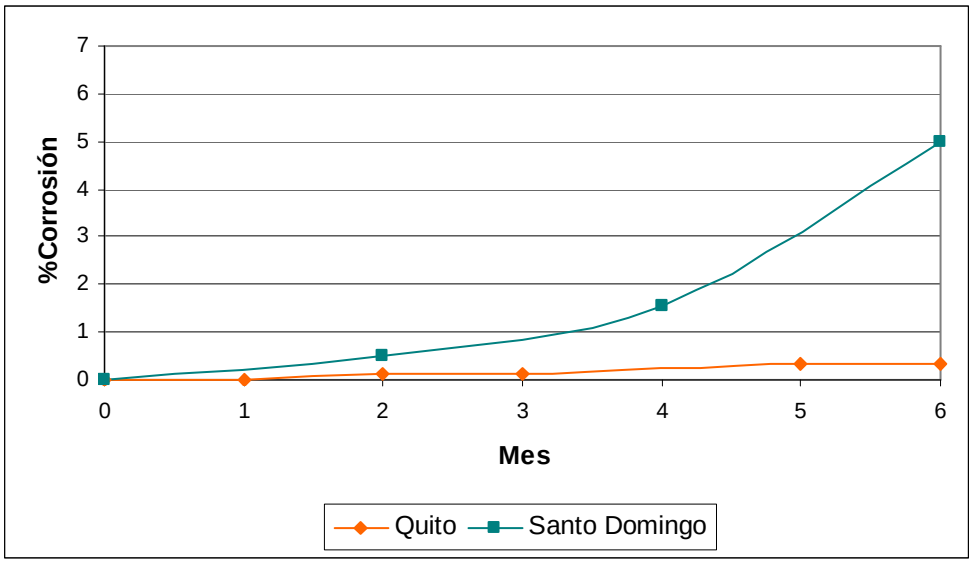


Figura 3.8: Sistema Tipo 1. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior.

La Figura 3.8 indica que la corrosión para el lado posterior del sistema tipo 1 empieza alrededor del primer mes, antes que en su lado anterior como se observa al comparar con la Figura 3.7.

El lado posterior del sistema tipo 1 en la estación Quito (UIO) presentó porcentajes de corrosión más altos que en su lado anterior con un promedio de 0.35%.

El lado anterior así como el lado posterior tienen porcentajes menores al 1% en la estación Quito (UIO) y porcentajes menores al 6.5% en la estación Santo Domingo (SDM).

Por tanto, la estación Santo Domingo (SDM) de ambiente subtropical, es más agresiva que la estación Quito (UIO) de ambiente urbano para el sistema tipo 1.

3.2.2.3. Sistema Tipo 2

La Figura 3.9 y la Figura 3.10 presentan el avance de la corrosión para el sistema tipo 2, considerando el lado anterior y el lado posterior respectivamente.

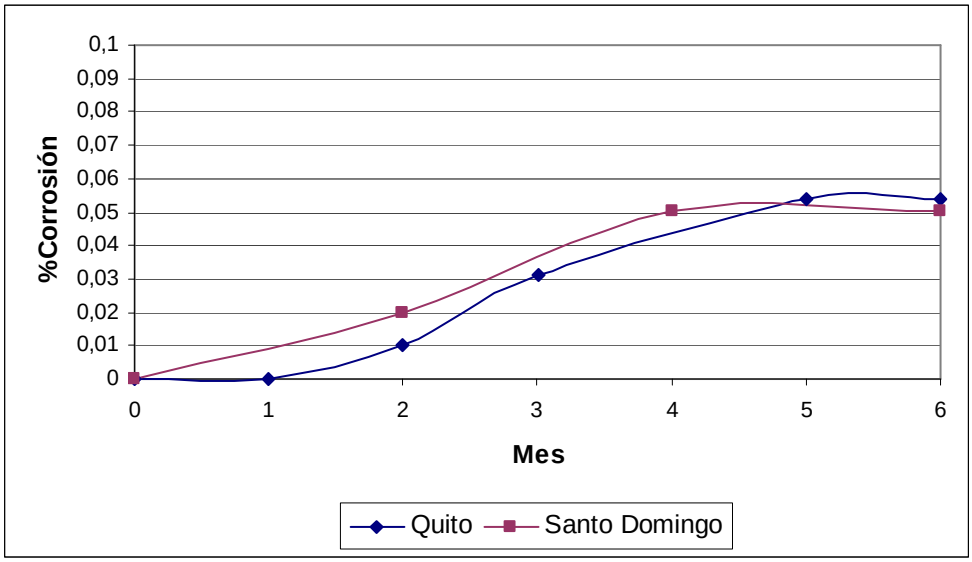


Figura 3.9: Sistema Tipo 2. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior**.**

La Figura 3.9 indica que la corrosión para el lado anterior del sistema tipo 2 tiene un valor promedio al final de la exposición de 0,05% para las dos estaciones.

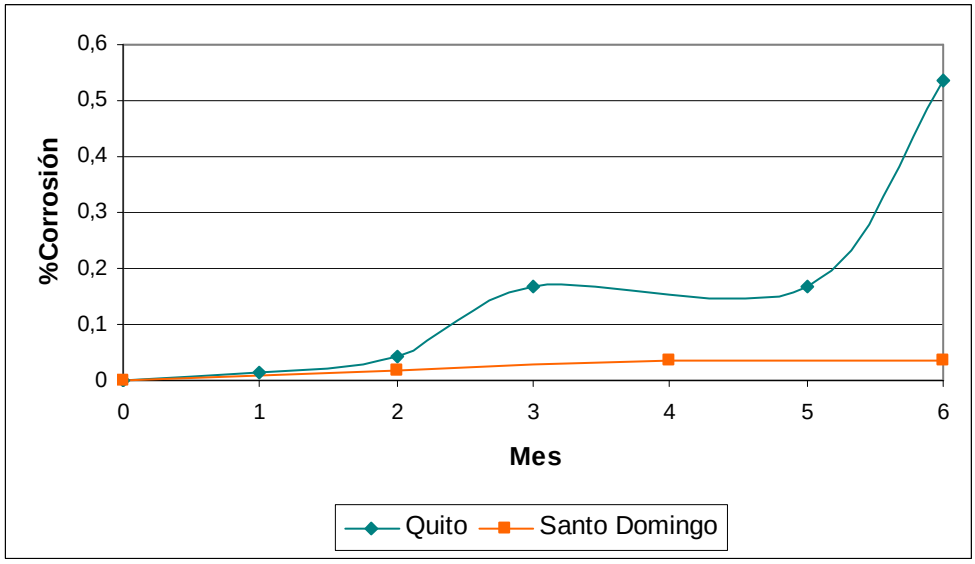


Figura 3.10: Sistema Tipo 2. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior.

La Figura 3.10 indica que la corrosión para el lado posterior del sistema tipo 2 tiene un valor promedio final de 0.54%, en cambio, la corrosión en la estación Santo Domingo (SDM) tiene porcentajes muy bajos menores a 0.05%.

El lado posterior del sistema tipo 2 en la estación Quito (UIO) presentó porcentajes de corrosión más altos que en su lado anterior con un promedio de 0.54% frente a un 0.05% respectivamente.

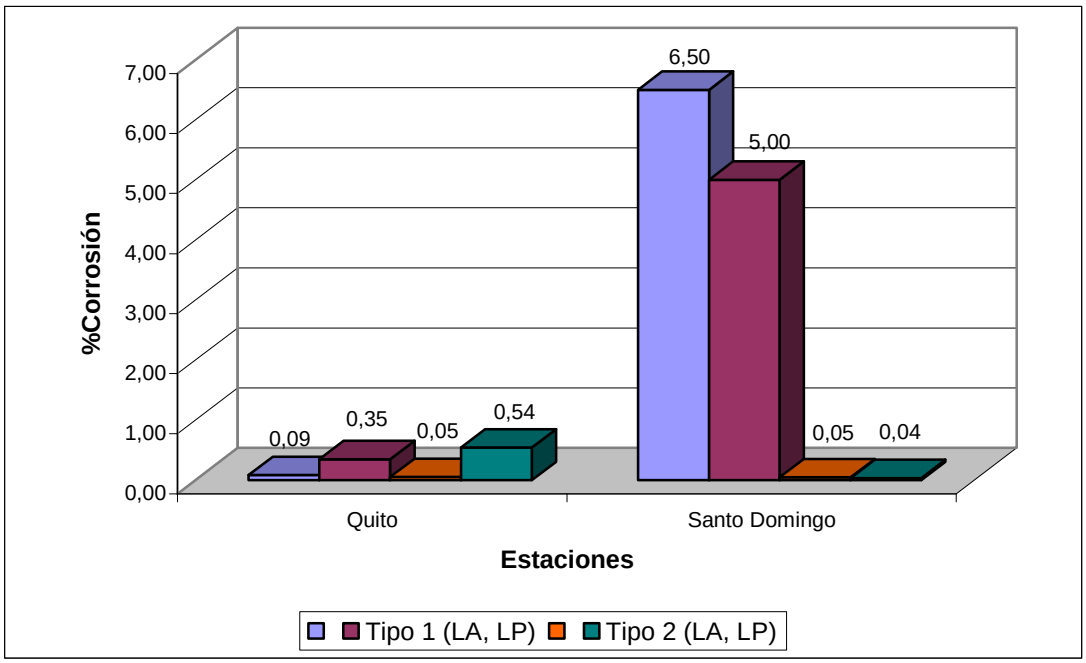
Al relacionar estos resultados con las variables medioambientales se puede afirmar que el lado anterior permanece seco la mayoría del tiempo de exposición, debido a la fuerte radiación UV de la ciudad de Quito (UIO). Además, al momento que se presentan las lluvias todo contaminante acumulado en la superficie del lado anterior será arrastrado y lavado.

Por tanto, el lado posterior que no está expuesto en dirección del sol, permanecerá mayor tiempo expuesto a la humedad, ya que esta no será secada con la radiación UV; el agua se acumulará en la superficie y favorecerá la corrosión. Así, se explica que el lado posterior presente mayor corrosión que el lado anterior en la estación Quito (UIO).

El lado posterior como el lado anterior del sistema tipo 2 en la estación Santo Domingo (SDM) presentó porcentajes de corrosión similares alrededor de 0.05%.

Finalmente, así como se realizó la discusión en el subcapítulo anterior 3.2.2.2, en la cual la estación Santo Domingo es más agresiva para el sistema tipo 1; en el caso del sistema tipo 2 no es posible decidir cual estación es más agresiva, debido a que los porcentajes de corrosión presentados son muy similares para su lado anterior y difieren en muy poca cantidad en su lado posterior en las dos estaciones.

3.2.3. RESULTADOS POR ESTACIÓN



*LA: Lado Anterior, LP: Lado Posterior.

Figura 3.11: Evaluación comparativa entre estaciones. Porcentaje de corrosión vs. Estaciones. Resultados sexto mes.

La Figura 3.11 indica que la estación de mayor agresividad atmosférica con respecto a la protección anticorrosiva del acero mediante el uso de pinturas alquídicas es la estación Santo Domingo (SDM), considerando al sistema tipo 1.

Los porcentajes de corrosión para el sistema tipo 2 en la estación Santo Domingo (SDM) son similares a los de la estación Quito (UIO) en el lado anterior (0.05%), pero en esta última se presenta mayores porcentajes de corrosión en el lado posterior.

Sin embargo, los resultados de pérdida de color o decoloración para los dos sistemas son mayores en la estación Santo Domingo (SDM), como se puede apreciar en la Figura 3.12 y en la Figura 3.13.

La Figura 3.12 y la Figura 3.13 sirven para realizar la comparación visual de los dos sistemas de pintura entre el lado anterior y el lado posterior, para las dos estaciones de ensayo, considerando tanto la corrosión como la pérdida de color.

SISTEMA TIPO 1			
Estación Quito		**Estación Santo Domingo**	
Lado Anterior	Lado Posterior	Lado Anterior	Lado Posterior

Figura 3.12: Fotografías comparativa entre estaciones. Sistema Tipo 1.

Exposición: 6 meses.

La Figura 3.12 indica que el sistema de pintura tipo 1, tanto en su lado anterior como posterior, se caracteriza por presentar mayor corrosión en la estación Santo Domingo (SDM) que en la estación Quito (UIO).

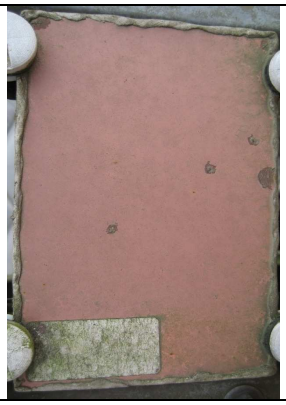
SISTEMA TIPO 2			
Estación Quito		**Estación Santo Domingo**	
Lado Anterior	Lado Posterior	Lado Anterior	Lado Posterior
			

Figura 3.13: Fotografías comparativa entre estaciones. Sistema Tipo 2.

Exposición: 6 meses.

La Figura 3.13 indica que el sistema de pintura tipo 2, tanto en su lado anterior como posterior, se caracteriza por presentar mayor pérdida de color o decoloración en la estación Santo Domingo (SDM) que en la estación Quito (UIO).

Por tanto, la estación Santo Domingo (SDM) de ambiente subtropical es la que se caracteriza por ser más agresiva para los dos sistemas de pintura tomando en cuenta las dos fallas presentadas, corrosión y pérdida de color o decoloración, tanto para el lado anterior como para el lado posterior de las probetas expuestas.

3.2.3.1. Discusión de Resultados

Las causas principales para explicar el mayor deterioro de los sistemas de pintura en la estación Santo Domingo (SDM) frente a la estación Quito (UIO), se exponen a continuación:

- El ambiente subtropical de Santo Domingo tiene temperaturas en un rango entre los 20ºC y los 30ºC, humedad relativa que oscila entre (80-100) % y alta nubosidad, factores que influyen para mayores tiempos de humectación (TDH).
- La categoría atmosférica correspondiente según el tiempo de humectación (TDH) es $\tau 5$, equivalente a muy alta agresividad. (Salgado y Navarrete, 2007).
- Proliferación de microorganismos como hongos (moho verde) como se pudo apreciar al microscopio en la Figura 3.2.

La estación Quito (UIO) de ambiente urbano presenta menor deterioro debido a que sus características atmosféricas son diferentes:

- El ambiente urbano de Quito tiene temperaturas en un rango entre los 12ºC y los 16ºC, humedad relativa que oscila entre (80-88)% y baja nubosidad, factores que influyen para menores tiempos de humectación (TDH) que en el ambiente de Santo Domingo.
- La categoría atmosférica correspondiente según el tiempo de humectación (TDH) es $\tau 4$, equivalente a alta agresividad (Narváez, 2006)

- No se presentan microorganismos como hongos, debido a que el clima durante la exposición fue más seco, condición no favorable para su proliferación.

3.2.3.2. Estación Quito

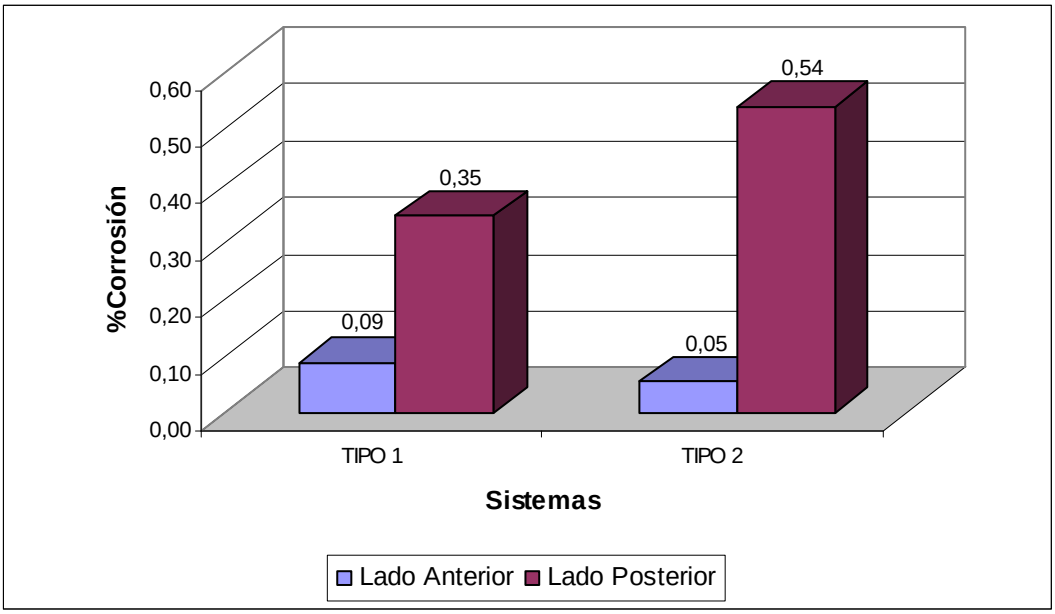


Figura 3.14: Estación Quito. Porcentaje de Corrosión en el Sexto Mes. Comparación Lado Anterior vs. Lado Posterior.

Los dos sistemas de pinturas presentan porcentajes de corrosión similares luego de seis meses de exposición en la estación Quito (UIO), como lo indica la Figura 3.14.

La corrosión se presenta en mayor cantidad en el lado posterior de las probetas instaladas para los dos sistemas de pintura, debido posiblemente a que la humedad en el lado posterior de la probeta puede permanecer en su superficie, a diferencia del lado anterior donde por interrelación con la alta radiación UV mantiene seca la superficie de la probeta. La humedad sería la principal responsable de la corrosión para este caso.

La aseveración de mayor humedad para el lado posterior de las probetas se confirma con los espectros infrarrojos del sistema tipo 2 presentados más adelante en el subcapítulo 3.5.2.1.2; las bandas del grupo –OH se incrementan con respecto al espectro sin degradación.

La Figura 3.15 y la Figura 3.16 presentan el avance de la corrosión para la estación Quito (UIO), considerando a los dos sistemas de pinturas estudiados.

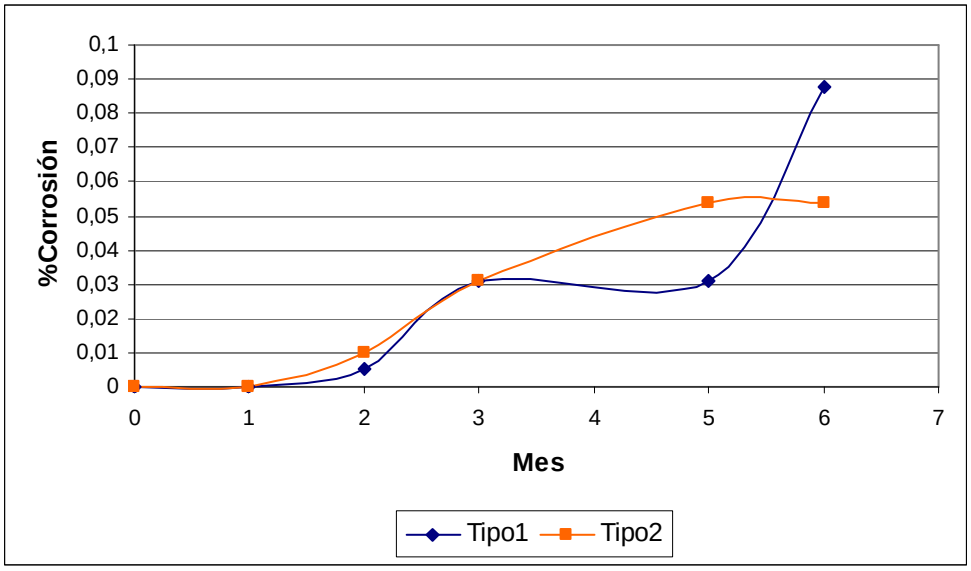


Figura 3.15: Estación Quito. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior.

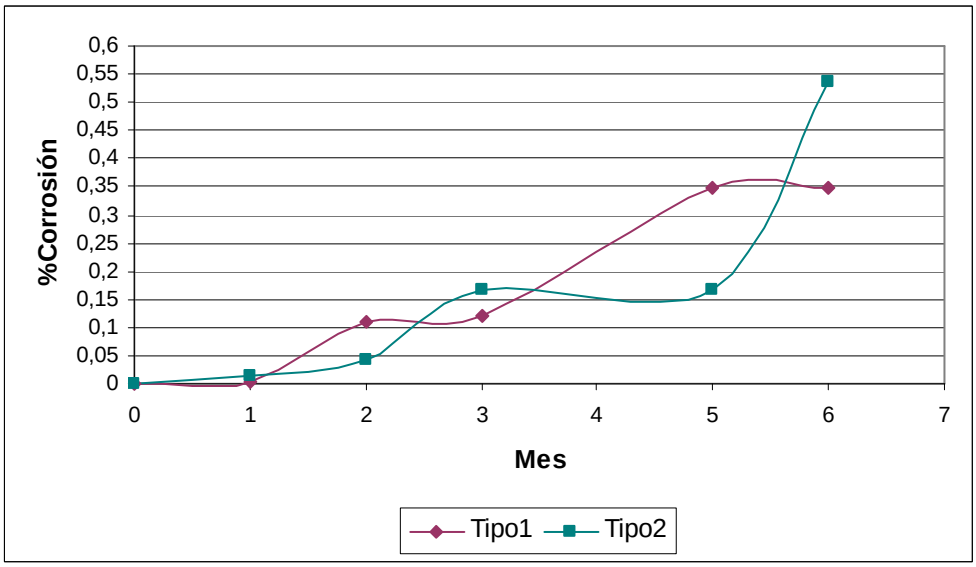


Figura 3.16: Estación Quito. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior.

3.2.3.3. Estación Santo Domingo

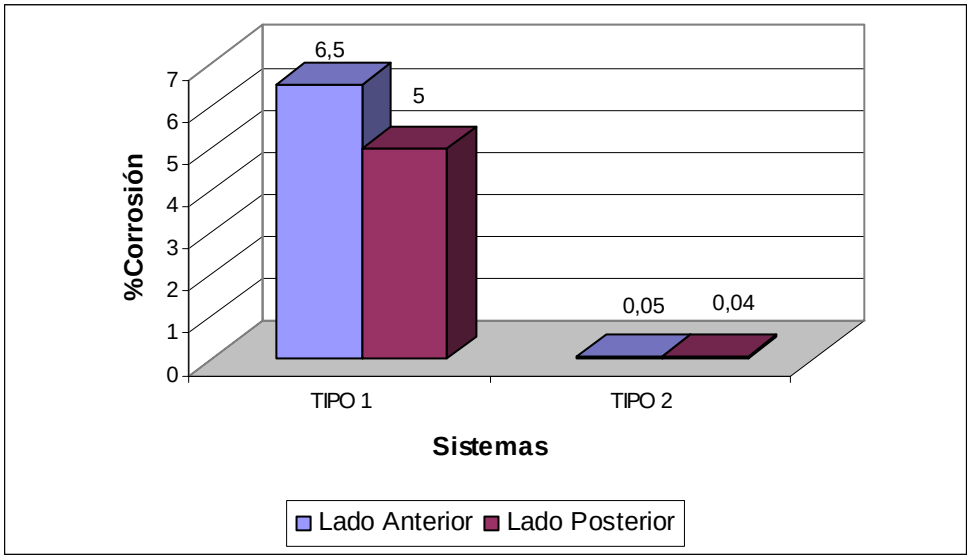


Figura 3.17: Estación Santo Domingo. Porcentaje de Corrosión en el Sexto Mes. Comparación Lado Anterior vs. Lado Posterior.

El sistema tipo 1 presenta mayor corrosión que el sistema tipo 2 luego de seis meses de exposición en la estación Santo Domingo, como lo indica la Figura 3.17, tanto para el lado anterior como para el lado posterior de las probetas instaladas.

La estación Santo Domingo presenta los mayores porcentajes de corrosión registrados para el sistema tipo 1 (6.5% para el lado anterior y 5% para el lado posterior), superando en gran cantidad a los valores registrados en la estación Quito para el mismo sistema.

La acción de la alta humedad relativa y la alta nubosidad de la estación Santo Domingo, factores que influyen en el tiempo de humectación (TDH), además de la proliferación de microorganismos parecen ser los parámetros más influyentes para la corrosión del sistema tipo 1.

La pérdida de color o decoloración puede deberse a la incidencia de la radiación UV de la luz solar, debido a que esta falla se manifiesta en mayor magnitud en el

lado anterior de las probetas en las dos estaciones, como se observó en la Figura 3.12 y la Figura 3.13.

El lado anterior tiene mayor contacto con esta variable medioambiental, a diferencia del lado posterior que no la recibe directamente.

La aseveración de que la radiación UV es la responsable de la pérdida de color se explica a través de la degradación de la resina alquídica, degradación que posibilita la migración del carbonato de calcio ($CaCO_3$), material de color blanco que se deposita en la superficie de las probetas para dar un aspecto blanquecino que estéticamente se observa como pérdida de color.

La degradación de la resina alquídica se confirma en los espectros infrarrojos de las probetas presentados más adelante en los subcapítulos 3.5.1 y 3.5.2, la cual es en mayor magnitud para el lado anterior.

La Figura 3.18 y la Figura 3.19 presentan el avance de la corrosión para la estación Santo Domingo, considerando a los dos sistemas de pinturas estudiados.

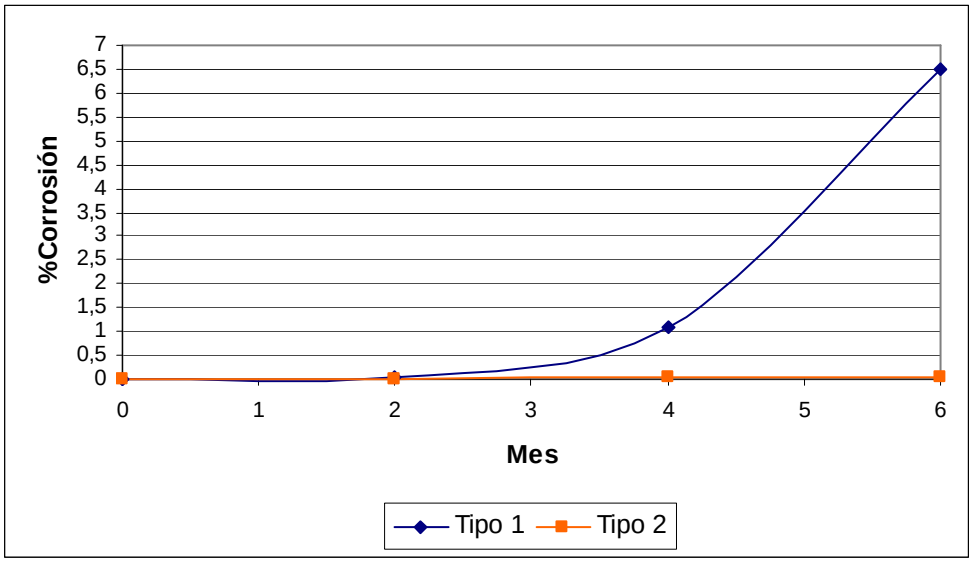


Figura 3.18: Estación Santo Domingo. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Anterior.

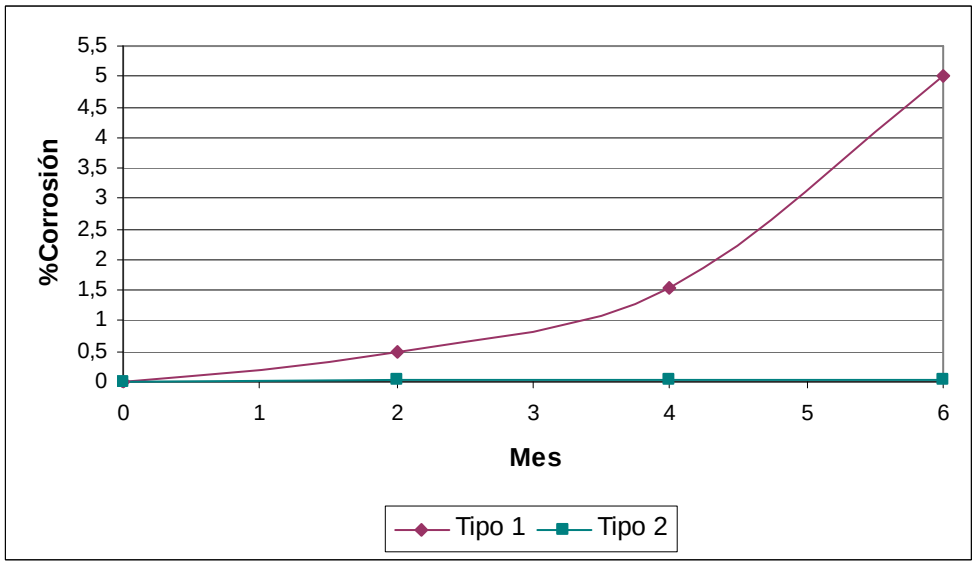


Figura 3.19: Estación Santo Domingo. Porcentaje de Corrosión vs. Tiempo (Meses). Lado Posterior.

3.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ACELERADOS

3.3.1. CÁMARA SALINA

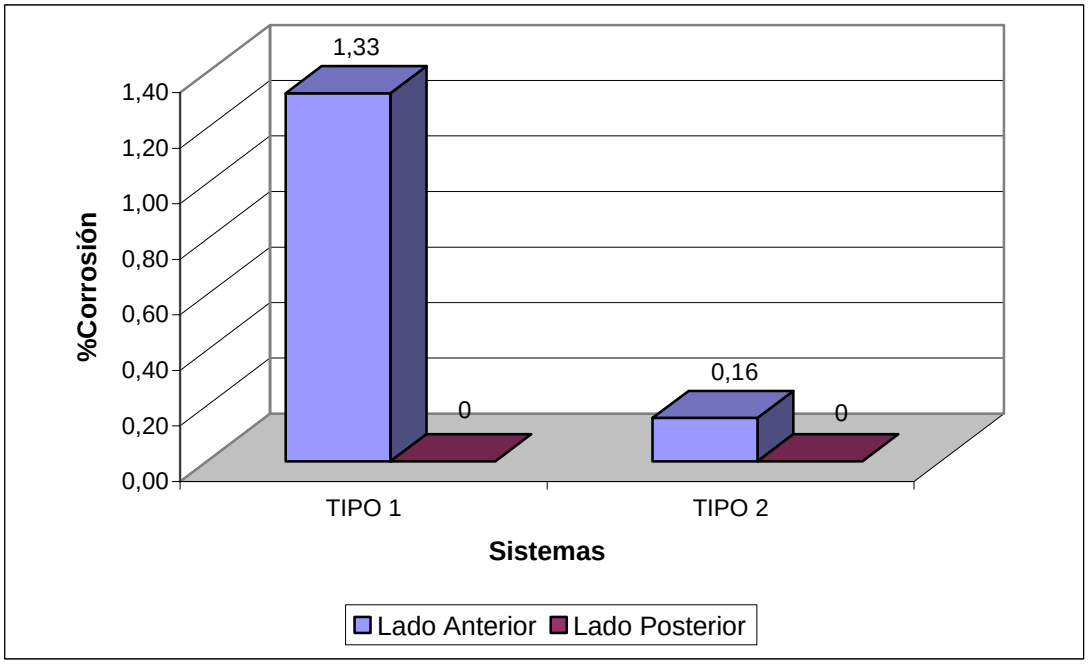


Figura 3.20: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Evaluación comparativa entre sistemas. Porcentaje de corrosión a las 250 horas.

La Figura 3.20 indica que el sistema de pintura alquídica de mayor protección anticorrosiva para el ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5) de 250 horas en cámara salina (FOG) es el sistema tipo 2, ya que éste presenta un porcentaje de corrosión promedio más bajo en comparación con el porcentaje de corrosión promedio del sistema tipo 1.

El lado posterior de las probetas, tanto del sistema tipo 1 como del sistema tipo 2, no presentó corrosión ni tampoco degradación visual aparente en el ensayo Prohesion, debido posiblemente a que la niebla salina no tiene un contacto directo con el lado posterior de las probetas al utilizar el sistema portamuestras del fabricante.

El sistema portamuestras adquirido al fabricante Q-Lab (Specimen/Panel Holders: F-9008-K) tiene una capacidad para 17 probetas apoyadas en su base inferior a las distintas ranuras, de 15º de inclinación.

Al parecer la niebla salina tiene mayor contacto con el lado anterior de las probetas donde se desarrolló la corrosión; ya que la niebla asciende hasta chocar con el techo de la cámara, se condensa y desciende en forma de gotas hacia el lado anterior. Probablemente, el lado posterior de las probetas no experimenta corrosión ni degradación porque no recibe las mencionadas gotas de niebla salina condensada.

El sistema portamuestras colgado indicado en el subcapítulo 2.3.4.9, fue ideado para que la corrosión y la degradación se desarrollen tanto en el lado anterior como en el lado posterior de las probetas expuestas a ensayos en cámara salina; las probetas sujetas a éste sistema estarán suspendidas verticalmente en la cámara, por lo cual las gotas de la niebla salina condensada tendrán contacto con los dos lados de éstas.

SISTEMA TIPO 1	
Blanco	Degradada

Figura 3.21: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Exposición 250h. Sistema Tipo 1. Resultados visuales.

La Figura 3.21 indica los resultados de una de las probetas sometidas a la exposición acelerada del ensayo Prohesion en cámara salina durante 250 horas para el sistema de pintura tipo 1; tal como se puede apreciar la principal falla presentada es la corrosión, que se observa como puntos amarillos dispersos sobre la capa de pintura.

SISTEMA TIPO 2	
Blanco	Degradada

Figura 3.22: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Exposición 250h. Sistema Tipo 2. Resultados visuales.

La Figura 3.22 indica los resultados de una de las probetas sometidas a la exposición acelerada del ensayo Prohesion en cámara salina durante 250 horas para el sistema de pintura tipo 2, tal como se puede apreciar la principal falla presentada es la pérdida de color o decoloración, el color rojo se vuelve más blanquecino a causa de la migración del carbonato de calcio.

Las probetas del sistema tipo 2 (sin degradación) presentaban gran cantidad de defectos en su capa de pintura como grumos y puntos donde el acero se encontraba descubierto, la mayoría de estos defectos fueron cubiertos con silicona como se mencionó en el subcapítulo 2.3.1.1.1.

Al parecer la corrosión en este sistema tuvo lugar en los defectos que no se cubrieron con silicona, por tanto, no constituyen una falla verdadera y representativa del ensayo Prohesion.

3.3.2. CÁMARA DE ARCO DE XENÓN

SISTEMA TIPO 1		SISTEMA TIPO 2	
Blanco	Degradada	Blanco	Degradada

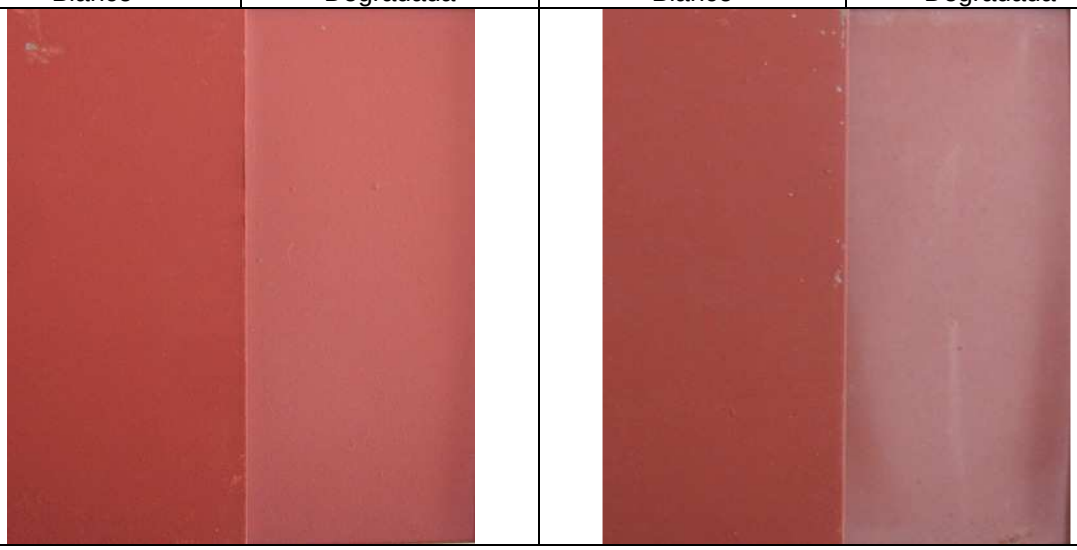


Figura 3.23: Cámara de Arco de Xenón. Ensayo ASTM D6695-03b - Ciclo 1. Exposición 250h. Fotografías comparativas entre sistemas. Resultados visuales.

La Figura 3.23 compara los resultados visuales de la exposición de 250 horas al ensayo ASTM D6695-03b - Ciclo 1 en cámara de arco de xenón (SUN) para los dos sistemas de pintura en estudio.
Ninguno de los dos sistemas presentaron la falla de corrosión a pesar de que el ciclo incluye tiempos de pulverización con agua desionizada.

La falla principal que se aprecia claramente al comparar la probeta original sin exposición (blanco) con la probeta degradada es la pérdida de color o decoloración, que fue cuantificada con la escala de grises NBS y que se indica en la Tabla 3.3.

La escala de grises NBS tiene una valoración de solidez de 1 a 5 como se indicó en el subcapítulo 2.3.6.1.2.

Tabla 3.3: Cámara de Arco de Xenón. Ensayo ASTM D6695-03b - Ciclo 1. Resultados de la evaluación con la escala de grises NBS a las 250 horas.

Sistema	**Valoración**	**Diferencia de Color** (Unidades NBS)	**Cambio**
Tipo 1	4	1,5	Leve
Tipo 2	3	3,0	Pronunciado

El sistema tipo 2 presenta mayor pérdida de color con un cambio pronunciado y un color más “blanquecino”, por tanto la valoración con la escala de grises fue 3; en cambio, el sistema tipo 1 presenta un cambio de color leve que fue valorado con 4.

La radiación UV de la lámpara de xenón al parecer es el principal factor para la falla de la pérdida de color, ya que la resina alquídica es degradada como se observará más adelante en la espectroscopia de infrarrojos posibilitando que el carbonato de calcio ($CaCO_3$) migre hacia la superficie y confiera el color blanquecino presentado.

3.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA EXPOSICIÓN ATMÓSFERICA CON LOS ENSAYOS ACELERADOS

SISTEMA TIPO 1			
Estación Quito	**Estación Santo Domingo**	**Cámara Salina**	**Cámara de Arco de Xenón**
6 meses		250 horas	

Figura 3.24: Fotografías comparativa entre exposición atmosférica y ensayos acelerados. Sistema Tipo 1. Lado Anterior.

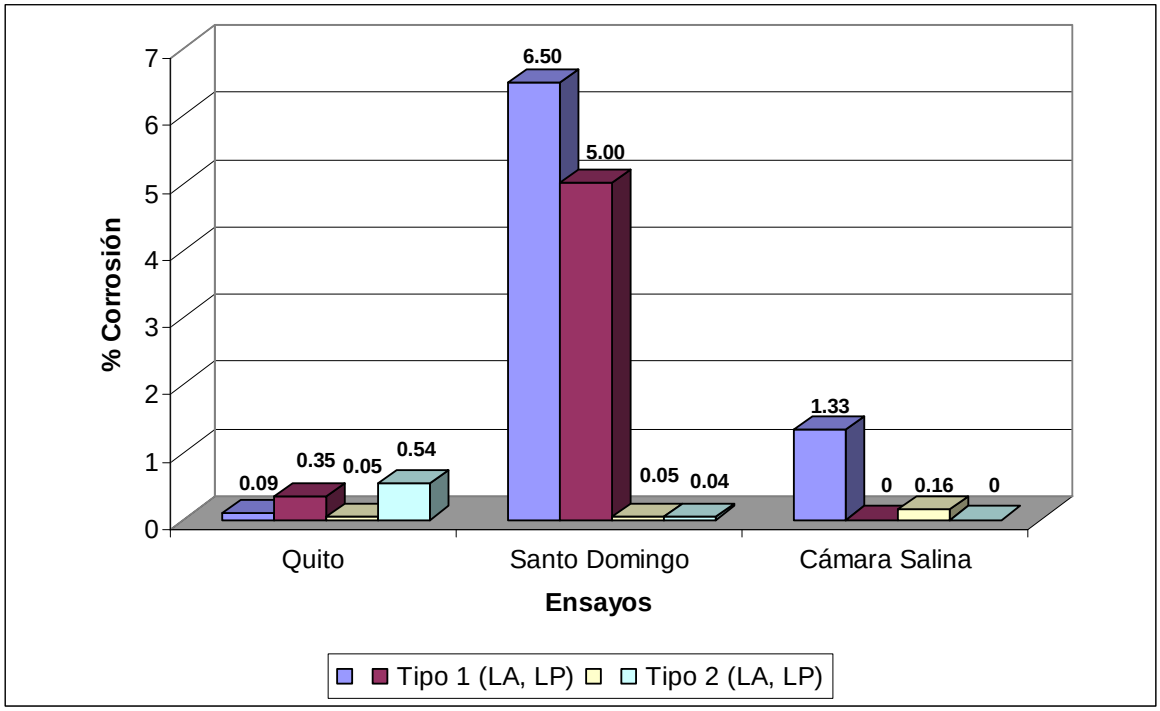
La Figura 3.24 indica que la degradación del sistema tipo 1 tiene la misma tendencia de comportamiento, tanto en las estaciones de campo de Quito y Santo Domingo como en los ensayos acelerados. Esta tendencia es la corrosión y la pérdida de color.

El sistema tipo 1 con 250 horas de exposición al ciclo Prohesion en cámara salina simula en menor proporción la corrosión presentada en la estación Santo Domingo.

El lado anterior de las probetas del sistema tipo 1 en cámara salina presentó un porcentaje de corrosión mayor con respecto a la estación Quito (UIO) y un porcentaje menor con respecto a la estación Santo Domingo (SDM).

Con mayor tiempo de exposición al ciclo Prohesion, la corrosión acelerada podría tener la misma magnitud que la corrosión natural de la estación Santo Domingo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el ensayo acelerado en cámara salina

no tiene el factor adicional promotor de la corrosión en Santo Domingo: los microorganismos (moho verde).



*LA: Lado Anterior, LP: Lado Posterior.

Figura 3.25: Evaluación comparativa entre ensayos atmosféricos (Quito, Santo Domingo, 6 meses) y acelerado (Cámara Salina, Prohesion, 250 horas).
Porcentaje de corrosión vs. Sistemas. Resultados.

El sistema tipo 1 se caracterizó por ser el de menor resistencia a la corrosión en el ensayo acelerado Prohesion de 250 horas en cámara salina, con un porcentaje promedio del 1.33% en su lado anterior; por lo cual los resultados obtenidos en las atmósferas naturales de Quito y Santo Domingo para el sistema tipo 1 son simulados correctamente.

El sistema tipo 2 se caracterizó por ser el de mayor resistencia a la corrosión tanto en el ensayo acelerado Prohesion de 250 horas en cámara salina como en las atmósferas naturales de Quito y Santo Domingo, la corrosión en este sistema tiene magnitudes muy pequeñas a diferencia del sistema tipo 1.

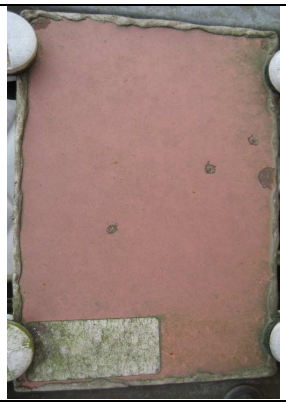
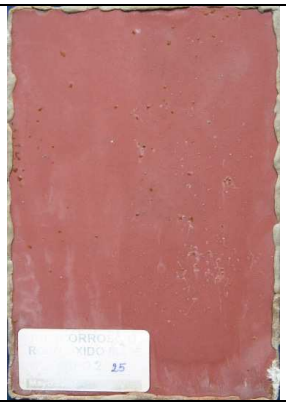
SISTEMA TIPO 2			
Estación Quito	**Estación Santo Domingo**	**Cámara Salina**	**Cámara de Arco de Xenón**
6 meses		250 horas	
			

Figura 3.26: Fotografías comparativa entre exposición atmosférica y ensayos acelerados. Sistema Tipo 2. Lado Anterior.

La Figura 3.26 compara los resultados de la exposición atmosférica con los resultados de los ensayos acelerados para el sistema tipo 2.

La principal connotación para el sistema tipo 2 es la pérdida de color o decoloración que es evidente tanto en la intemperie como en los ensayos acelerados.

El sistema tipo 2 con 250 horas de exposición al ciclo 1 del estándar ASTM D6695-03b en cámara de arco de xenón salina simula la pérdida de color en las dos estaciones.

3.5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los espectros infrarrojos de los dos tipos de sistemas de pinturas estudiados.
Inicialmente, se caracterizan las bandas de los grupos funcionales principales de los espectros de los sistemas de pintura sin exposición atmosférica (blancos).

Posteriormente, se analizan los espectros de los sistemas de pintura luego de seis meses de exposición, en las dos estaciones de campo; comparándolos con el espectro del sistema sin exposición atmosférica (blanco), para determinar el aumento o disminución en las intensidades de las bandas de los grupos funcionales principales.

Finalmente, se analizan los espectros infrarrojos de los dos sistemas de pinturas expuestos a 250 horas en cámara de arco de xenón, comparándolos de igual manera con el espectro del sistema sin exposición atmosférica (blanco).
El Anexo VII permite apreciar en mayor tamaño todos los espectros infrarrojos obtenidos.

3.5.1. SISTEMA TIPO 1

El espectro que se indica en la Figura 3.27 corresponde al sistema de pintura denominado tipo 1 sin exposición atmosférica, también llamado blanco; las bandas características de los grupos funcionales de mayor importancia son:

- Grupos -OH: 3422.77cm^{-1}.
- Grupos -CH_3: 2924.84 cm^{-1}.
- Grupos -CH_2: 2854.00 cm^{-1}.
- Grupo carbonilo ester: 1726.82 cm^{-1}.
- Carbonato de Calcio ($CaCO_3$): 1409.02 y 869.75 cm^{-1}.

Los cuatro primeros grupos funcionales coinciden en las regiones que indica el anexo A2.1 del estándar ASTM D2621-87 (2005).

El grupo carbonato de calcio presenta las bandas en 1434, 876 y 710 cm^{-1} (Scheirs, 2000). La banda alrededor de 710 cm^{-1} no será analizada debido a que se encuentra en la región de los aromáticos y podría encontrarse solapada.

La presencia de carbonatos de calcio fue confirmada con los resultados de la difracción de rayos X presentada en el subcapítulo 3.1.2.

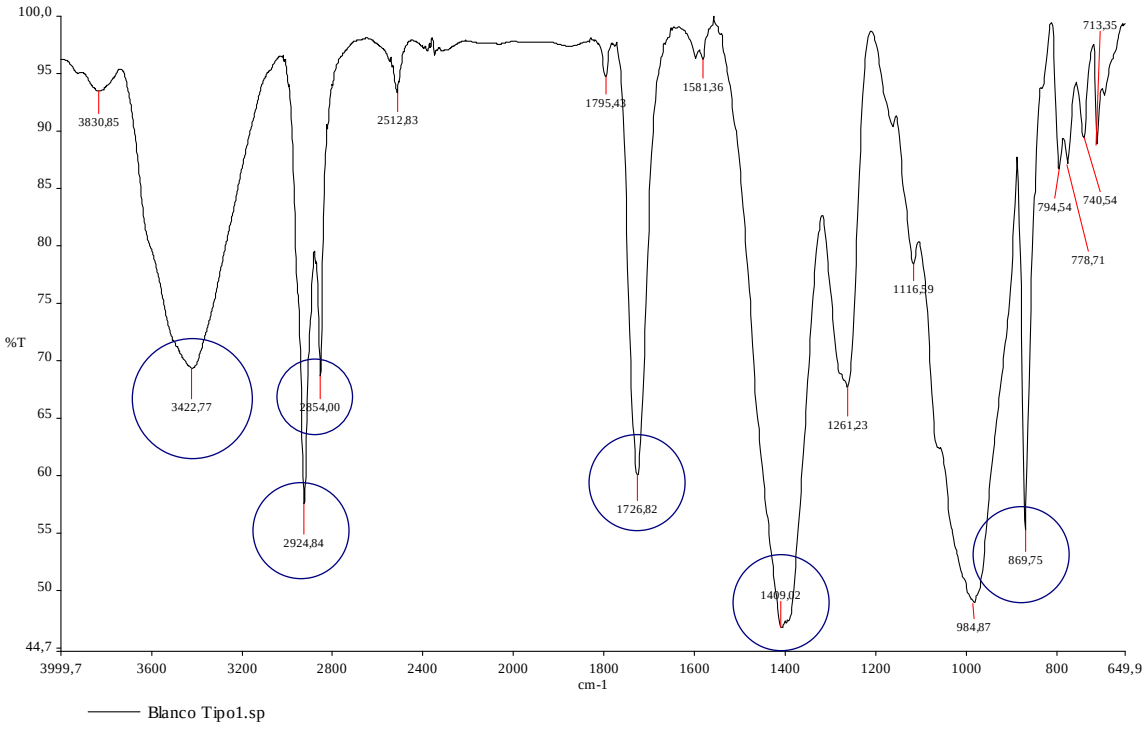


Figura 3.27: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Sin Exposición (Blanco)

3.5.1.1. Ensayos de Campo

3.5.1.1.1. Estación Quito - Sistema Tipo 1 - Lado Anterior

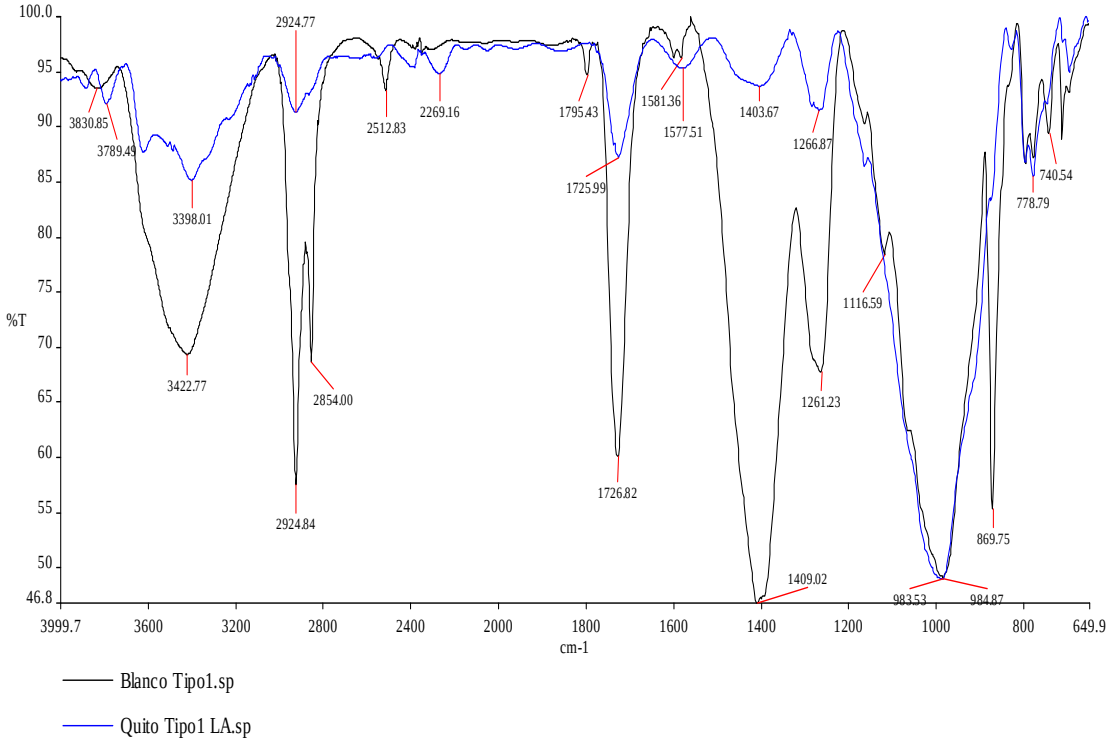


Figura 3.28: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.28 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 1 en la estación Quito (UIO) para el lado anterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Disminución en la intensidad de la banda del grupo -OH (3398.01 cm^{-1}), debida posiblemente a que la alta radiación UV de la estación Quito mantiene seca la superficie de la probeta en su lado anterior, por tanto, la humedad disminuye y consecuentemente el grupo –OH.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2924.77 cm^{-1}), y una intensidad muy pequeña en la banda del grupo $-CH_2$ (casi imperceptible); de las cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Disminución en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1725.99 cm^{-1}), debida posiblemente a la ruptura de los dobles enlaces carbono-oxígeno.
- Gran disminución en las intensidades de las bandas de carbonato de calcio, debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga. La disminución más notoria es la banda de 1403.67 cm^{-1}, la otra banda se vuelve poco apreciable a causa de esta disminución.

La migración del carbonato de calcio ($CaCO_3$) significa la pérdida de este material hacia el exterior, que por efecto de la lluvia es lavado y removido del sistema de pintura. El fenómeno de lavado debido a la lluvia se presenta en mayor magnitud en el lado anterior de las probetas. El lado posterior al no tener contacto directo con la lluvia mantiene al carbonato de calcio en la superficie de las probetas y se observan más notoriamente las manchas “blanquecinas”.

La pérdida de material alifático y la ruptura de dobles enlaces, evidenciadas en la disminución de la intensidad de las bandas de los grupos $-CH_3$, $-CH_2$ y carbonilo ester, indican que la resina alquídica ha empezado a degradarse.

La degradación de la resina fomenta la migración del carbonato de calcio, debido a que las partículas de resina no recubrirán a las partículas del carbonato, permitiendo así su migración hacia la superficie.

Se debe indicar además que probablemente la cantidad de resina en la formulación es insuficiente como se discutió previamente en 3.2.2.1, lo cual conlleva a que las partículas de carbonato no estén recubiertas en su totalidad desde un principio.

3.5.1.1.2. Estación Quito – Sistema Tipo 1 - Lado Posterior

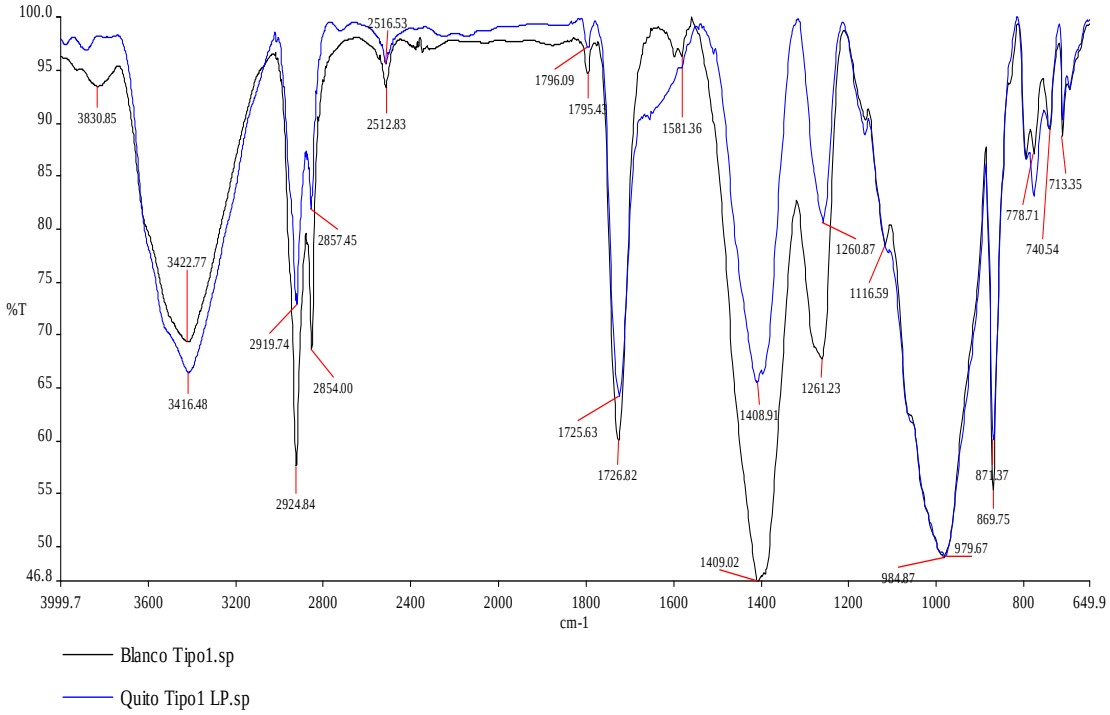


Figura 3.29: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.29 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 1 en la estación Quito (UIO) para el lado posterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo -OH (3416.48 cm^{-1}), debida posiblemente a que la humedad relativa de la estación Quito incrementa el tiempo de humectación (TDH) en el lado posterior de las probetas, a diferencia del lado anterior donde por interrelación con la alta radiación UV, la superficie de la probeta se mantiene seca. En referencia al subcapítulo 1.2.2.1, tomado del artículo de Hodson y Lander (1987), el aumento de la intensidad de la banda puede deberse a la formación de grupos COOH y OH.

- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2919.74 cm^{-1}), y una intensidad muy pequeña en la banda del grupo $-CH_2$ (2857.45 cm^{-1}); de las cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1725.63 cm^{-1}), debida posiblemente a la ruptura de algunos de los dobles enlaces carbono-oxígeno.
- Disminución en las intensidades de las bandas del carbonato de calcio (1408.91 y 871.37 cm^{-1}), debidas posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga.

La degradación de la resina alquídica en la estación Quito (UIO) en el lado posterior es menor que en el lado anterior, esto es notorio al comparar los espectros de la Figura 3.28 y de la Figura 3.29**,** con respecto a la intensidad de las bandas de los grupos $-CH_3$, $-CH_2$ y carbonilo ester.

La menor degradación de la resina en el lado posterior de las probetas implica menor pérdida de material alifático y menor ruptura de enlaces con respecto al lado anterior. Considerando estos resultados se puede afirmar que la radiación UV de la luz solar es la responsable de una mayor degradación en la resina, ya que el lado anterior tiene mayor contacto con esta variable medioambiental, a diferencia del lado posterior que no la recibe directamente.

Las partículas de resina al no presentar gran degradación en el lado posterior mantendrán mayor tiempo recubiertas a las partículas de carbonato de calcio, por tanto la migración de carbonato será menor.

Tomando en consideración lo anterior y que el efecto de lavado del carbonato debido a la lluvia en el lado posterior es menor que en el lado anterior, se justifica de esta manera que la intensidad de la banda de carbonato de calcio en el lado posterior sea mayor que en el lado anterior para el sistema tipo 1 en la estación Quito (UIO).

3.5.1.1.3. Estación Santo Domingo – Sistema Tipo 1 - Lado Anterior

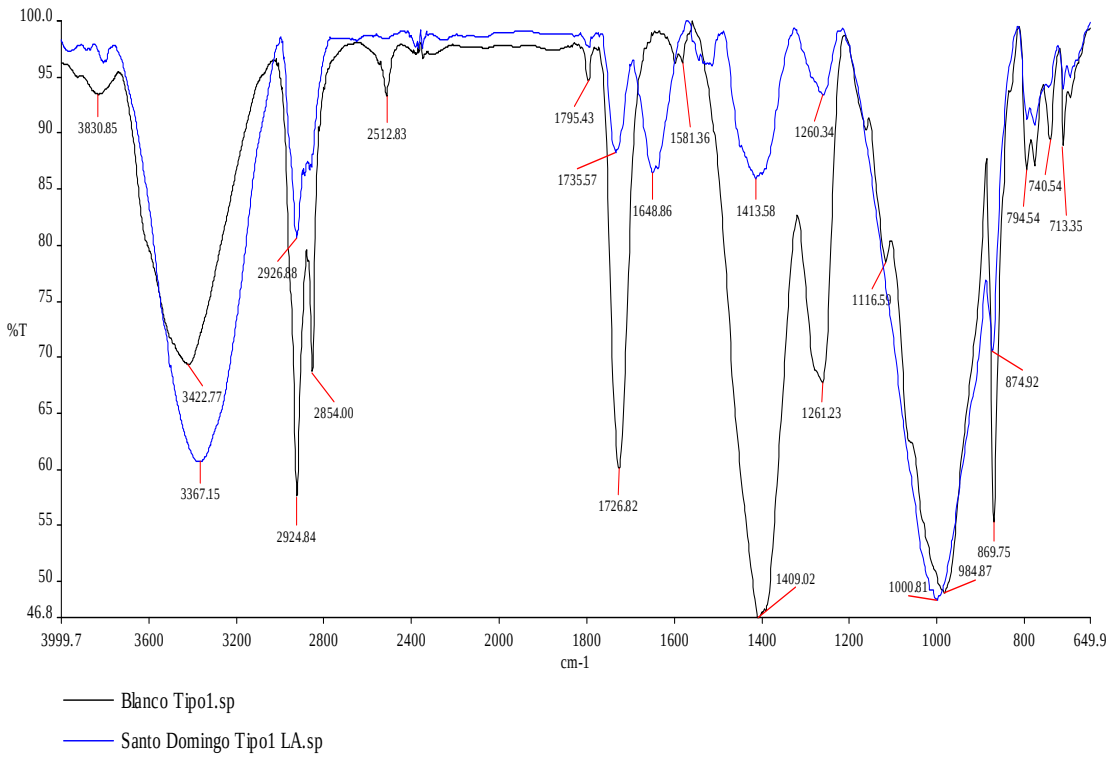


Figura 3.30: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.30 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 1 en la estación Santo Domingo (SDM) para el lado anterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo -OH (3367.15 cm^{-1}), debida posiblemente a que la alta humedad relativa de la estación Santo Domingo que oscila en el orden del 80-100%, incrementan el tiempo de humectación de las probetas. En referencia al subcapítulo 1.2.2.1, tomado del artículo de Hodson y Lander (1987), el aumento de la intensidad de la banda puede deberse a la formación de grupos COOH y OH.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2926.88 cm^{-1}), y una intensidad muy pequeña en la banda del grupo $-CH_2$ (casi imperceptible); de

las cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Disminución en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1735.57 cm^{-1}), debida posiblemente a la ruptura de algunos de los dobles enlaces carbono-oxígeno.
- Gran disminución en las intensidades de las dos bandas del carbonato de calcio, debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga. La disminución más notoria se da en la banda principal (1413.58 cm^{-1}), la otra banda (874.92 cm^{-1}) se vuelve poco apreciable, a causa de esta disminución.

La degradación de la resina alquídica evidenciada en la disminución de las intensidades de las bandas de los grupos $-CH_3$, $-CH_2$ y carbonilo ester incrementan la migración del pigmento primario (rojo óxido de hierro) y del pigmento extendedor (carbonato de calcio), ya que las partículas de resina no recubrirán de manera óptima a las partículas de estos pigmentos.

La migración del pigmento primario rojo óxido de hierro, de mayor contenido en la formulación del sistema 1 frente al sistema tipo 2 como se indicó en los resultados de difracción de rayos X, implica que la propiedad de efecto barrera de este pigmento no se desarrolle en el sistema, dejándolo vulnerable frente a la corrosión en esta estación.

El porcentaje de corrosión promedio del sistema tipo 1 en la estación Santo Domingo para el lado anterior (6.5%) es el porcentaje de corrosión más alto del presente estudio; las características de mayor agresividad de la atmósfera de esta estación, junto a la degradación de la resina alquídica y a la pérdida de la protección barrera del pigmento rojo óxido de hierro explican estos resultados.

3.5.1.1.4. Estación Santo Domingo – Sistema Tipo 1 - Lado Posterior

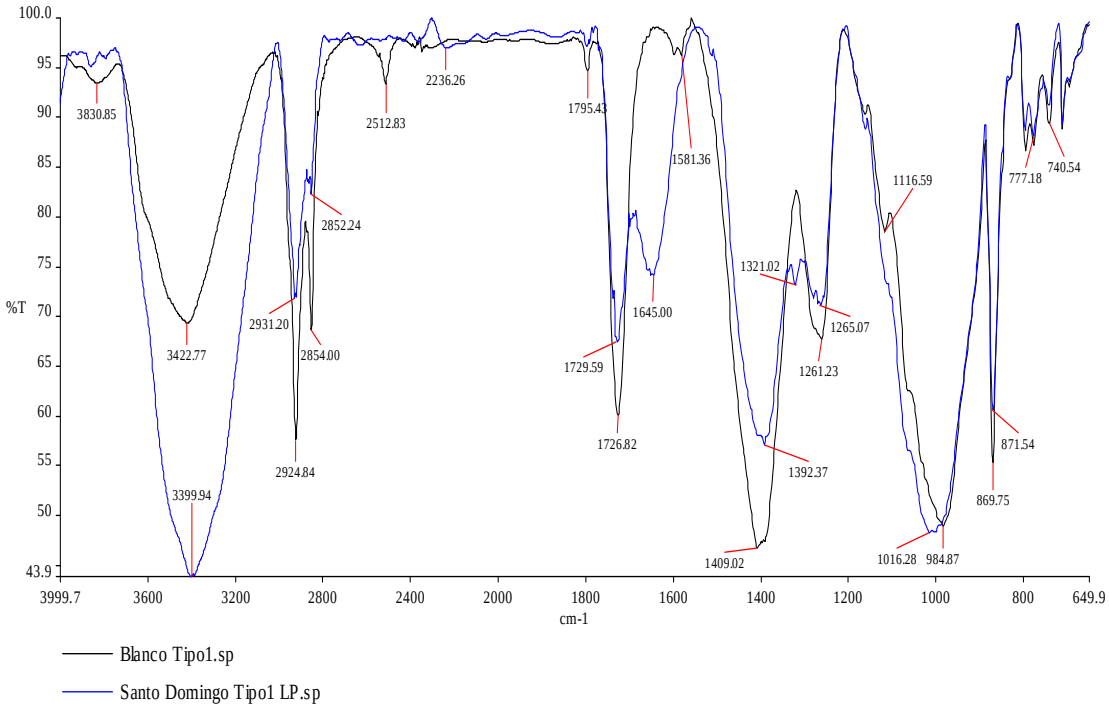


Figura 3.31: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.31 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 1 en la estación Santo Domingo (SDM) para el lado posterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo -OH (3399.94 cm^{-1}), debida posiblemente a que la alta humedad relativa de la estación Santo Domingo que oscila en el orden del 80-100%, incrementan el tiempo de humectación (TDH) de las probetas. En referencia al subcapítulo 1.2.2.1, tomado del artículo de Hodson y Lander (1987), el aumento de la intensidad de la banda puede deberse a la formación de grupos COOH y OH.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2931.20 cm^{-1}), y una intensidad muy pequeña en la banda del grupo $-CH_2$ (2852.24 cm^{-1}); de las

cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Disminución en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1729.59 cm^{-1}), debida posiblemente a la ruptura de algunos de los dobles enlaces carbono-oxígeno.
- Disminución en las intensidades de las dos bandas del carbonato de calcio, debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga. La disminución más notoria se presenta en la banda principal (1392.37 cm^{-1}), la otra banda (871.54 cm^{-1}) se vuelve poco apreciable.

La degradación de la resina alquídica y la migración del pigmento extendedor en la estación Santo Domingo (SDM) en el lado posterior son menores que en el lado anterior, esto es notorio al comparar los espectros de la Figura 3.30 y de la Figura 3.31, con respecto a la intensidad de las bandas de los grupos $-CH_3$, $-CH_2$, carbonilo ester y carbonato de calcio.

La pérdida de material alifático y la ruptura de enlaces indican la degradación de la resina, la cual propicia la migración tanto del pigmento extendedor o carga (carbonato de calcio) como del pigmento primario (rojo óxido de hierro).

El rojo óxido de hierro, responsable del efecto barrera, no desarrolla esta propiedad de protección debido a su migración previa del sistema, por lo que se desencadena la corrosión que tiene el segundo valor más alto de porcentaje de corrosión promedio del presente estudio (5%).

La menor degradación de la resina alquídica, la menor migración del carbonato de calcio y la probable menor migración del rojo óxido de hierro en el lado posterior frente al lado anterior explican porque el porcentaje de corrosión en el lado posterior (5%) también es menor frente al lado anterior (6.5%).

3.5.1.2. Cámara de Arco de Xenón

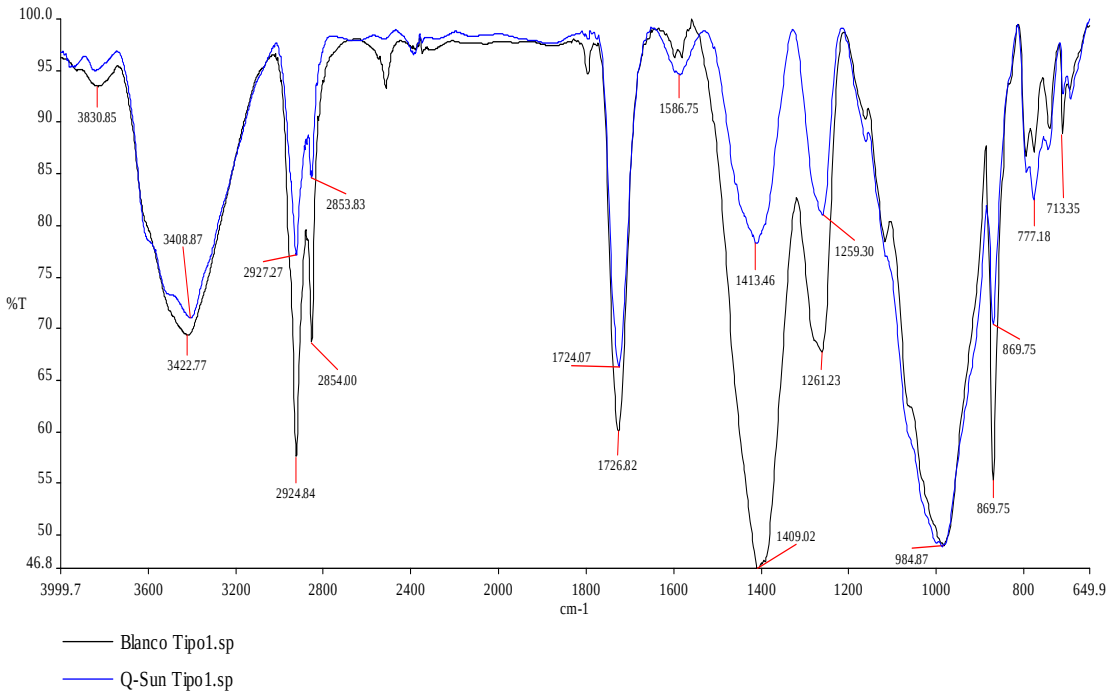


Figura 3.32: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Ensayo Cámara de Arco de Xenón: ASTM D6695-03b-Ciclo 1. Exposición 250 horas.

La Figura 3.32 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 1 en el ensayo de cámara de arco de xenón. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Poca disminución en la intensidad de la banda del grupo -OH (3408.87 cm^{-1}), debida posiblemente a que la radiación UV entregada por la lámpara de arco de xenón mantiene seca la probeta, por lo cual la humedad disminuye y consecuentemente el grupo –OH.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2927.27 cm^{-1}), y una intensidad muy pequeña en la banda del grupo $-CH_2$ (2853.83 cm^{-1}); de las cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Disminución en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1724.07 cm^{-1}), debida posiblemente a la ruptura de algunos de los dobles enlaces carbono-oxígeno.
- Gran disminución en las intensidades de las bandas del carbonato de calcio, debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga. La disminución más notoria se presenta en la banda de 1413.46 cm^{-1}, la otra banda disminuye en menor proporción.

Los resultados del espectro infrarrojo para el sistema tipo 1 en cámara de arco de xenón tienen la misma tendencia que en las estaciones atmosféricas de Quito y Santo Domingo, con respecto al incremento y disminución en la intensidad de las bandas de los principales grupos funcionales.

Anteriormente se indicó que la radiación UV de la luz solar posiblemente es la responsable de la degradación de la resina alquídica, ya que la resina presentó mayor degradación en el lado anterior de las probetas, lado de contacto directo con esta variable medioambiental.

La radiación UV de la lámpara de arco de xenón ocasionó de igual manera la degradación de la resina alquídica en el sistema tipo 1, pero en menor magnitud que en las estaciones atmosféricas, evidenciada en la disminución de la intensidad de las bandas de los grupos $-CH_3$, $-CH_2$ y carbonilo ester.

La degradación de la resina desencadenó la pérdida de color o decoloración explicada por el aspecto “blanquecino” que la migración del carbonato de calcio confiere al sistema, las partículas de resina no recubrieron a las partículas del carbonato de calcio favoreciendo su migración hacia la superficie.

Por tanto, se confirma que el principal causante de la degradación de la resina y la posterior pérdida de color o decoloración, tanto en los ensayos atmosféricos como en el ensayo en cámara de arco de xenón es la radiación UV.

3.5.2. SISTEMA TIPO 2

El espectro que se indica en la Figura 3.33 corresponde al sistema de pintura denominado tipo 2 sin exposición, también llamado blanco; las bandas características de los grupos funcionales de mayor importancia son:

- Grupos -OH: 3418.29 cm^{-1}.
- Grupos $-CH_3$: 2921.67 cm^{-1}.
- Grupos $-CH_2$: 2852.24 cm^{-1}.
- Grupo carbonilo ester: 1727.58 cm^{-1}.
- Carbonato de Calcio: 1386.58 y 871.29 cm^{-1}.

Los cuatro primeros grupos funcionales coinciden en las regiones que indica el anexo A2.1 del estándar ASTM D2621-87 (2005).

El grupo carbonato de calcio presenta las bandas en 1434, 876 y 710 cm^{-1} (Scheirs, 2000). La banda alrededor de 710 cm^{-1} no será analizada debido a que se encuentra en la región de los aromáticos y podría encontrarse solapada.

La presencia de carbonatos de calcio fue confirmada con los resultados de la difracción de rayos X presentada en el subcapítulo 3.1.2.

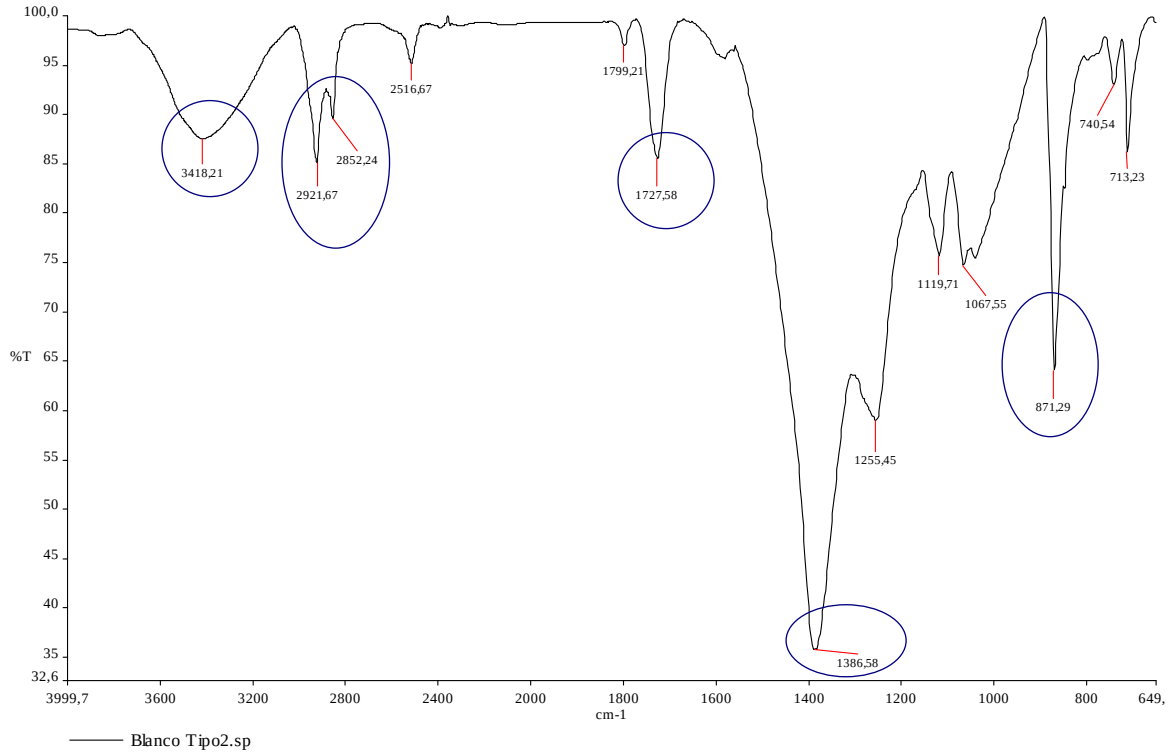


Figura 3.33: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Sin Exposición (Blanco).

3.5.2.1. Ensayos de Campo

3.5.2.1.1. Estación Quito – Sistema Tipo 2 - Lado Anterior

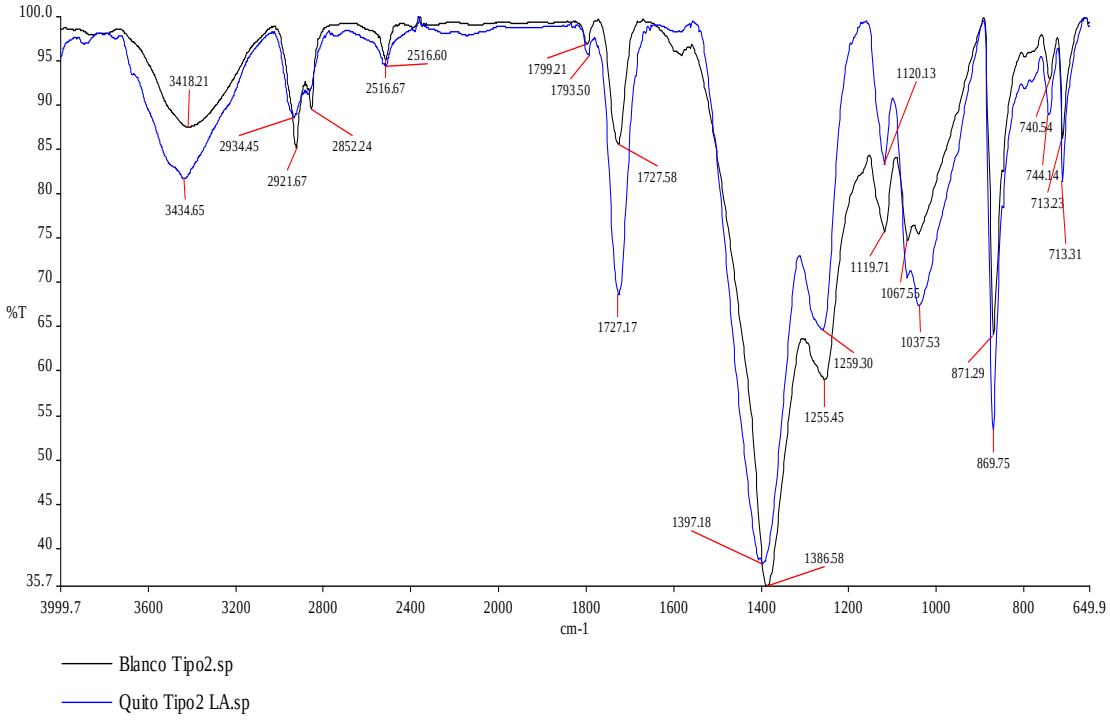


Figura 3.34: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.34 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 2 en la estación Quito (UIO) para el lado anterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo -OH (3434.65 cm^{-1}), debido posiblemente a un error al momento de la corrida del espectro por presencia de alta humedad en el ambiente. Se esperaba tener disminución en la intensidad de la banda tal como se presentó para el lado anterior del sistema tipo 1 en las dos estaciones.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2934.45 cm^{-1}), y una intensidad muy pequeña en la banda del grupo $-CH_2$ (poco apreciable); de las

cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1727.17 cm^{-1}), debido posiblemente a la formación de grupos carbonilos nuevos por la hidrólisis y oxidación de la resina.
- Disminución en la intensidad de la banda principal del carbonato de calcio (1397.18 cm^{-1}), debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga. La banda secundaria (869.75 cm^{-1}) aumenta en su intensidad debido posiblemente a que se encuentra solapada.

La degradación de la resina alquídica para el lado anterior del sistema tipo 2 en la estación Quito (UIO) se explica mediante la disminución de la intensidad de las bandas de los grupos $–CH_3$ y $-CH_2$ y el aumento de la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester, lo cual indica que la resina empezó a tener reacciones de hidrólisis y oxidación.

El aumento de la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester indica una degradación mayor de la resina con respecto a la degradación de la misma resina en el sistema tipo 1.

El sistema tipo 1 presentó solamente disminución en la intensidad del grupo carbonilo ester, tanto para el lado anterior como para el lado posterior de las probetas en las dos estaciones, no aumento como en este caso del sistema tipo 2, por tanto, la resina en el sistema tipo 1 no experimentaría reacciones de hidrólisis y oxidación.

La mayor degradación de la resina en el sistema tipo 2 desencadenaría una mayor migración de carbonato de calcio, por tanto una mayor pérdida de color o decoloración frente al sistema tipo 1, tal como se presentó.

3.5.2.1.2. Estación Quito – Sistema Tipo 2 - Lado Posterior

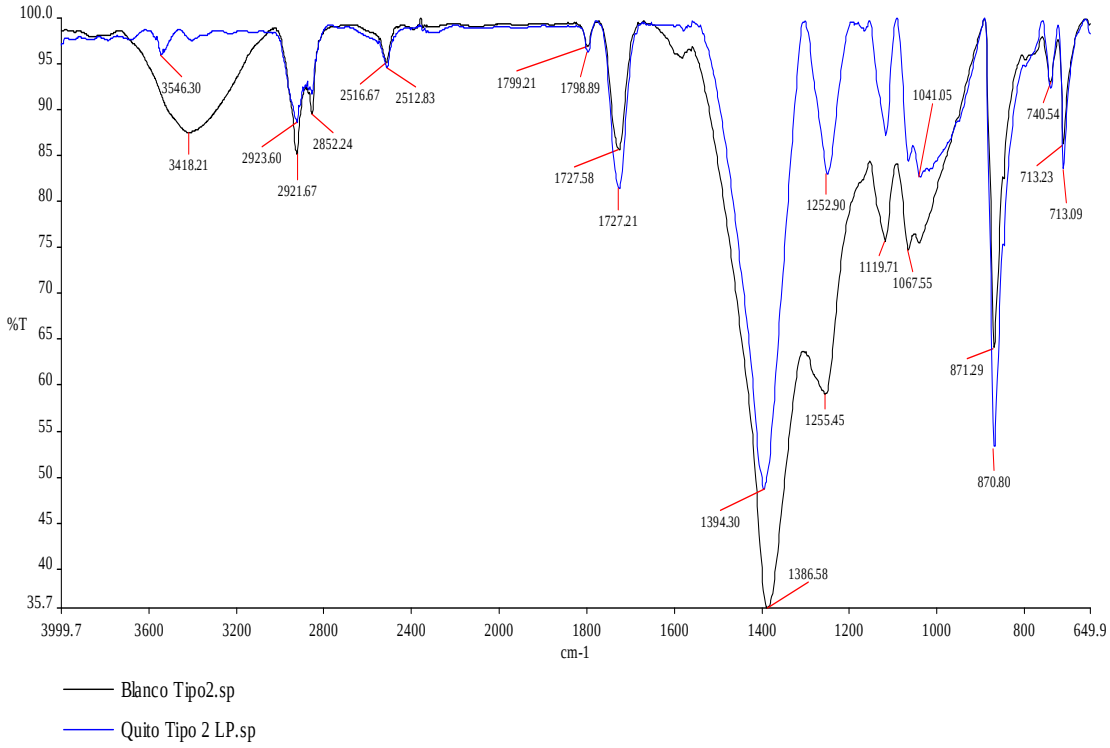


Figura 3.35: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.35 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 2 en la estación Quito (UIO) para el lado posterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Disminución en la intensidad de la banda del grupo –OH (3546.30 cm^{-1}), debida posiblemente a un error al momento de la corrida del espectro por un punto de lectura no representativo. Se esperaba tener aumento en la intensidad de la banda tal como se presentó para el lado posterior del sistema tipo 1 en las dos estaciones. Como se indicó, el lado posterior tiene mayor influencia de la humedad relativa y por consecuencia aumenta el grupo –OH.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2923.60 cm^{-1}) y una intensidad muy pequeña, casi imperceptible en la banda del grupo $-CH_2$; de las

cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1727.21 cm^{-1}), debido posiblemente a la formación de grupos carbonilos nuevos por la hidrólisis y oxidación de la resina.
- Disminución en la intensidad de la banda principal del carbonato de calcio, (1394.30 cm^{-1}), debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga. La banda secundaria (870.80 cm^{-1}) que presenta aumento en su intensidad posiblemente se encuentra solapada.

La pérdida de material alifático evidenciada por la disminución de las intensidades de las bandas de los grupos $–CH_3$ y $–CH_2$, y la formación de nuevos grupos carbonilos mediante hidrólisis y oxidación evidenciados en el aumento de la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester indican una mayor degradación de la resina alquídica frente al sistema tipo 1.

Según la evaluación visual indicada en 3.2.2 y en 3.2.3, el sistema tipo 2 presentó mayor pérdida de color o decoloración que el sistema tipo 1. Estos resultados al ser relacionados con la espectroscopia de infrarrojos indican que la mayor degradación de la resina alquídica en el sistema tipo 2 frente al sistema tipo 1, posibilita mayor migración de carbonato de calcio y por ende un mayor aspecto blanquecino considerado estéticamente como pérdida de color.

3.5.2.1.3. Estación Santo Domingo – Sistema Tipo 2 - Lado Anterior

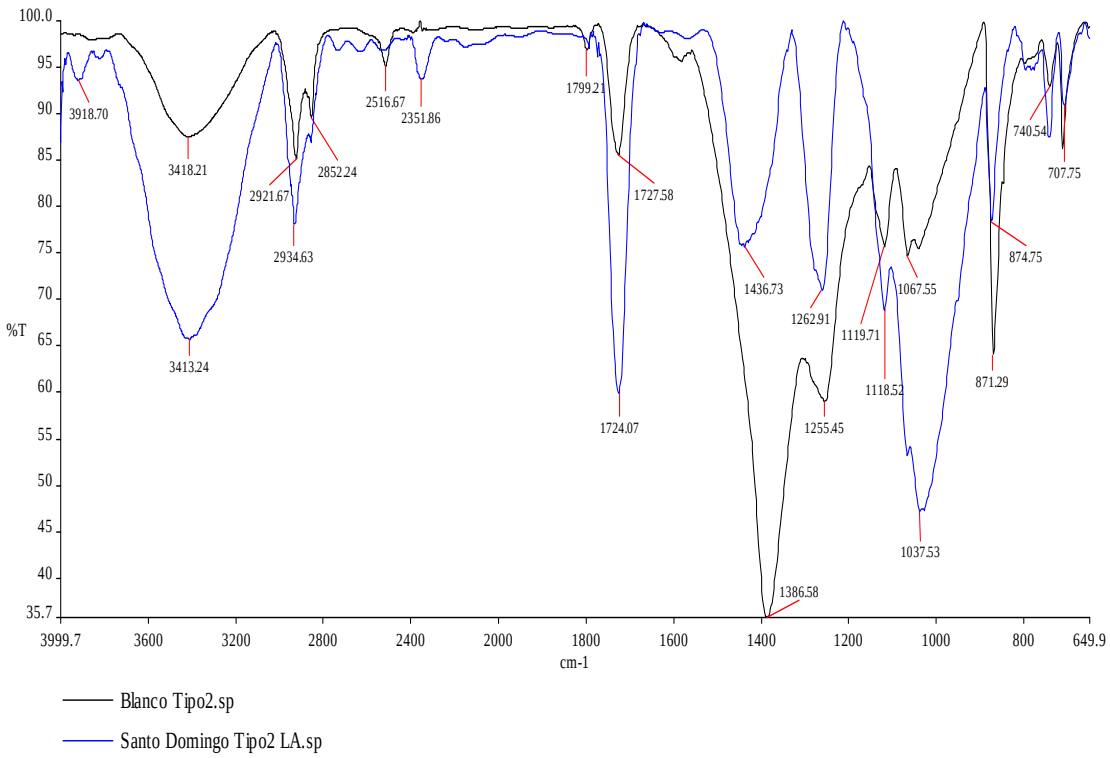


Figura 3.36: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.36 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 2 en la estación Santo Domingo (SDM) para el lado anterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo –OH (3413.24 cm^{-1}), debida posiblemente a que la alta humedad relativa de la estación Santo Domingo que oscila en el orden del 80-100%, incrementa el tiempo de humectación de las probetas. En referencia al subcapítulo 1.2.2.1, tomado del artículo de Hodson y Lander (1987), el aumento de la intensidad de la banda puede deberse a la formación de grupos COOH y OH.
- Aumento en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2934.63 cm^{-1}) y una intensidad muy pequeña, casi imperceptible en la banda del grupo $-CH_2$.

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1724.07 cm^{-1}), debido posiblemente a la formación de grupos carbonilos nuevos por la hidrólisis y oxidación de la resina.
- Gran disminución en las intensidades de las bandas del carbonato de calcio (1436.73 y 874.75 $cm.^{-1}$), debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga.

El lado anterior del sistema de pintura tipo 2 en la estación Santo Domingo (SDM) presentó la mayor pérdida de color o decoloración registrada en todo el actual estudio, esta falla se puede apreciar en la Figura 3.13 y en mayor tamaño en las fotografías del Anexo V. 3.

La mayor pérdida de color o decoloración registrada en el lado anterior del sistema tipo 2 se debe posiblemente al aspecto blanquecino que la migración del carbonato de calcio le confiere, se resalta que el sistema tipo 2 tiene una formulación con alto porcentaje de carbonato de calcio como se conoció por difracción de rayos X y que la disminución en la intensidades de las bandas principales de este grupo funcional también es muy alta.

La alta migración del carbonato se explica en base a la alta degradación de la resina alquídica en el lado anterior por efecto directo de la radiación UV de la luz solar y que se evidencia con la disminución de la intensidad del grupo $–CH_2$, el aumento en la intensidad del grupo $–CH_3$ y el aumento de la intensidad del grupo carbonilo ester, características que indican que la cadena polimérica original se encuentra fragmentada y que experimentó reacciones de hidrólisis y oxidación.

3.5.2.1.4. Estación Santo Domingo – Sistema Tipo 2 - Lado Posterior

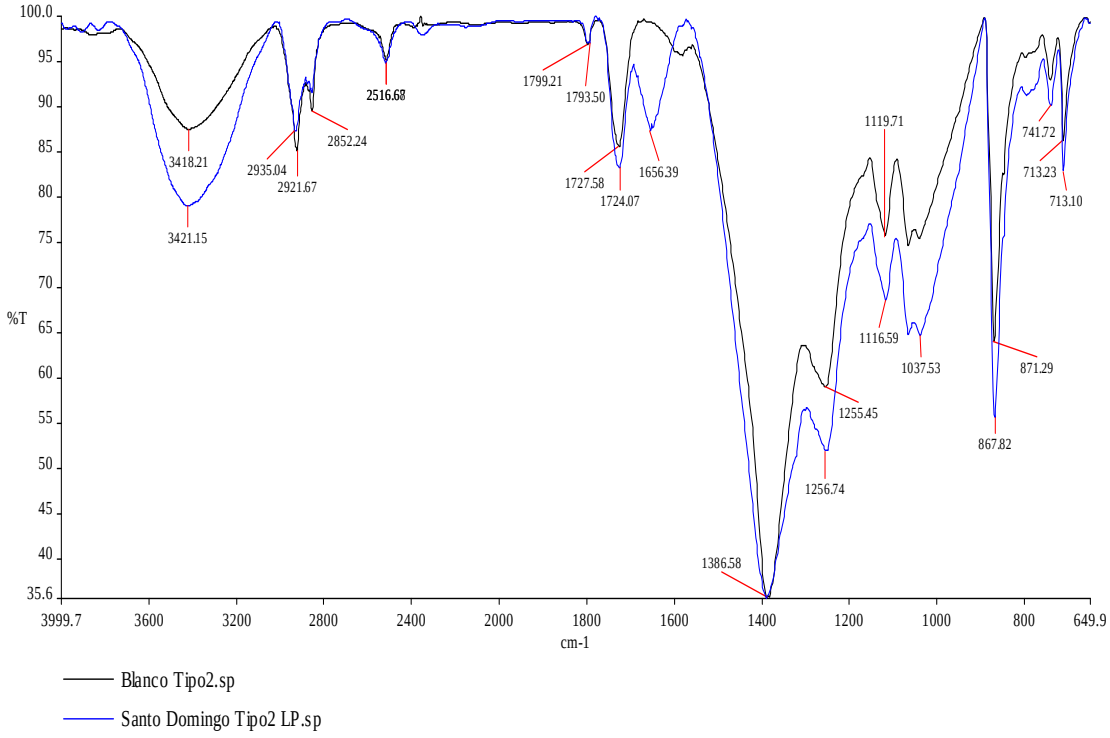


Figura 3.37: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.

La Figura 3.37 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 2 en la estación Santo Domingo (SDM) para el lado posterior de la probeta. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Aumento en la intensidad de las bandas de los grupos –OH (3421.15 cm^{-1}), debida posiblemente a que la alta humedad relativa de la estación Santo Domingo que oscila en el orden del 80-100%, incrementa el tiempo de humectación de las probetas. En referencia al subcapítulo 1.2.2.1, tomado del artículo de Hodson y Lander (1987), el aumento de la intensidad de la banda puede deberse a la formación de grupos COOH y OH.
- Disminución en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2935.04 cm^{-1}) y una intensidad muy pequeña casi imperceptible en la banda del grupo $-CH_2$, de las

cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1724.07 cm^{-1}), debido posiblemente a la formación de grupos carbonilos nuevos por la hidrólisis y oxidación de la resina.
- La intensidad de la banda principal de carbonato de calcio (1386.58 cm^{-1}) permanece prácticamente sin variación, debido posiblemente a que el punto tomado para correr el espectro no es representativo, ya que las probetas presentan visualmente manchas blanquecinas aisladas en su superficie debido a la migración del carbonato, razón por la cual se esperaría aumento en la intensidad de ésta banda.

  La banda secundaria (867.82 cm^{-1}) que presenta aumento en su intensidad posiblemente se encuentra solapada.

El lado posterior de las probetas del sistema tipo 2 en la estación Santo Domingo a diferencia del lado anterior no experimenta tan alta pérdida de color o decoloración, como se aprecia en la Figura 3.13 y en mayor tamaño en las fotografías del Anexo V. 4.

Sin embargo se resalta que la migración de carbonato de calcio debido a la degradación de la resina alquídica y a la posible insuficiencia de ésta en la formulación como se discutió en 3.2.2.1, si es apreciable en la superficie de las probetas como manchas blanquecinas aisladas para dar el aspecto de pérdida de color o decoloración.

La resina alquídica presenta degradación evidenciada en la disminución de la intensidad de las bandas de los grupos $–CH_3$ y $–CH_2$ y en el aumento del grupo carbonilo ester, por lo cual sus partículas no actuarán de manera óptima para recubrir las partículas de carbonato y se desencadenará la migración de este pigmento extendedor o carga.

3.5.2.2. Cámara de Arco de Xenón

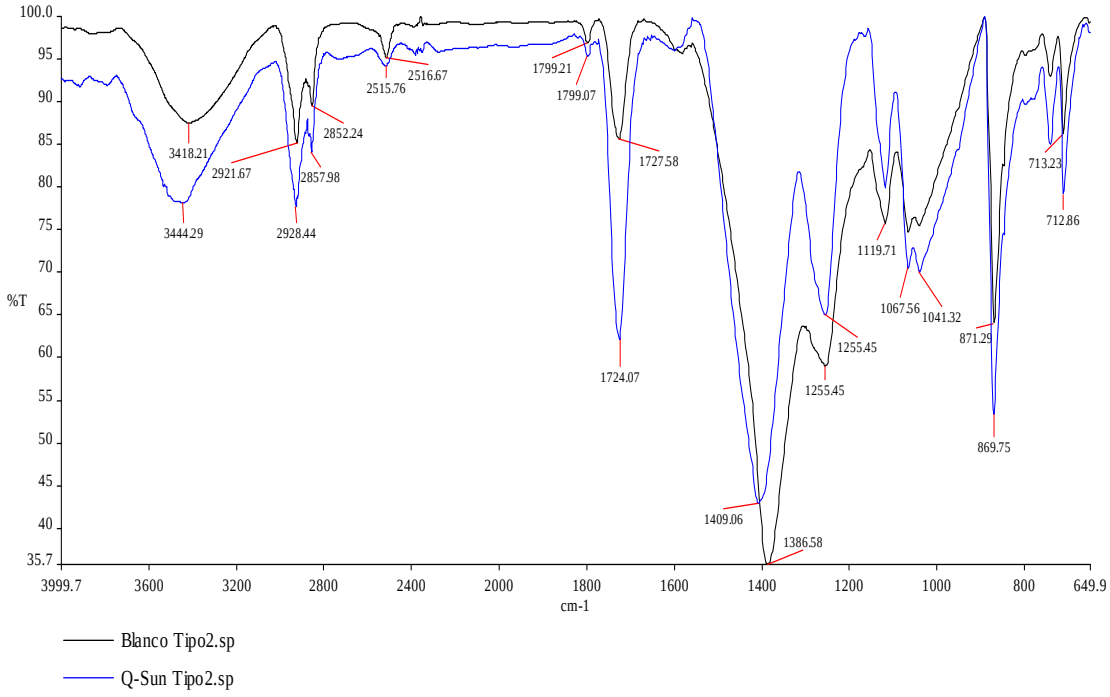


Figura 3.38: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Ensayo Cámara de Arco de Xenón: ASTM D6695-03b - Ciclo 1. Exposición 250 horas.

La Figura 3.38 corresponde al espectro infrarrojo del sistema tipo 2 en el ensayo de cámara de arco de xenón. Las variaciones en las intensidades de las bandas de los principales grupos funcionales son señaladas a continuación:

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo –OH (3444.29 cm^{-1}), debida posiblemente a que la cantidad de agua desionizada que entrega el ciclo en uno de sus pasos (luz y spray de agua, 18 min.) mantiene húmeda la superficie de la probeta porque logra entrar en el interior de la película del sistema de pintura.
- Aumento en la intensidad de la banda del grupo $-CH_3$ (2928.44 cm^{-1}) y una intensidad muy pequeña, casi imperceptible en la banda del grupo $-CH_2$ (2857.98 cm^{-1}), de las cuales se puede inferir que se presentaron reacciones de ruptura en la cadena de la resina ocasionando pérdida de material alifático.

- Aumento en la intensidad de la banda del grupo carbonilo ester (1724.07 cm^{-1}), debido posiblemente a la formación de grupos carbonilos nuevos por la hidrólisis y oxidación de la resina.
- Disminución en la banda principal de carbonato de calcio (1409.06 cm^{-1}), debido posiblemente a la migración de este pigmento extendedor o carga.
  La banda secundaria (869.75 cm^{-1}) que presenta aumento en su intensidad posiblemente se encuentra solapada.

Los resultados que se presentaron en el ensayo ASTM D6695-03b - Ciclo 1 en cámara de arco de xenón para el sistema tipo 2 mantuvieron la tendencia de la falla presentada en las estaciones atmosféricas de Quito y Santo Domingo: la pérdida de color o decoloración, tal como se aprecia en la Figura 3.23.

Previamente se discutió que la radiación UV de la luz solar es la mayor responsable para la degradación de la resina y la consecuente migración de pigmentos, especialmente del pigmento extendedor, carbonato de calcio.

La radiación UV de la lámpara de xenón simulo en menor proporción la degradación de la resina alquídica que se presentó en los ensayos de campo, esto se evidencia al comparar las intensidades de las bandas de los grupos $-CH_3$, $-CH_2$ y carbonilo ester entre el espectro de cámara de arco de xenón y los espectros de Quito y Santo Domingo para el sistema tipo 2.

Los resultados indican que es necesario un tiempo mayor a 250 horas de ensayo para que la radiación UV de la lámpara de xenón alcance la misma degradación de la resina, que la radiación UV de la luz solar ocasionó en seis meses en el sistema tipo 2.
A mayor degradación de la resina alquídica, mayor migración de carbonato de calcio y por consecuencia mayor apariencia de pérdida de color o decoloración para el sistema tipo 2.

3.6. MECANISMO DE DEGRADACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PINTURAS

El mecanismo de degradación que se propone a continuación se basa: en los resultados de los sistemas de pintura en los ensayos de campo y acelerados, en la evaluación al microscopio, en la cuantificación por medio del estándar ASTM D610-01 y en el análisis mediante el aumento y/o disminución de las bandas de los grupos funcionales por espectroscopia de infrarrojos (IR).

El mecanismo consta de siete pasos que se indican a continuación y pueden ser apreciados en la Figura 3.39.

1. Exposición atmosférica y/o acelerada de los sistemas de pintura.
2. Ingreso de las variables de intemperie (H_2O, O_2, radiación UV, contaminantes, microorganismos) a la película de los revestimientos.
3. Degradación de la resina y falla del revestimiento.
4. Migración del pigmento primario y pigmentos extendedores o cargas a la superficie del revestimiento. (Aparición de manchas blancas y pérdida de color o decoloración de los revestimientos)
5. Inicio del proceso corrosivo en el metal.
6. Formación de los productos de la corrosión (puntos de color amarillo).
7. Rompimiento del revestimiento y aparición de la herrumbre.

El mecanismo de degradación propuesto para los sistemas de pintura alquídicos con pigmentos de óxido de hierro concuerda con el mecanismo propuesto por Aldás y Rivas (2008) en su estudio de resinas alquídicas con pigmentos en base a fosfatos.

Las manchas de color blanco indicadas en el paso 4 se observan de mejor manera en el lado posterior de las probetas en los ensayos de campo, seguramente estas manchas son menos perceptibles en el lado anterior debido a su lavado por efecto de la lluvia.

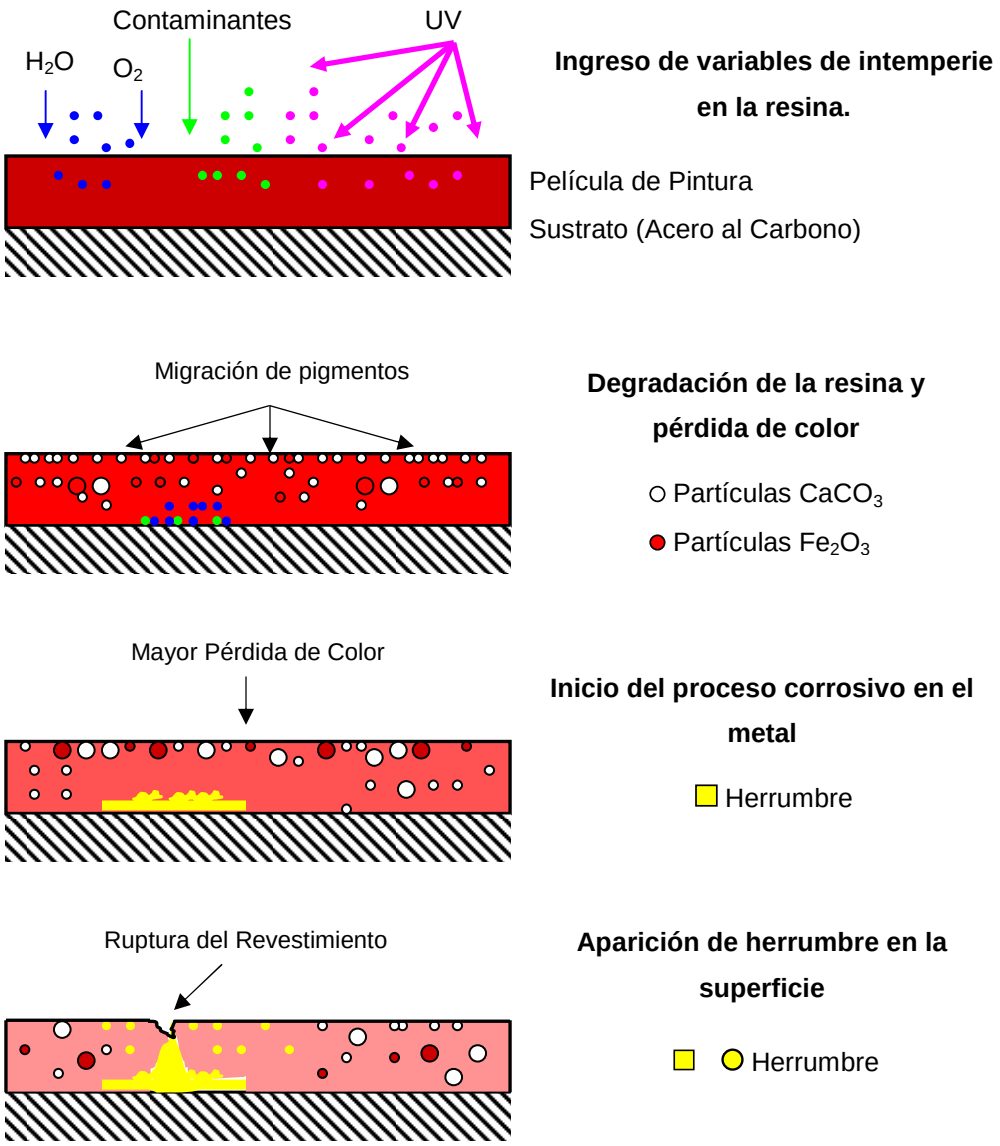


Figura 3.39: Mecanismo de degradación de los sistemas de pintura alquídicos con pigmento rojo óxido de hierro.

Posiblemente estas manchas de color blanco se deban sobretodo a la migración de los pigmentos extendedores o cargas (carbonato de calcio) en los sistemas de pintura que contienen mayor proporción de estos con respecto al pigmento primario (rojo óxido de hierro), es decir en el sistema tipo 2.

Posteriormente, en los ensayos de campo se observa que en el lado anterior de las probetas los sistemas de pintura presentan una apariencia de pérdida de color

o decoloración, atribuida también a la migración del pigmento extendedor o carga por efecto de la interacción con la luz UV.

En los ensayos acelerados de cámara salina (Prohesion) y cámara de arco de xenón (ASTM D6695-03b, Ciclo1) se observan también las manchas de color blanco más notorias para el sistema tipo 2, el cual tiene mayor cantidad de carbonato de calcio. Estas manchas blancas se las pudo apreciar en la Figura 3.26 y son las responsables de que la apariencia del sistema tipo 2 sea de pérdida de color o decoloración.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La degradación en los dos sistemas de pintura alquídicos con pigmento rojo óxido de hierro se caracterizó por dos fallas principales: la corrosión y la pérdida de color o decoloración, esta tendencia se presentó tanto en las dos estaciones de campo como en los ensayos acelerados realizados.

- La estación de ensayo de Santo Domingo de los Colorados con una atmósfera subtropical presentó mayor agresividad en la degradación de los sistemas de pintura estudiados, frente a la estación de ensayo de Quito con una atmósfera urbana, ya que las dos fallas indicadas se desarrollaron en mayor magnitud en esta estación.

- Posiblemente la acción de la alta humedad relativa y la alta nubosidad de la estación Santo Domingo, factores que influyen en el tiempo de humectación (TDH), además de la proliferación de microorganismos, sean los parámetros más influyentes para la corrosión en revestimientos poliméricos.

- La radiación ultravioleta (UV) afecta principalmente a la pérdida de color o decoloración de los revestimientos, ya que esta falla se presenta en mucha mayor proporción en el lado anterior de las probetas que en su lado posterior; además, se ratifica su influencia en la exposición acelerada en cámara de arco de xenón.

- La variable de mayor importancia en la formulación de pinturas es la relación PVC/CPVC, que probablemente es mayor a la unidad en los dos sistemas de pintura analizados, dejando así la posibilidad de que las partículas de los pigmentos (primario y extendedores o cargas) migren hacia la superficie frente a la exposición atmosférica y acelerada, por no encontrarse recubiertas del ligante alquídico.

- El sistema tipo 1 se caracterizó por ser el de menor resistencia a la corrosión, probablemente la cantidad de resina es insuficiente para recubrir las partículas del pigmento primario rojo óxido de hierro, permitiendo que estas migren hacia la superficie para dejar al sistema vulnerable a la degradación.

- El efecto barrera, protección característica de los óxidos de hierro frente a la degradación y la corrosión, probablemente no se desarrolló en los sistemas de pintura debido a que previamente el pigmento migró hacia la superficie.

- El sistema tipo 2 se caracterizó por ser el de mayor resistencia contra la corrosión pero el de mayor pérdida de color; el aspecto “blanquecino” debido a la migración del carbonato de calcio formó una capa protectora anticorrosiva, que por la inestabilidad de este compuesto no garantizará una protección permanente.

- Los ensayos acelerados de 250 horas en cámara salina (Prohesion) y en cámara de arco de xenón (Ciclo 1, ASTM D6695-03b) simularon en menor magnitud la tendencia de las fallas presentadas en las atmósferas naturales: la corrosión y la pérdida de color.

- Los ensayos acelerados realizados reproducen el mecanismo de degradación de los sistemas de pintura en las atmósferas naturales de Quito y Santo Domingo; cabe resaltar que no generaron ningún deterioro anómalo o diferente al presentado en las atmósferas naturales, defectos como ampollas, erosión, agrietamiento, cuarteamiento u otros.

- La degradación de la resina alquídica se evidenció con los espectros infrarrojos por el aumento y/o disminución de la intensidad de las bandas de los grupos $-CH_2$, $-CH_3$ y carbonilo ester frente al espectro del sistema de pintura original (sin degradación).

- La migración del carbonato de calcio hacia la superficie de las probetas significa la salida de este material del sistema de pintura, la cual se observa como pérdida de color y se confirma con los espectros infrarrojos por la disminución en la intensidad de sus bandas frente al espectro original (sin degradación).

- La búsqueda de formulaciones de sistemas de pinturas libres de cromatos en coordinación con la empresa Megapinturas S.A. debe continuar con pigmentos atóxicos como los óxidos de hierro, probando diferentes formulaciones y su desempeño tanto en ensayos de campo como en ensayos acelerados.

- El montaje y puesta en marcha de los equipos de degradación acelerada y sus respectivos auxiliares fue un gran éxito, los equipos se encuentran actualmente en operación y perfecto funcionamiento.

4.2. RECOMENDACIONES

- Modificar las formulaciones de los dos sistemas de pintura, considerando mayor cantidad de resina alquídica para que la relación PVC/CPVC sea cercana a la unidad, condición necesaria para un desempeño óptimo de los revestimientos expuestos a ensayos a la intemperie.

- Complementar el análisis de espectroscopia de infrarrojos realizado con espectros de los sistemas de pintura luego de un año de exposición, para que de esta manera sea posible comparar y evaluar la intensidad de las bandas con respecto a los espectros originales sin exposición y a los espectros de seis meses registrados en el presente proyecto.

- Realizar una caracterización inorgánica cuantitativa de los sistemas de pintura luego de un año de exposición mediante calcinación y difracción de rayos X, para así evaluar la pérdida de pigmento primario y de los pigmentos

extendedores (cargas) frente a las condiciones iniciales, adicionalmente a la espectroscopia de infrarrojos.

- Incrementar los tiempos de exposición a los ensayos acelerados en más de 250 horas, para así alcanzar la misma magnitud de las fallas presentadas en Quito y Santo Domingo luego de seis meses de exposición; y en lo posible obtener una correlación matemática específica del comportamiento de los sistemas de pintura estudiados entre las atmósferas naturales y los ensayos acelerados.

- Realizar ensayos de exposición en cámara salina combinando con exposición en cámara de arco de xenón para la misma probeta, algo similar al estándar ASTM D5894-05 (Standard Practice for Cyclic Salt Fog/UV Exposure of Painted Metal, Alternating Exposures in a Fog/Dry Cabinet and a UV/Condensation Cabinet) también conocido como “Prohesion Modificado”, con el fin de obtener una mayor relación entre los ensayos atmosféricos y los ensayos acelerados.

- Seguir los instructivos de uso de equipos, las hojas de registro y las indicaciones de seguridad de los rótulos colocados, para la correcta operación de la cámara salina y la cámara de arco de xenón montadas, además de evaluarlos en búsqueda de la mejora continua.

- Realizar el mantenimiento respectivo de los sistemas de purificación de agua para asegurar su calidad en los ensayos acelerados; la limpieza del destilador para cámara salina, y el cambio de filtros de carbono y filtro desionizador para la cámara de arco de xenón.

- Adquirir los sistemas de calibración de los equipos de degradación acelerada, recomendados por el fabricante Q-Lab, para que los ensayos realizados sean reproducibles y cumplan a cabalidad los estándares ASTM utilizados. Los sistemas de calibración necesarios son: el termómetro de calibración (F-9130) para la cámara salina; el termómetro de calibración de

panel negro (CT20/BP) y el radiómetro de calibración a 340nm. para filtro Daylight Q (CR20/340/D) para la cámara de arco de xenón.

- Adquirir un medidor de salinidad para optimizar la medición diaria de la solución salina del reservorio y condensada en cámara salina, ya que la titulación colorimétrica requiere mayor tiempo y consume un reactivo costoso, el nitrato de plata.

- Adquirir el software (gratuito) para el control de los parámetros de la cámara de arco de xenón, además de las otras opciones de filtros que permiten simular distintas condiciones según el tipo de material y aplicación (interiores, exteriores).

- Instalar un sistema de recirculación para el agua de enfriamiento en la operación de destilación que permite la alimentación de agua destilada a la cámara salina, con el fin de aprovechar mejor este recurso de alto consumo y que al momento es enviado al drenaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldás, M. y Valle, L., 2007, “Determinación de la influencia de la corrosividad atmosférica de la ciudad de Quito sobre sistemas de pinturas anticorrosivas libres de cromatos”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito Ecuador.

- Aldás, M. y Rivas, J., 2008, “Determinación de la influencia de la corrosividad atmosférica de los ambientes industrial, marino, urbano y urbano húmedo sobre sistemas de pinturas con pigmentos anticorrosivos en base a fosfatos”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito Ecuador.

- ASTM Standards. (Active Standards):

    - Volume 06.01 Paint -Test for Chemical, Physical, and Optical Properties, Appearance

- Baboian, R., 2005, “Corrosion Tests and Standards. Application and Interpretation”, 2nd Edition, ASTM, USA.

- Cazco, P.; Recalde, P.; 2002, “Determinación de la corrosividad atmosférica en la ciudad de Quito”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito Ecuador.

- Cremer, N. *et al.*, 1989, “Prohesion Compared to Salt Spray and Outdoors. Cyclic Methods of Accelerated Corrosion Testing”, Shropshire, England.

- Farhat, M., 2005, “Paints, Pigments and Industrial Coatings” en Farhat, M. *et al*., “Handbook of Industrial Chemistry”, Editorial McGrawHill, New York, Estados Unidos, pp. 201-256.

- Forsgren, A., 2006, “Corrosion control through organic coatings”, CRC Press Taylor & Francis Group. USA. pp.

- Genescá, J. y Ávila, J., “Más allá de la herrumbre. Lucha contra la corrosión” http://omega.ilce.edu.mx

- Hare, C., 1992, “The degradation of coatings by ultraviolet light and electromagnetic radiation”, Journal of protective coatings and linings (reprint).
- Hare, C., 1994, “Protective Coatings. Fundamentals of chemistry and composition”, Technology Publishing Company, Pittsburgh, USA.
- Hare, C., 2006, “Corrosion and its control by coatings” en Tracton, A. 2006, “Coatings technology handbook”, CRC Press Taylor & Francis Group. USA. pp. 102-1 – 102-9.
- Hodson J. y Lander J., 1987, “The analysis of cured paint media and a study of weathering of alkyd paints by FTi.r./PAS”, Polymer, Vol 28, 251.
- Holmberg, K., 2006, “Alkyd Resins” en Tracton, A. 2006, “Coatings technology handbook”, CRC Press Taylor & Francis Group. USA. pp. 51-1 – 51.12.
- Heitkamp, A. y Pellote D., 1995, “Alkyd and Polyesters” en Koleske J., “Paint and Coating Testing Manual”, 14th edition, ASTM, USA, pp. 53-59.
- Hicks, L. y Crewdson, M., 1995, “Natural Weathering” en Koleske J., “Paint and Coating Testing Manual”, 14th edition, ASTM, USA, pp. 619-642.
- Jacques, L. 2000; “Accelerated and outdoor/natural exposure testing of coatings”, Progress in polymer science, Vol. 25, pp. 1337-1362.
- Koleske, J., 1995, “Paint and Coating Testing Manual”, 14th Edition. ASTM.
- Laitinen, H. y Harris, W., 1982, “Análisis químico”, Editorial Reverté.
- Morcillo, M. *et al.*, 1998, “Corrosión y Protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica”, Parte I, CYTED, España.
- Morcillo, M. *et al.,* 2002, “Corrosión y Protección de metales en las atmósferas de Iberoaméric”, Parte II, CYTED, España.

- NACE (National Association of Corrosion Engineers), 1984, “Corrosion Basics”, Houston, Texas, USA.
- Q-LAB Corporation, 2006, “Q-Fog Cyclic Corrosion Tester. Operating Manual (LF-8151)”, Cleveland, USA.
- Q-LAB Corporation, 2007, “Q-Sun Xenon Test Chamber. Operating Manual (LX-5080.1)”, Cleveland, USA.
- Romero, B., 1974, “Teñido de Paja Toquilla con colorantes básicos”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito Ecuador.
- Salgado, O.; Navarrete, E.; 2007, “Determinación de la Corrosividad Atmosférica de las ciudades de Santo Domingo y Esmeraldas”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito Ecuador.
- Salinas, M., 2004, “Determinación de la corrosividad atmosférica en la ciudad de Quito, Parte II”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito Ecuador.
- Scheirs, J., 2000, “Compositional and failure analysis of polymers: A practical approach”, England, p. 267
- Sherbondy, V., 1995, “Accelerated Weathering” en Koleske J., “Paint and Coating Testing Manual”, 14th edition, ASTM, USA, pp. 643-6533
- Simpson, C. *et al.*, 1991, “Accelerated Corrosion Testing of Industrial Maintenance Paints using a Cyclic Corrosion Weathering Method”, Journal of Protective Coatings & Linings.
- Tracton, A., 2006, “Coatings technology handbook”, CRC Press Taylor & Francis Group, USA.

ANEXOS

ANEXO I

ESTÁNDARES Y NORMAS

ESTÁNDARES ASTM

Exposición atmosférica

- ASTM G7-05 Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials
- ASTM G50-76(2003) Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals

Evaluación de fallas en pinturas

- ASTM D609-00(2006) Standard Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products
- ASTM D610-01 Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces
- ASTM D660-93(2005) Standard Test Method for Evaluating Degree of Checking of Exterior Paints
- ASTM D661-93(2005) Standard Test Method for Evaluating Degree of Cracking of Exterior Paints
- ASTM D662-93(2005) Standard Test Method for Evaluating Degree of Erosion of Exterior Paints
- ASTM D714-02e1 Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints
- ASTM D772-86(2005) Standard Test Method for Evaluating Degree of Flaking (Scaling) of Exterior Paints
- ASTM D1654-05 Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments
- ASTM D4214-07 Standard Test Methods for Evaluating the Degree of Chalking of Exterior Paint Films (Reemplaza a: D659-86 Method of Evaluating Degree of Chalking of Exterior Paints (Withdrawn 1989))

Evaluación visual de color

- ASTM D2616-96(2003) Standard Test Method for Evaluation of Visual Color Difference With a Gray Scale
- ASTM D1729-96(2003) Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials
- ASTM D1535-07 Standard Practice for Specifying Color by the Munsell System

Cámara salina

- ASTM B117-07a Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus
- ASTM G85-02e1 Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing
- ASTM D1735-04 Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Fog Apparatus
- ASTM D2247-02 Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity
- ASTM D5894-05 Standard Practice for Cyclic Salt Fog/UV Exposure of Painted Metal, (Alternating Exposures in a Fog/Dry Cabinet and a UV/Condensation Cabinet)

Calidad del agua y su análisis

- ASTM D1193-06 Standard Specification for Reagent Water
- ASTM E70-07 Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode

Cámara de arco de xenón

- ASTM D6695-03b Standard Practice for Xenon-Arc Exposures of Paint and Related Coatings
- ASTM *G155*-05a Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials (Reemplaza a: G26-96 Practice for

Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials (Withdrawn 2000)

Espectroscopia de infrarrojos (IR)

- ASTM D2621-87(2005) Standard Test Method for Infrared Identification of Vehicle Solids From Solvent-Reducible Paints

NORMAS TÉCNICAS ECUATORIANAS INEN

Colores de tubería

- NTE INEN 0440:84 Colores de Identificación de Tubería

Cámara salina

- NTE INEN 2268:2001 Pinturas y Productos Afines. Determinación del Comportamiento en Cámara Salina

NORMAS TÉCNICAS PERUANAS

Símbolos de seguridad

- NTP 399.010-1: 2004: Señales de Seguridad. Colores, símbolos, formas y dimensiones de señales de seguridad. Parte 1: Reglas para el diseño de las señalas de seguridad

ESTÁNDARES ISO

Exposición atmosférica

- ISO 9223:1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification
- ISO 9224:1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories

- ISO 9225:1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution
- ISO 9226:1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity

Símbolos de seguridad

- ISO 3864-1:2002: Graphical symbols - Safety colours and safety signs - Part 1: Design principles for safety signs in workplaces and public areas
- ISO 3864-2:2004 : Graphical symbols - Safety colours and safety signs - Part 2: Design principles for product safety labels

ANEXO II

ESPESORES DE REVESTIMIENTO SECO, USO, ESTACIÓN Y CÓDIGO

Anexo II. 1: Probetas Sistema Tipo 1. Espesores de revestimiento seco inicial, uso, estación y código.

SISTEMA TIPO 1								
No. Probeta	**ESPESORES**						**Uso/ Estación**	**Código**
	No. Mediciones (μm)				**Promedio**			
	1	**2**	**3**	**4**	**(μm)**	**(mils)**		
1	48,4	51,2	65,3	55,9	55,2	2,17	Difracción Rayos X	I-DRX-1
2	70,4	74,7	65,9	63,8	68,7	2,70		
3	61,4	65,6	75,4	71	68,4	2,69	Cámara Salina	I-FOG-3-14:4
4	45,4	57,5	61,6	58,7	55,8	2,20		
5	65,9	73	72	65,2	69,0	2,72	Cámara Arco Xenón	I-SUN-5
6	65,1	79,8	85,1	88,2	79,6	3,13	Difracción Rayos X	I-DRX-6
7	64,9	63,8	67,3	54,6	62,7	2,47		
8	71,3	60,8	63,2	59,2	63,6	2,50	Cámara Salina	I-FOG-8-10:4
9	70,8	62,8	69,9	68,2	67,9	2,67	Cámara Salina	I-FOG-9-12:4
10	61,9	65,2	60	67,1	63,6	2,50	Blanco	I-BLC-10
11	56,5	66	59,2	56,7	59,6	2,35	Cámara Salina	I-FOG-11-4:4
12	50,7	61,3	59,4	63,6	58,8	2,31		
13	60	58	62,1	45,5	56,4	2,22	Infrarrojos	I-EIR-13
14	55,2	60,9	54,2	61	57,8	2,28		
15	51,1	65,8	65,5	58,5	60,2	2,37	Santo Domingo	I-SDM-15-2:10
16	59,7	67,8	72,3	58,3	64,5	2,54		
17	50	61,4	61,6	60,6	58,4	2,30		
18	65,8	57,5	72,5	66,4	65,6	2,58	Quito	I-UIO-18-5:1
19	58,2	58,5	73,9	76,2	66,7	2,63	Santo Domingo	I-SDM-19-1:10
20	52,6	59,6	65,1	71,9	62,3	2,45	Santo Domingo	I-SDM-20-3:10
21	62	58,1	62,2	66,2	62,1	2,45		
22	59,3	65,5	66,2	57,7	62,2	2,45	Quito	I-UIO-22-5:2
23	56,3	62,3	66,6	59,6	61,2	2,41		
24	69,5	60,1	73,3	59	65,5	2,58	Quito	I-UIO-24-6:3
25	51,9	54,4	59,2	61	56,6	2,23		
26	67,2	74	64,9	71	69,3	2,73	Quito	I-UIO-26-4:3
27	58,5	60,4	59,7	61,3	60,0	2,36		

*Las probetas que no aparecen con código, estación o uso no fueron utilizadas en el presente proyecto de titulación.

Anexo II. 2: Convenciones.

Convenciones	
Tipo 1:	I
Tipo 2:	II
Placa con Muesca	
XX:XX	Fila:Columna

Anexo II. 3: Probetas Sistema Tipo 2. Espesores de revestimiento seco inicial, uso, estación y código.

SISTEMA TIPO 2								
No. Probeta	**ESPESORES**						**Uso/ Estación**	**Código**
	No. Mediciones (μm)				**Promedio**			
	1	**2**	**3**	**4**	**(μm)**	**(mils)**		
1	54,6	42,6	48,8	43,5	47,4	1,87	Difracción Rayos X	II-DRX-4
2	39,2	40,5	41,8	42,2	40,9	1,61		
3	60,2	54,9	48,9	53,3	54,3	2,14	Blanco	II-BLC-3
4	52,4	52,9	47,3	49,2	50,5	1,99		
5	53,9	60,1	67,5	65,2	61,7	2,43		
6	56,4	52,3	56,3	57	55,5	2,19	Santo Domingo	II-SDM-6-4:10
7	55	58,9	53,8	60,3	57,0	2,24		
8	52,9	53,8	53,6	55,1	53,9	2,12		
9	49,2	52,3	48	52,5	50,5	1,99	Santo Domingo	II-SDM-9-5:10
10	48,2	55,7	54,9	58,9	54,4	2,14	Quito	II-UIO-10-1:10
11	57,2	52,3	60,3	59,5	57,3	2,26	Quito	II-UIO-11-1:7
12	50,4	51,8	56,8	55,7	53,7	2,11		
13	50,6	49,5	58,1	57,8	54,0	2,13	Infrarojos	II-EIR-13
14	57,1	60,3	59,2	53,4	57,5	2,26		
15	52,3	52,7	52,7	48,9	51,7	2,03	Santo Domingo	II-SDM-15-6:10
16	51,3	56,5	62,1	77,2	61,8	2,43	Cámara Salina	II-FOG-16-12:5
17	61	58,7	52,5	49,7	55,5	2,18	Cámara Salina	II-FOG-17-4:5
18	58,8	50,4	47,8	63,9	55,2	2,17		
19	45,6	48	43,3	45,3	45,6	1,79	Cámara Salina	II-FOG-19-6:5
20	45,6	45	51,8	58,3	50,2	1,98	Difracción Rayos X	II-DRX-20
21	48,7	48,6	44,2	40,3	45,5	1,79	Quito	II-UIO-21-7:9
22	56,2	53,8	60	55,6	56,4	2,22	Quito	II-UIO-22-3:8
23	61,9	56,4	57,7	58,1	58,5	2,30		
24	42,5	41	44,4	41,8	42,4	1,67	Cámara Arco Xenón	II-SUN-24
25	53,7	52	63,5	64,5	58,4	2,30	Cámara Salina	II-FOG-25-14:5
26	53,6	54,8	64,8	66	59,8	2,35		
27	61,9	64,9	74,9	67,1	67,2	2,65		

*Las probetas que no aparecen con código, estación o uso no fueron utilizadas en el presente proyecto de titulación.

Anexo II. 4: Convenciones.

Convenciones	
Tipo 1:	I
Tipo 2:	II
Placa con Muesca	
XX:XX	Fila:Columna

Anexo II. 5: Sistemas Tipo 1 y Tipo 2. Espesores de revestimiento seco: promedio, rango y desviación estándar.

Sistema	**Espesor**				
	Promedio		**Rango**		**Desviación Estándar**
	(μm)	(mils)	(μm)	(mils)	
Tipo 1	63,0	2,48	55,2 - 79,6	2,17 - 3,13	0,21
Tipo 2	53,9	2,12	40,9 - 67,2	1,61 - 2,65	0,25

ANEXO III

CALCINACIÓN Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X

- La preparación de la muestra se describe en la parte experimental, subcapítulo 2.3.1.2.1; el Anexo III. 1 y el Anexo III. 2 indican los pesos registrados en el tarado de crisoles y las cenizas que quedan luego de la calcinación.

- Las cenizas obtenidas en la calcinación fueron enviadas al Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX, EPN) para la realización de la caracterización inorgánica cualitativa y cuantitativa a través difracción de rayos X.

- El Anexo III. 3 corresponde a una reproducción de la hoja de resultados entregada por el DEMEX.

- El Anexo III. 4 y Anexo III. 5 corresponden a los difractogramas que registro el Difractómetro D8 ADVANCE perteneciente al DEMEX.

Anexo III. 1: Pesos de las Muestras de Pintura Sólida Raspada

Sistema	Peso del Crisol Vacío (g)	Peso del Crisol Lleno (g)	Peso de la Muestra (g)
Tipo 1	29,2962	36,3900	7,0938
Tipo 2	28,5891	34,4887	5,8996

Anexo III. 2: Pesos luego de Calcinación y Porcentajes de Cenizas.

Sistema	Peso Crisol + Cenizas (g)	Peso Cenizas (g)	Calcinado (g)	%Cenizas	%Calcinado
Tipo 1	33,8667	4,5705	2,5233	64,43	35,57
Tipo 2	32,1816	3,5925	2,3071	60,89	39,11

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Resultados de Análisis

Solicitante: Dr. Francisco Cadena

Referencia: RM-5021

Fecha: 22/02/08

Muestras recibidas: Cinco muestras sólidas

Resultados de análisis por difracción de rayos X

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en la muestra se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, y el programa Diffrac plus para cualificación y cuantificación. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Material	Formula	Muestra 1 Concentrado Contenido (%)	Muestra 2 Concentrado Contenido (%)	Muestra 3 Concentrado Contenido (%)	Muestra 4 Concentrado Contenido (%)
Cuarzo	SiO_2	30.0	3.0	---	---
Hematita	Fe_2O_3	10.0	4.0	3.0	4.0
Calcita	$CaCO_3$	20.0	60.0	42.0	55.0
Portlandita	$Ca(OH)_2$	12.0	22.0	50.0	35.0
Perowskita	$CaTiO_3$	2.0	3.0	2.0	3.0
Merwinita	$Ca_3Mg(SiO_4)_2$	8.0	8.0	3.0	3.0
Phlogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}F_2$	4.0	--	--	--
Muscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	14.0	--	--	--

Nota: La Muestra 5 presenta un difractograma con picos muy anchos, que no se pueden identificar con exactitud usando la base de datos disponible.

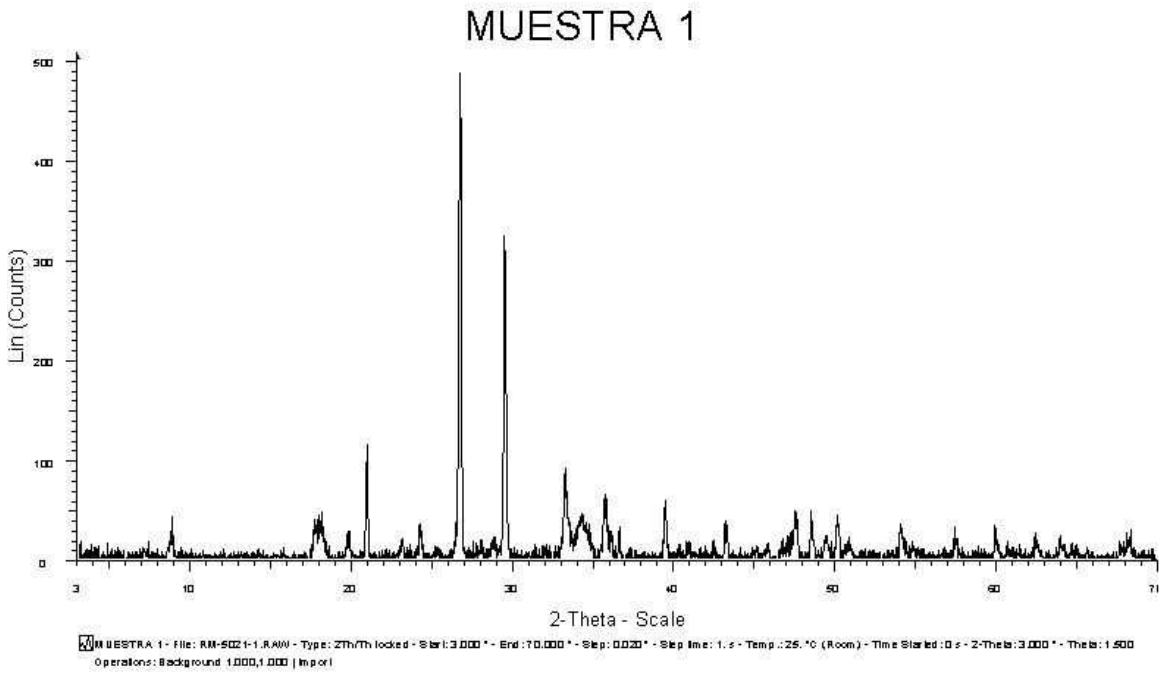
El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida.

Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Departamento

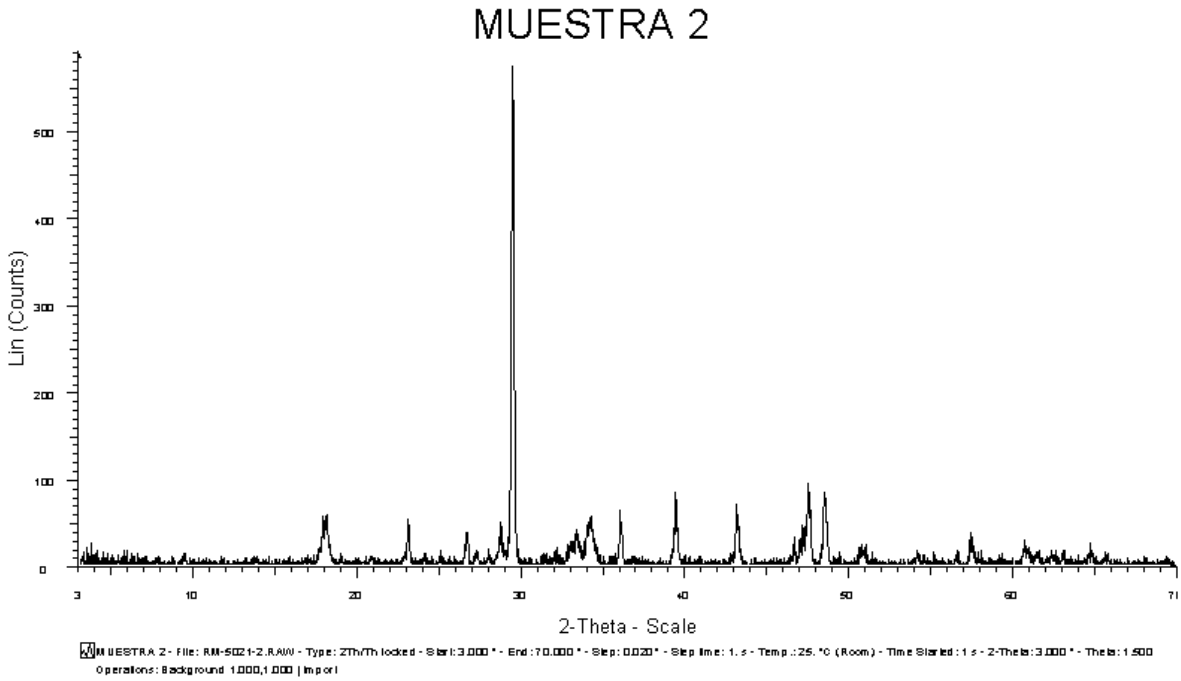
Ing. Alicia Guevara
Responsable

Pasaje Andalucía 134 E12A y Mena Caamaño – TeleFax (593-2) 2 236 562 – Casilla 17-01-2759
E-mail : edelator@interactive.net.ec - Quito-Ecuador

Anexo III. 3: Resultados de análisis. Difracción de Rayos X.
(Las muestras 3, 4 y 5 no corresponden al presente proyecto de titulación).



Anexo III. 4: Difractograma. Sistema Tipo 1.



Anexo III. 5: Difractograma. Sistema Tipo 2.

ANEXO IV

FOTOGRAFÍAS Y ESQUEMAS DE UBICACIÓN DE PROBETAS EN ESTACIONES

Anexo IV. 1: Estación Quito. Fotografía. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas.

Anexo IV. 2: Estación Santo Domingo. Fotografía. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas.

Anexo IV. 3: Estación Quito. Esquema. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas.

ESTACIÓN QUITO (UIO)										
Dirección:		Dirección Metropolitana del Medio Ambiente					**Ambiente:**		Urbano	
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1							II-UIO-11-1:7			II-UIO-10-1:10
2										
3								II-UIO-22-3:8		
4			I-UIO-26-4:3							
5	I-UIO-18-5:1	I-UIO-22-5:2								
6			I-UIO-24-6:3							
7									II-UIO-21-7:9	

Anexo IV. 4: Estación Santo Domingo. Esquema. Ubicación de probetas en el mueble portaprobetas.

ESTACIÓN SANTO DOMINGO (SDM)										
Dirección:		Edificio Municipal					**Ambiente:**		Subtropical	
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1										I-SDM-19-1:10
2										I-SDM-15-2:10
3										I-SDM-20-3:10
4										II-SDM-6-4:10
5										II-SDM-9-5:10
6										II-SDM-15-6:10
7										

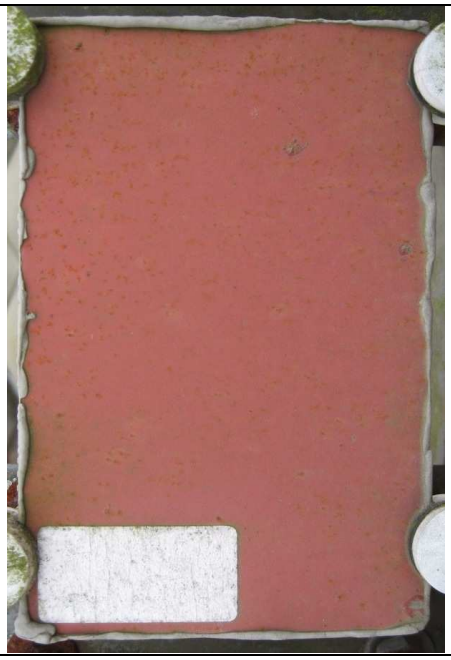
Convenciones	
Tipo 1:	I
Tipo 2:	II
Placa con Muesca	
XX:XX	Fila:Columna

ANEXO V

FOTOGRAFÍAS DE RESULTADOS EN ESTACIONES

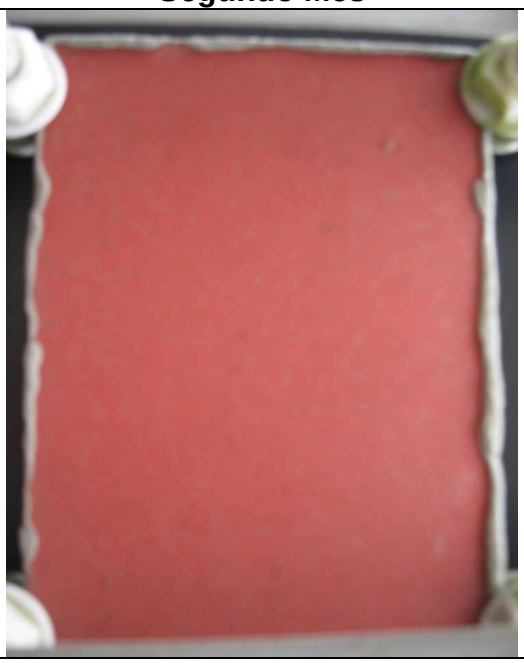
ESTACIÓN SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS (SDM)
Sistema: Tipo 1 (Lado Anterior) Código de probeta: I-SDM-19-1:10, Espesor de revestimiento seco: 2.63mils (inicial) Exposición: 6 meses (188 días)

Inicio	Segundo Mes
Fecha: 15 Junio 2007	**Fecha:** 13 Agosto 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 10

Cuarto Mes	Sexto Mes
	
Fecha: 16 Octubre 2007	**Fecha:** 19 Diciembre 2007
Calificación ASTM D610-01: 6	**Calificación ASTM D610-01:** 4

Anexo V. 1: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior.

ESTACIÓN SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS (SDM)
Sistema: Tipo 1 (Lado Posterior) Código de probeta: I-SDM-19-1:10 Espesor de revestimiento seco: 2.63 mils (inicial) Exposición: 6 meses (188 días)

Inicio	Segundo Mes
	
Fecha: 15 Junio 2007	**Fecha:** 13 Agosto 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 7

Cuarto Mes	Sexto Mes
Fecha: 16 Octubre 2007	**Fecha:** 19 Diciembre 2007
Calificación ASTM D610-01: 6	**Calificación ASTM D610-01:** 5

Anexo V. 2: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior.

ESTACIÓN SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS (SDM)
Sistema: Tipo 2 (Lado Anterior) Código de probeta: II-SDM-9-5:10 Espesor de revestimiento seco: 1.99 mils (inicial) Exposición: 6 meses (188 días)

Inicio	Segundo Mes
Fecha: 15 Junio 2007	**Fecha:** 13 Agosto 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 9

Cuarto Mes	Sexto Mes
Fecha: 16 Octubre 2007	**Fecha:** 19 Diciembre 2007
Calificación ASTM D610-01: 9	**Calificación ASTM D610-01:** 9

Anexo V. 3: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior.

ESTACIÓN SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS (SDM)
Sistema: Tipo 2 (Lado Posterior) Código de probeta: II-SDM-9-5:10 Espesor de revestimiento seco: 1.99 mils (inicial) Exposición: 6 meses (188 días)

Inicio	Segundo Mes
Fecha: 15 Junio 2007	**Fecha:** 13 Agosto 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 9

Cuarto Mes	Sexto Mes
Fecha: 16 Octubre 2007	**Fecha:** 19 Diciembre 2007
Calificación ASTM D610-01: 9	**Calificación ASTM D610-01:** 9

Anexo V. 4: Fotografías. Estación Santo Domingo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior.

ESTACIÓN QUITO (UIO)
Sistema: Tipo 1 (Lado Anterior) Código de probeta: I-UIO-18-5:1 Espesor de revestimiento seco: 2.58 mils (inicial) Exposición: 6 meses (185 días)

Inicio	Primer Mes
Fecha: 2 Julio 2007	**Fecha:** 3 Agosto 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 10

Quinto Mes	Sexto Mes
Fecha: 4 Diciembre 2007	**Fecha:** 2 Enero 2008
Calificación ASTM D610-01: 9	**Calificación ASTM D610-01:** 9

Anexo V. 5: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 1. Lado Anterior.

ESTACIÓN QUITO (UIO)
Sistema: Tipo 1 (Lado Posterior) Código de probeta: I-UIO-18-5:1 Espesor de revestimiento seco: 2.58 mils (inicial) Exposición: 6 meses (185 días)

Inicio	Segundo Mes
Fecha: 2 Julio 2007	**Fecha:** 24 Septiembre 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 7

Quinto Mes	Sexto Mes
Fecha: 4 Diciembre 2007	**Fecha:** 2 Enero 2008
Calificación ASTM D610-01: 6	**Calificación ASTM D610-01:** 6

Anexo V. 6: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 1. Lado Posterior.

ESTACIÓN QUITO (UIO)
Sistema: Tipo 2 (Lado Anterior) Código de probeta: II-UIO-21-7:9 Espesor de revestimiento seco: 1.79 mils (inicial) Exposición: 6 meses (185 días)

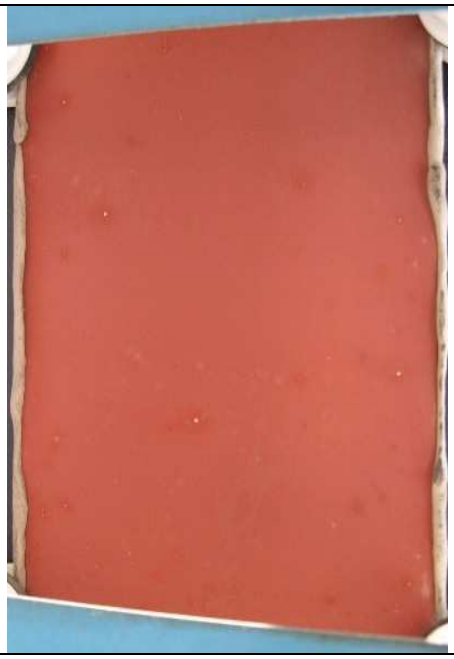
Inicio	Segundo Mes
Fecha: 2 Julio 2007	**Fecha:** 24 Septiembre 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 9

Quinto Mes	Sexto Mes
Fecha: 4 Diciembre 2007	**Fecha:** 2 Enero 2008
Calificación ASTM D610-01: 8	**Calificación ASTM D610-01:** 8

Anexo V. 7: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 2. Lado Anterior.

ESTACIÓN QUITO (UIO)
Sistema: Tipo 2 (Lado Posterior) Código de probeta: II-UIO-21-7:9 Espesor de revestimiento seco: 1.79 mils (inicial) Exposición: 6 meses (185 días)

Inicio	Segundo Mes
Fecha: 2 Julio 2007	**Fecha:** 24 Septiembre 2007
Calificación ASTM D610-01: 10	**Calificación ASTM D610-01:** 8

Quinto Mes	Sexto Mes
	
Fecha: 4 Diciembre 2007	**Fecha:** 2 Enero 2008
Calificación ASTM D610-01: 7	**Calificación ASTM D610-01:** 6

Anexo V. 8: Fotografías. Estación Quito. Sistema Tipo 2. Lado Posterior.

ANEXO VI

RESULTADOS POR ESTACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN CADA PROBETA

Anexo VI. 1: Relación entre la calificación o grado de corrosión según el estándar ASTM D610- 01 y el porcentaje de corrosión.

Calificación ASTM	Calidad*	Cambio*	Porcentaje de Corrosión (%)	
			Rango ASTM D610	Promedio
10	Excelente	Sin cambio	<0,01	0,01
9	---	Muy leve	0,01 - 0,03	0,02
8	Muy buena	Leve	0,03 - 0,1	0,065
7	---	---	0,1 - 0,3	0,2
6	Buena	Moderardo	0,3 - 1	0,65
5	---	---	1 - 3	2
4	Regular	Pronunciado	3 - 10	6,5
3	---	---	10 - 16	13
2	Pobre	Severo	16 - 33	24,5
1	---	---	33 - 50	41,5
0	Muy pobre	Falla completa	>50	50

*Q-Lab Corporation, 2006 "Evaluation of weathering effects: Visual inspections and instrumental measurements - Technical bulletin LL-9030"

- Para entregar un valor puntual de porcentaje de corrosión para cada probeta, se tomo el promedio entre el límite inferior y superior del rango de corrosión que cada calificación ASTM tiene. Así por ejemplo, si la calificación ASTM asignada a la probeta es 7, el porcentaje de corrosión correspondiente es 0.2%.

$$\text{Calificación ASTM}: 7 \rightarrow \%\text{Corrosión} = \frac{(0{,}1 + 0{,}3)}{2} = 0{,}2$$

- Todas las probetas expuestas a las estaciones de Quito (UIO) y Santo Domingo (SDM) presentaron una combinación de dos tipos de corrosión: herrumbre general (general rust, G) y puntos de corrosión (pinpoint rust, P). Según el estándar ASTM D610, cuando se presenta una combinación de éstas la correspondiente distribución de corrosión es híbrida (hybrid rust, H).

- Los resultados de la evaluación visual mediante el estándar ASTM D610-01 en las estaciones de Quito (UIO) y Santo Domingo (SDM) se presentan en el Anexo VI. 2 y Anexo VI. 4 respectivamente.

- Todas las calificaciones ASTM presentadas en el Anexo VI. 2 del y en el Anexo VI. 4 son de corrosión híbrida, la letra H al lado de cada valor no es indicada.

Anexo VI. 2: Estación Quito. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según calificaciones del estándar ASTM D610- 01.

ESTACIÓN QUITO (UIO)													
Ubicación:		Dirección Metropolitana del Medio Ambiente							**Ambiente:**	Urbano			
Sistema	**Código Probeta**	**Mes 0**		**Mes 1**		**Mes 2**		**Mes 3**		**Mes 5**		**Mes 6**	
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
TIPO 1	I-UIO-18-5:1	10	10	10	9	10	7	9	7	9	6	9	6
	I-UIO-22-5:2	10	10	10	10	10	7	9	7	9	6	8	6
	I-UIO-26-4:3	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	8	9
	I-UIO-24-6:3	10	10	10	10	9	9	8	8	8	8	7	8
Promedio		10	10	10	9,8	9,8	8,0	8,8	7,8	8,8	7,3	8,0	7,3
Desviación Estándar		0	0	0	0,5	0,5	1,2	0,5	1,0	0,5	1,5	0,8	1,5
TIPO 2	II-UIO-11-1:7	10	10	10	9	9	8	9	7	8	7	8	6
	II-UIO-22-3:8	10	10	10	10	10	9	9	8	9	8	9	7
	II-UIO-21-7:9	10	10	10	9	9	8	8	7	8	7	8	6
	II-UIO-10-1:10	10	10	10	9	10	9	9	7	8	7	8	6
Promedio		10	10	10	9,3	9,5	8,5	8,8	7,3	8,3	7,3	8,3	6,3
Desviación Estándar		0	0	0	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Anexo VI. 3: Estación Quito. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según porcentajes de corrosión correspondientes aproximados.

ESTACIÓN QUITO (UIO)													
Ubicación:		Dirección Metropolitana del Medio Ambiente							**Ambiente:**	Urbano			
Sistema	Código Probeta	Mes 0		Mes 1		Mes 2		Mes 3		Mes 5		Mes 6	
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
TIPO 1	I-UIO-18-5:1	0	0	0	0,02	0	0,2	0,02	0,2	0,02	0,65	0,02	0,65
	I-UIO-22-5:2	0	0	0	0	0	0,2	0,02	0,2	0,02	0,65	0,065	0,65
	I-UIO-26-4:3	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,065	0,02
	I-UIO-24-6:3	0	0	0	0	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,065	0,2	0,065
Promedio		0	0	0	0,01	0,01	0,11	0,03	0,12	0,03	0,35	0,09	0,35
Desviación Estándar		0	0	0	0,01	0,01	0,10	0,02	0,09	0,02	0,35	0,08	0,35
TIPO 2	II-UIO-11-1:7	0	0	0	0,02	0,02	0,065	0,02	0,2	0,065	0,2	0,065	0,65
	II-UIO-22-3:8	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,065	0,02	0,065	0,02	0,2
	II-UIO-21-7:9	0	0	0	0,02	0,02	0,065	0,065	0,2	0,065	0,2	0,065	0,65
	II-UIO-10-1:10	0	0	0	0,02	0	0,02	0,02	0,2	0,065	0,2	0,065	0,65
Promedio		0	0	0	0,02	0,01	0,04	0,03	0,17	0,05	0,17	0,05	0,54
Desviación Estándar		0	0	0	0,01	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,07	0,02	0,23

Anexo VI. 4: Estación Santo Domingo. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según calificaciones del estándar ASTM D610- 01.

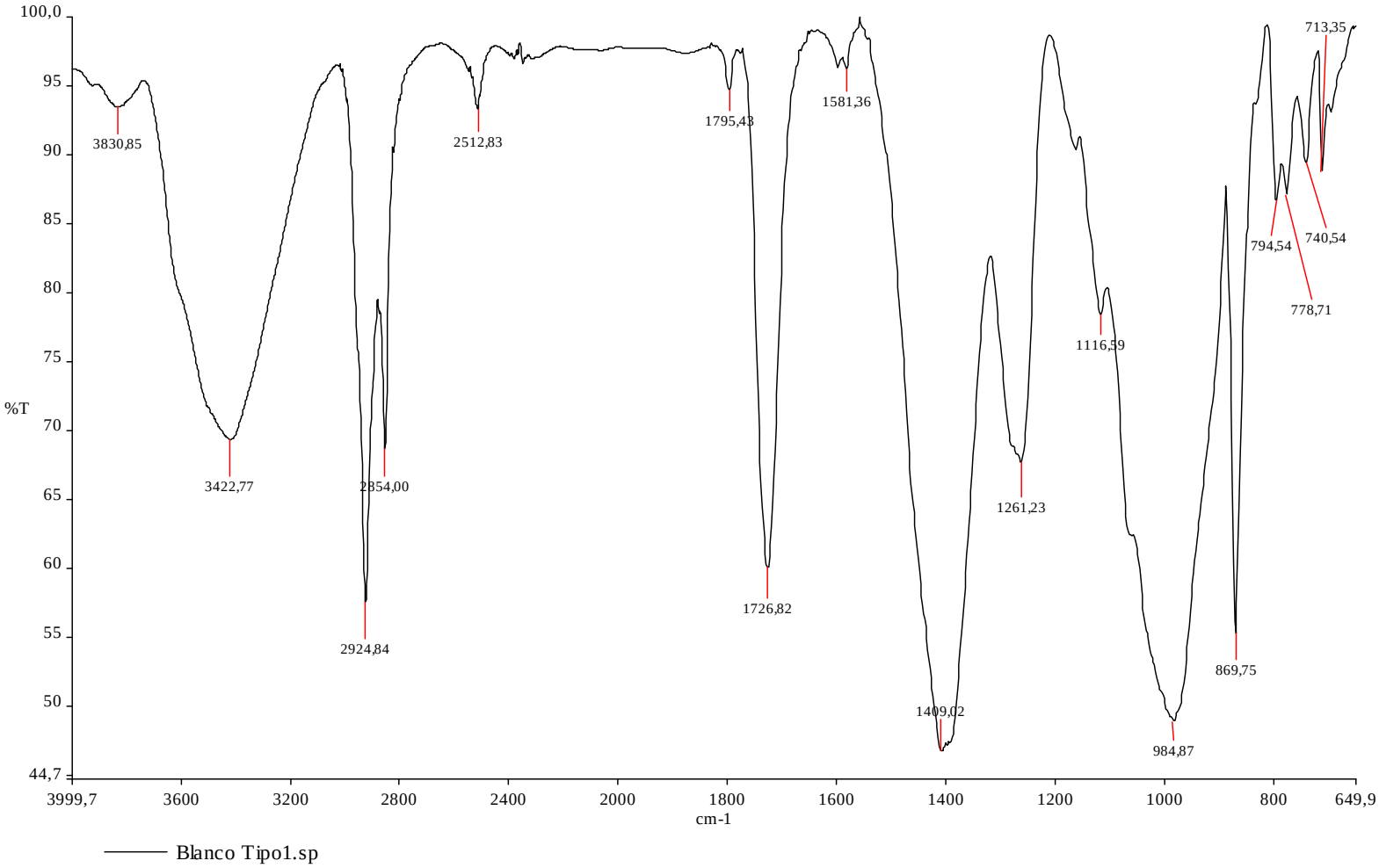
ESTACIÓN SANTO DOMINGO (SDM)									
Ubicación:		Edificio Municipal				**Ambiente:**		Subtropical	
Sistema	**Código Probeta**	**Mes 0**		**Mes 2**		**Mes 4**		**Mes 6**	
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
TIPO 1	I-SDM-19-1:10	10	10	10	7	6	6	4	5
	I-SDM-15-2:10	10	10	8	6	5	5	4	4
	I-SDM-20-3:10	10	10	8	6	6	5	4	4
Promedio		10	10	8,7	6,3	5,7	5,3	4,0	4,3
Desviación Estándar		0	0	1,2	0,6	0,6	0,6	0	0,6
TIPO 2	II-SDM-6-4:10	10	10	9	9	8	8	8	8
	II-SDM-9-5:10	10	10	9	9	9	9	9	9
	II-SDM-15-6:10	10	10	9	10	8	9	8	9
Promedio		10	10	9	9,3	8,3	8,7	8,3	8,7
Desviación Estándar		0	0	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Anexo VI. 5: Estación Santo Domingo. Resultados mensuales de la evaluación de la corrosión según porcentajes de corrosión correspondientes aproximados.

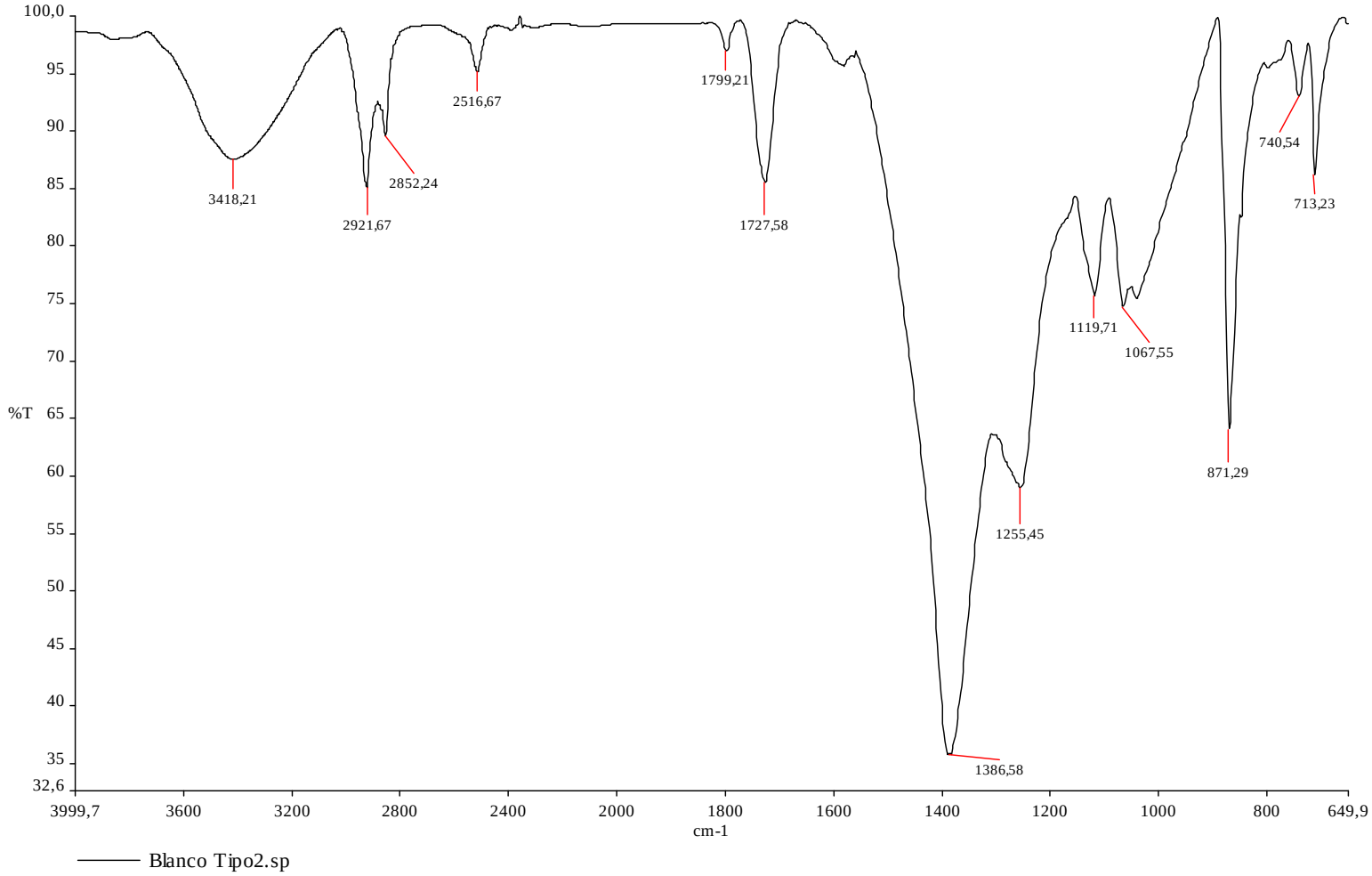
ESTACIÓN SANTO DOMINGO (SDM)									
Ubicación:		Edificio Municipal				**Ambiente:**		Subtropical	
Sistema	**Código Probeta**	**Mes 0**		**Mes 2**		**Mes 4**		**Mes 6**	
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
TIPO 1	I-SDM-19-1:10	0	0	0,01	0,2	0,65	0,65	6,5	2
	I-SDM-15-2:10	0	0	0,065	0,65	2	2	6,5	6,5
	I-SDM-20-3:10	0	0	0,065	0,65	0,65	2	6,5	6,5
Promedio		0	0	0,05	0,5	1,1	1,55	6,5	5
Desviación Estándar		0	0	0,03	0,26	0,78	0,78	0,00	2,60
TIPO 2	II-SDM-6-4:10	0	0	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,065
	II-SDM-9-5:10	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	II-SDM-15-6:10	0	0	0,02	0,01	0,065	0,02	0,065	0,02
Promedio		0	0	0,02	0,02	0,05	0,04	0,05	0,04
Desviación Estándar		0	0	0	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03

ANEXO VII

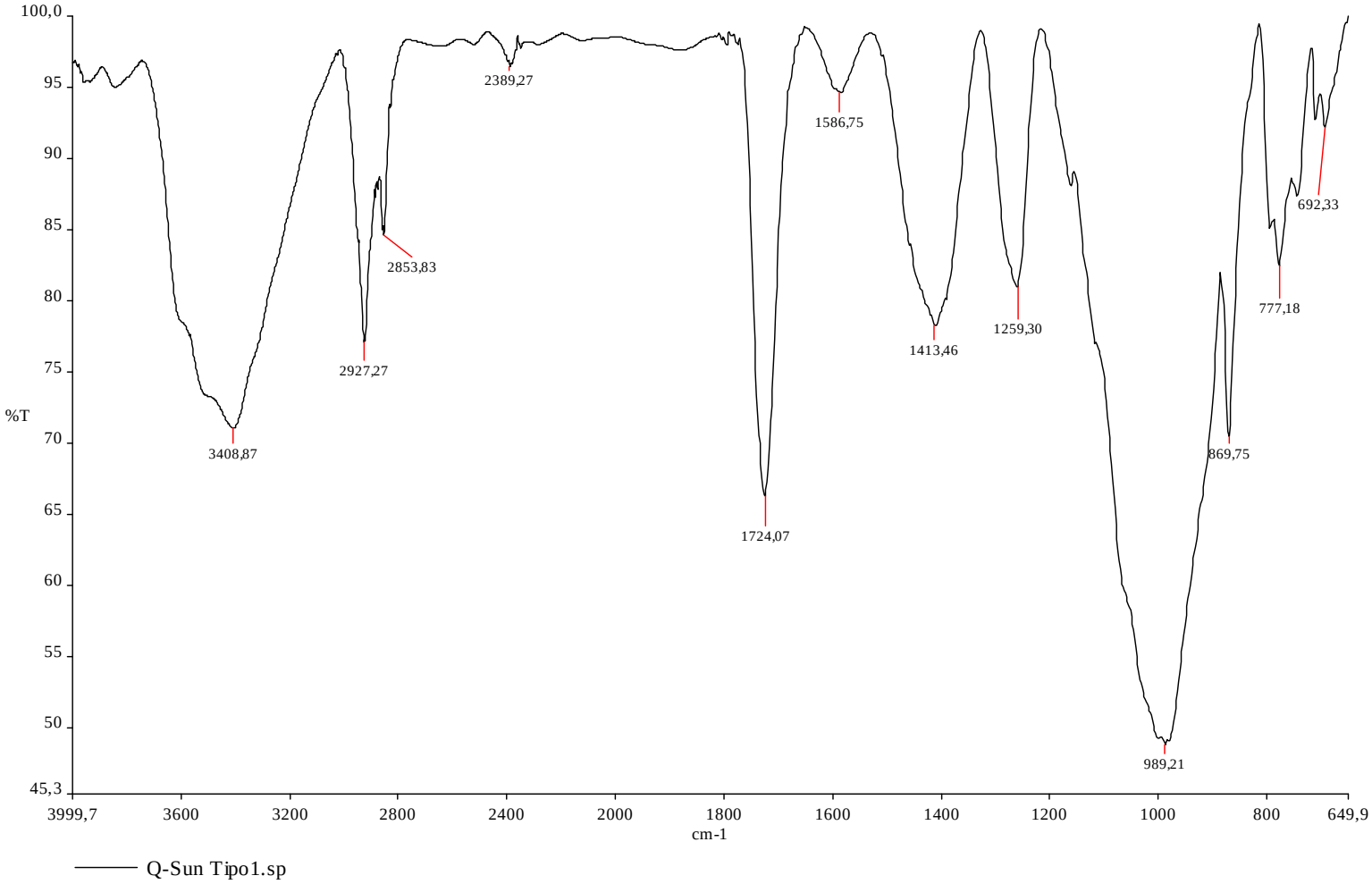
ESPECTROS DE INFRARROJOS



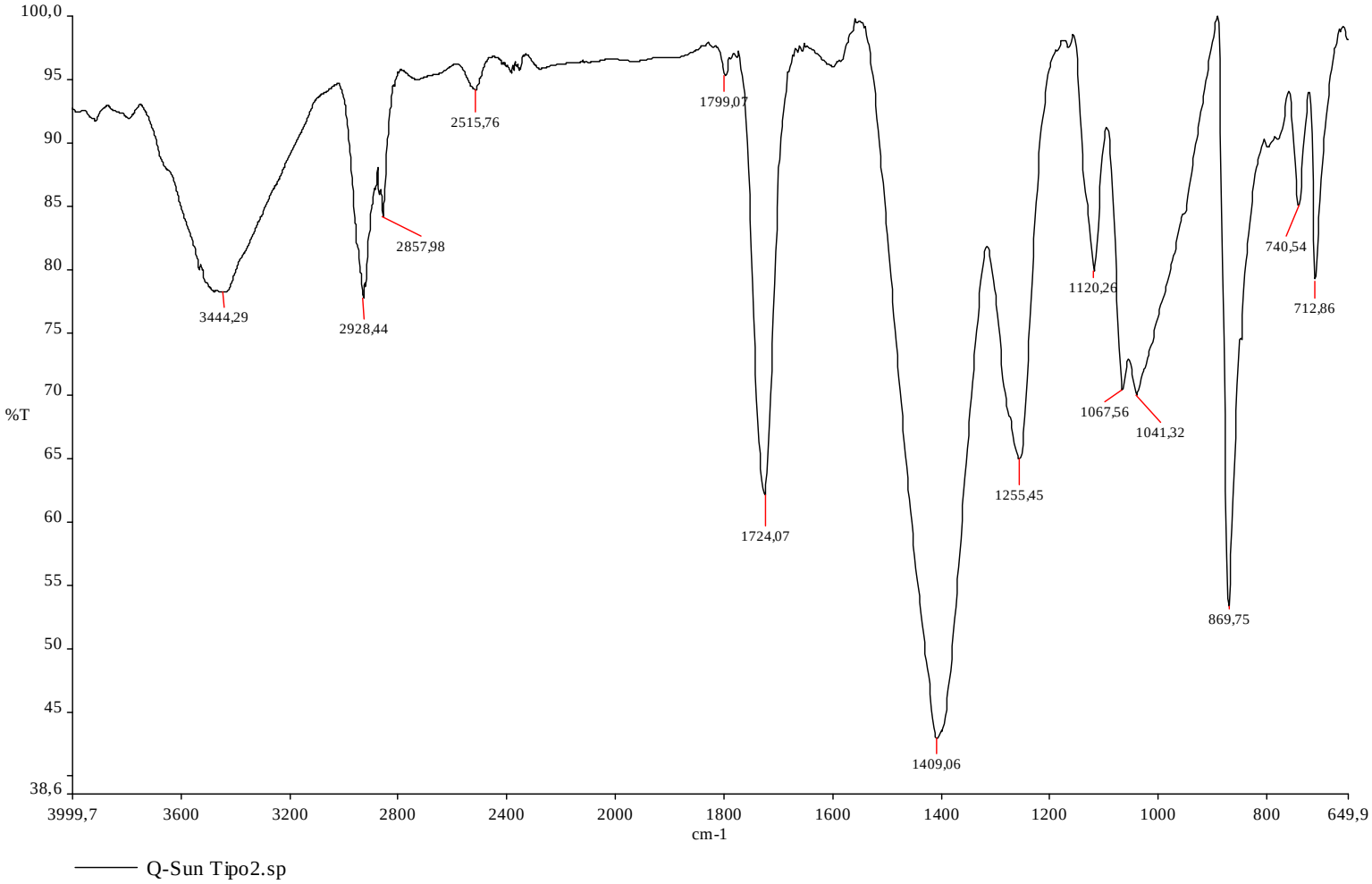
Anexo VII. 1: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Sin Exposición (Blanco)



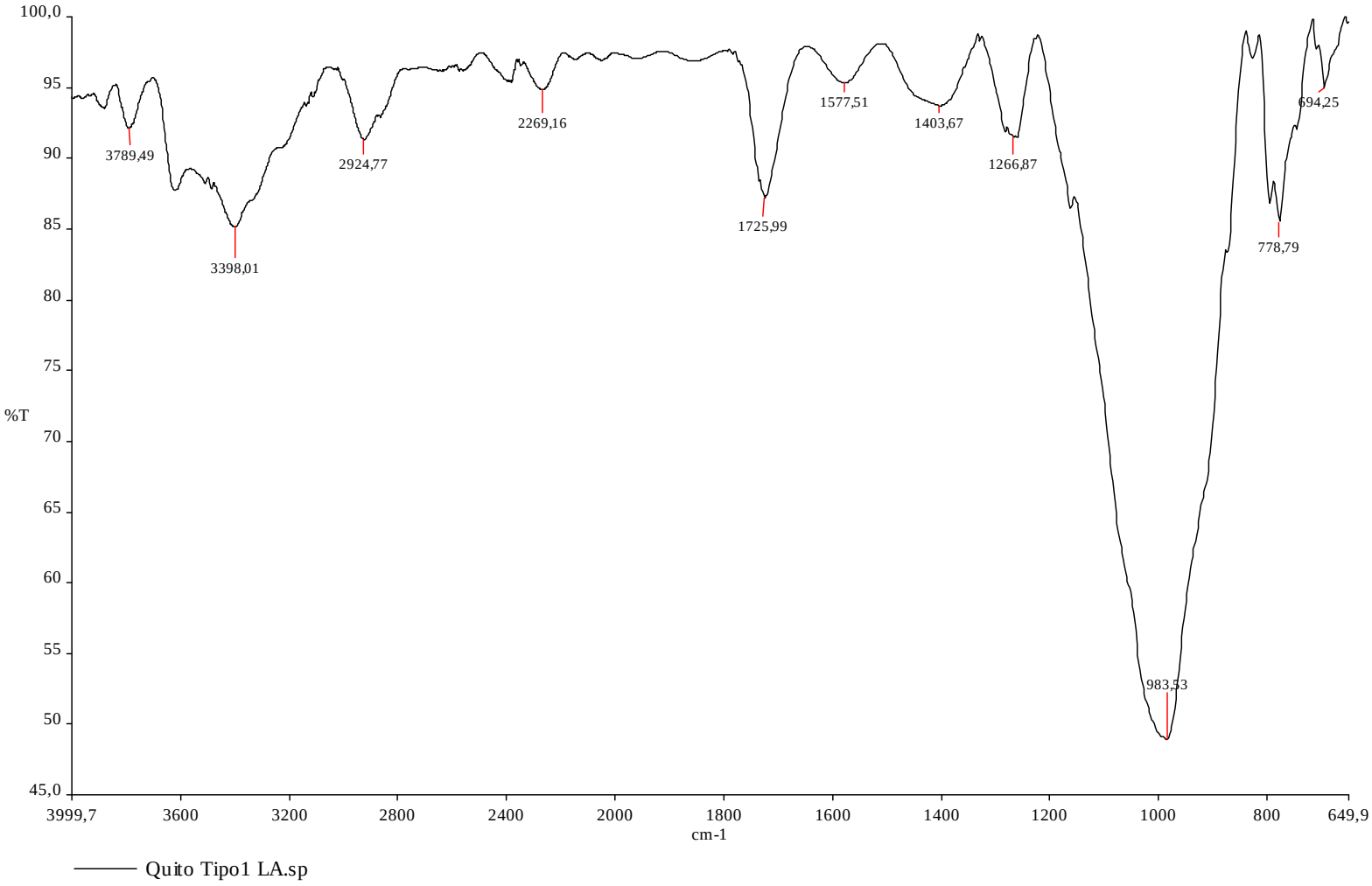
Anexo VII. 2: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Sin Exposición (Blanco)



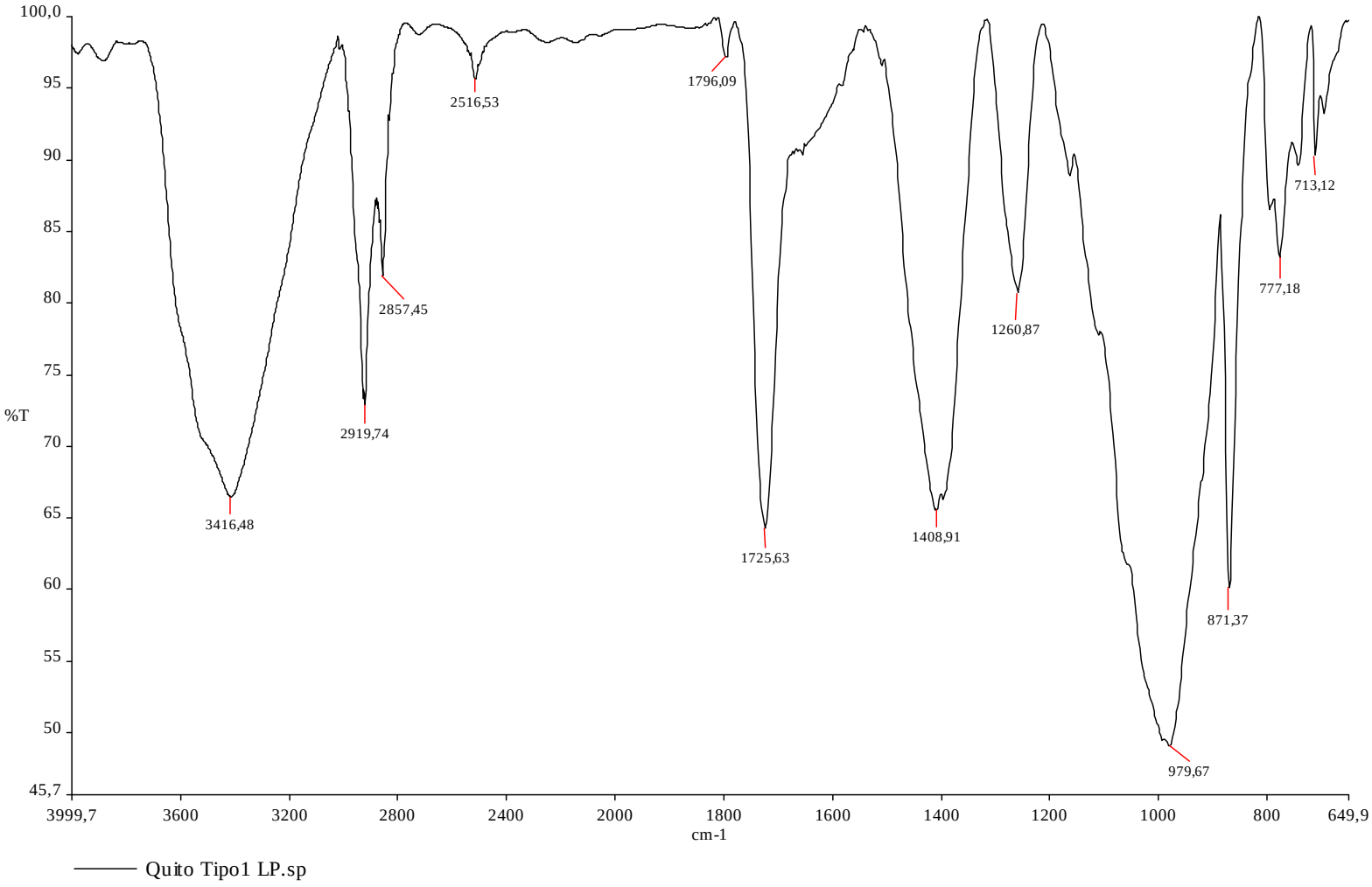
Anexo VII. 3: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Ensayo Cámara de Arco de Xenón. Exposición 250 horas.



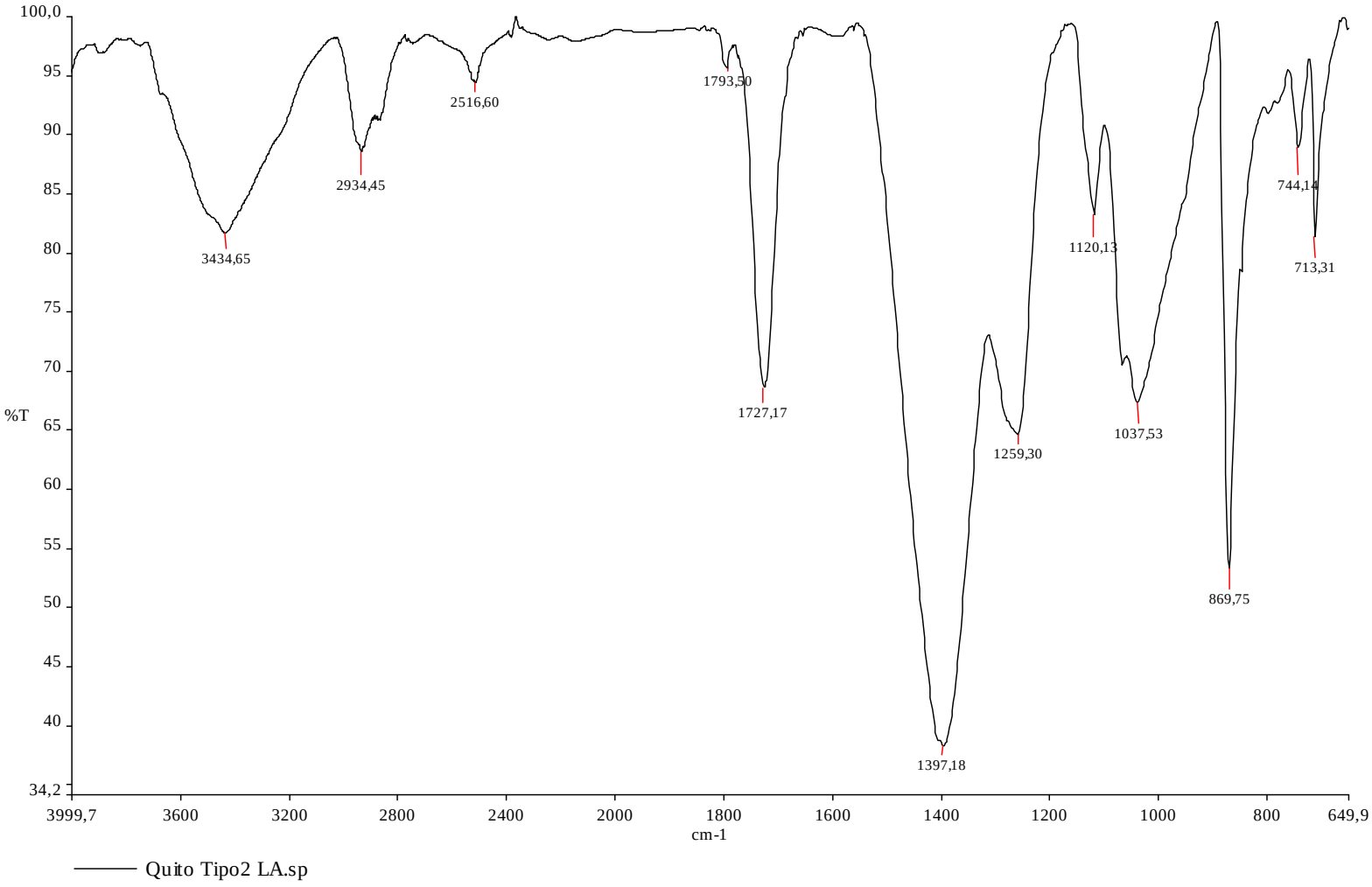
Anexo VII. 4: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Ensayo Cámara de Arco de Xenón. Exposición 250 horas.



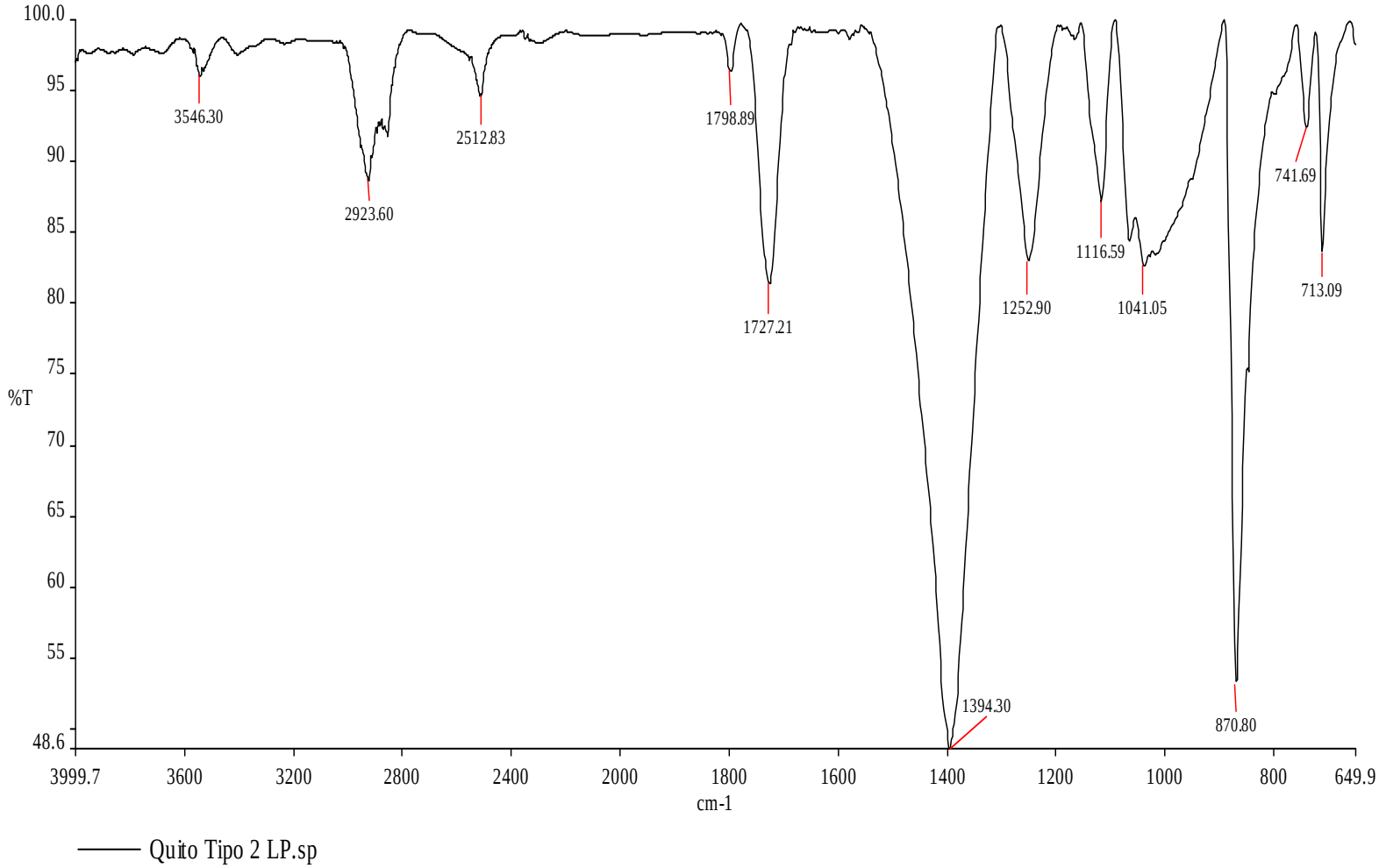
Anexo VII. 5: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.



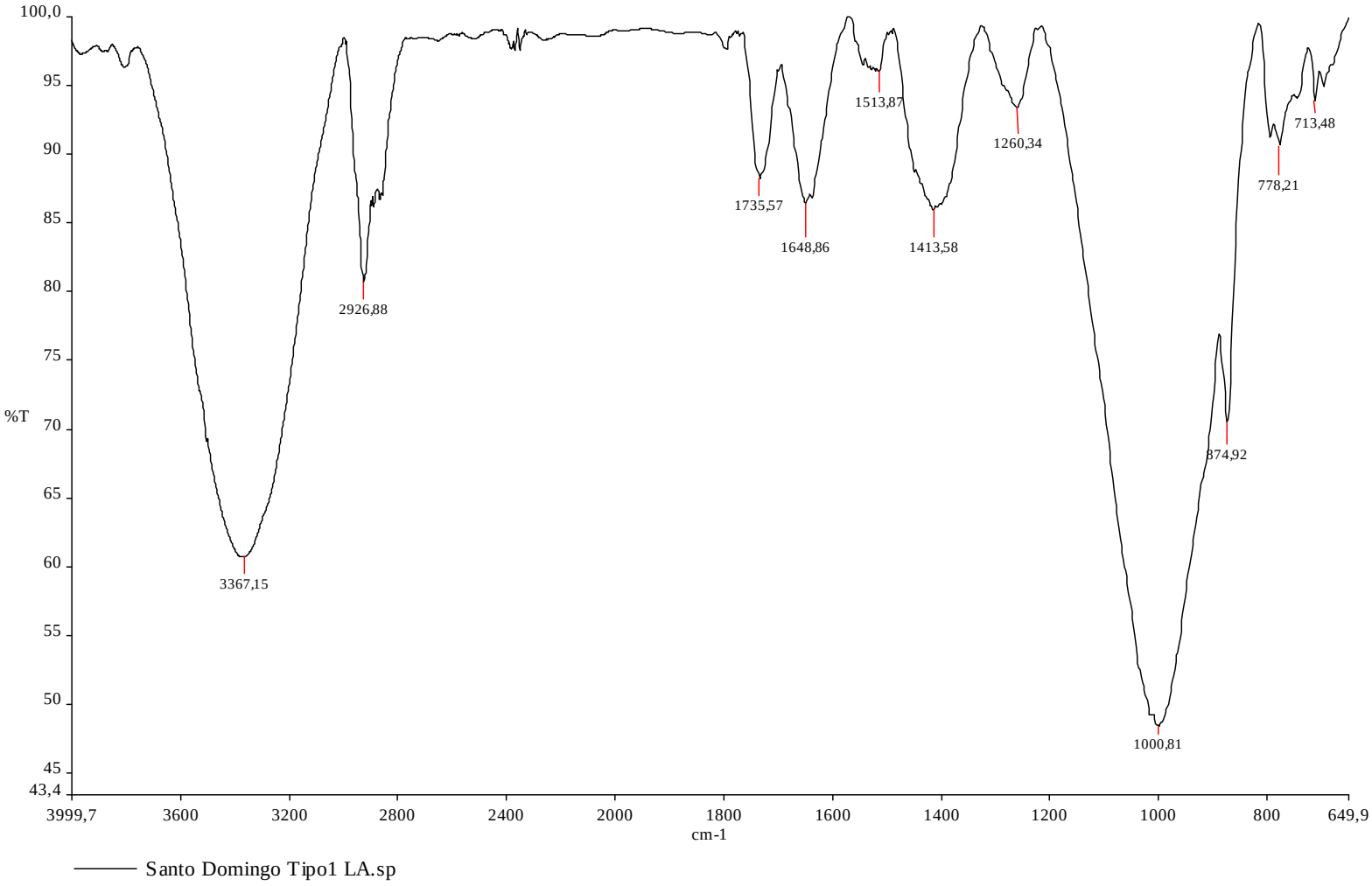
Anexo VII. 6: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.



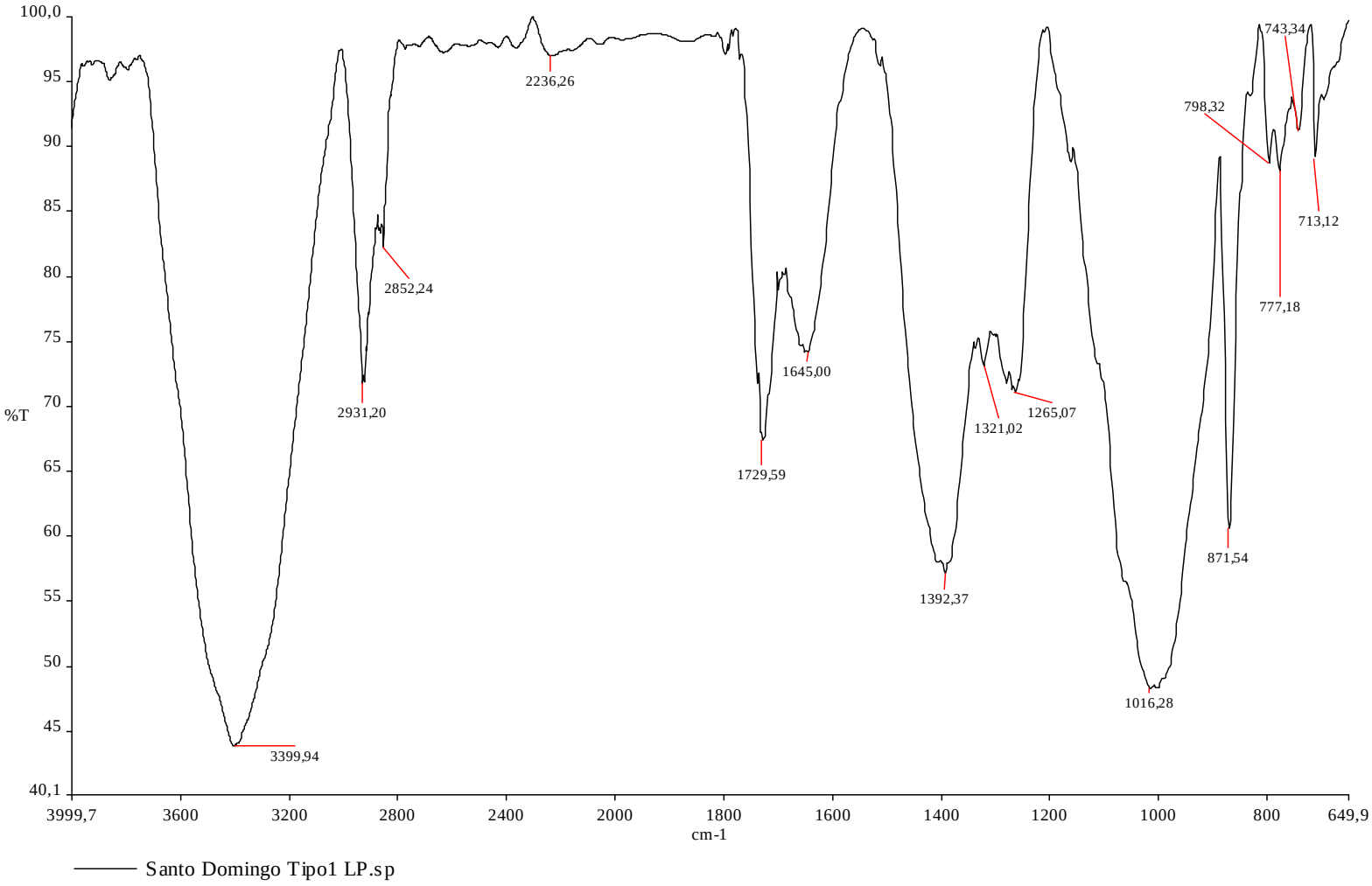
Anexo VII. 7: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.



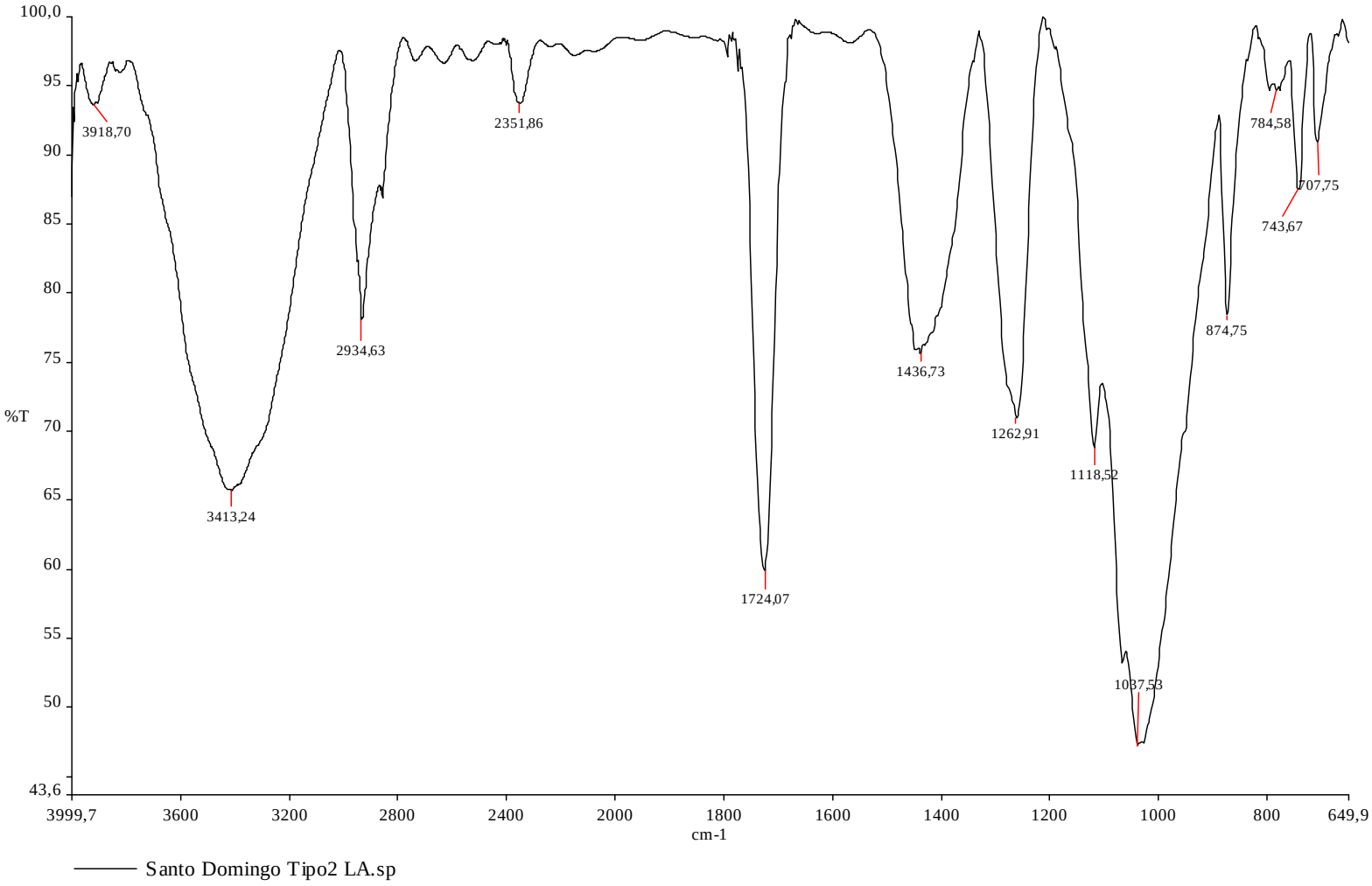
Anexo VII. 8: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Quito. Exposición Seis Meses.



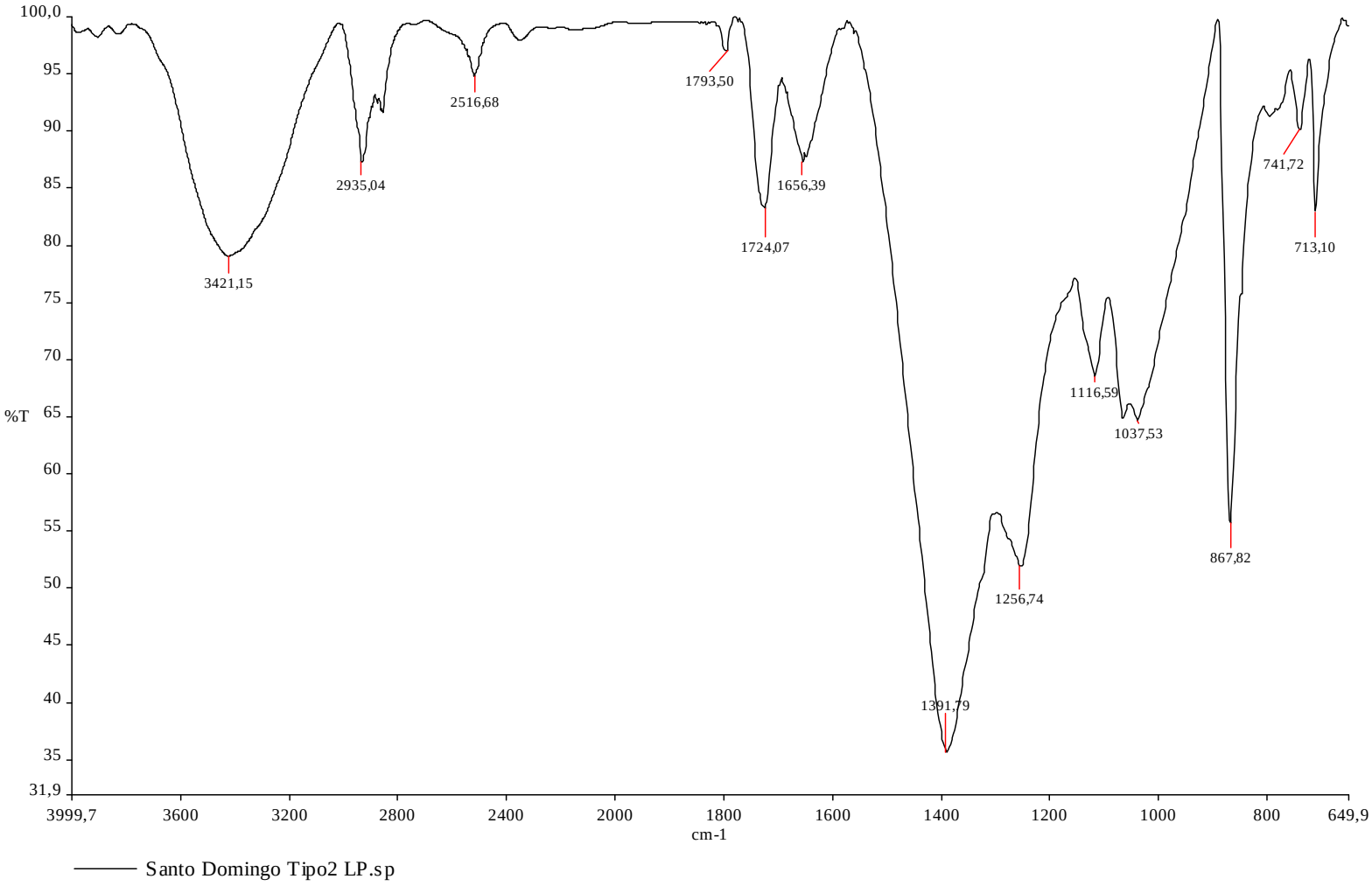
Anexo VII. 9: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.



Anexo VII. 10: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 1. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.



Anexo VII. 11: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Anterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.



Anexo VII. 12: Espectro Infrarrojo. Sistema Tipo 2. Lado Posterior. Estación Santo Domingo. Exposición Seis Meses.

ANEXO VIII

FOTOGRAFÍAS MONTAJE DE EQUIPOS

Anexo VIII. 1: Cámara Salina. Cuarto al inicio.

Anexo VIII. 2: Cámara Salina. Construcción de bases de concreto.

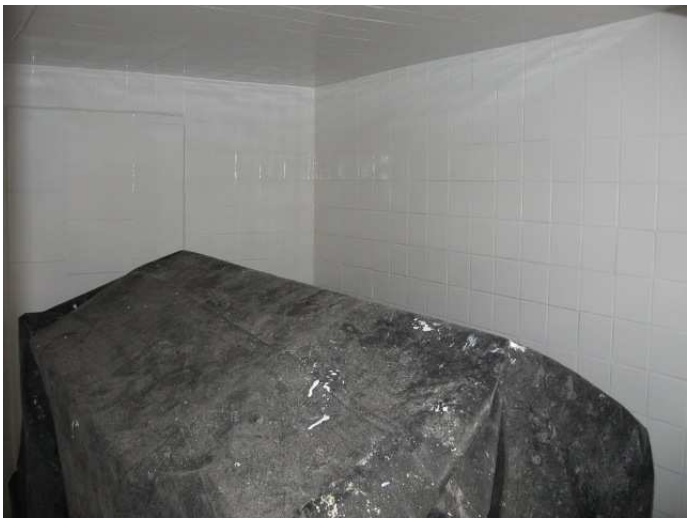
Anexo VIII. 3: Cámara Salina. Construcción de viga e instalación de puertas.

Anexo VIII. 4: Cámara Salina. Instalación de luz tubular.

Anexo VIII. 5: Cámara Salina. Construcción y anclaje de cabina para destilador.

Anexo VIII. 6: Cámara Salina. Construcción de base de concreto y cabina para compresor.

Anexo VIII. 7: Cámara Salina. Instalación de tuberías.



Anexo VIII. 8: Cámara Salina. Aplicación de pintura en cuarto.

Anexo VIII. 9: Cámara Salina. Aplicación de pintura alrededores.

Anexo VIII. 10: Cámara Salina. Pintura para identificación de tuberías (1).

Anexo VIII. 11: Cámara Salina. Pintura para identificación de tuberías (2).

Anexo VIII. 12: Cámara Salina. Adecuación de sistema de portamuestras colgado.

Anexo VIII. 13: Cámara Salina. Rotulación (1).

Anexo VIII. 14: Cámara Salina. Rotulación (2).

Anexo VIII. 15: Cámara Salina. Rotulación destilador.

Anexo VIII. 16: Cámara Salina. Rotulación compresor.

Anexo VIII. 17: Cámara Salina. Rotulación sistema de agua**.**

Anexo VIII. 18: Cámara Salina. Identificación de tuberías.

Anexo VIII. 19: Cámara Salina. Rotulación de interruptores Compresor/ Iluminación.

Anexo VIII. 20: Cámara de Arco de Xenón. Sistema de filtros y membrana.

Anexo VIII. 21: Cámara de Arco de Xenón. Filtro desionizador.

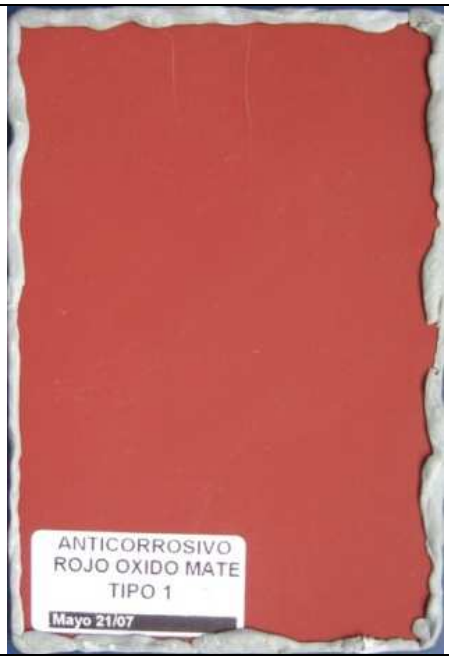
Anexo VIII. 22: Cámara de Arco de Xenón. Almacenamiento y transporte de agua.

Anexo VIII. 23: Cámara de Arco de Xenón. Rotulación.

ANEXO IX

FOTOGRAFÍAS DE RESULTADOS CÁMARA SALINA

ENSAYO ASTM G85 A.5 – PROHESION (FOG)
Sistema: Tipo 1. Lado Anterior Código de probeta: I-FOG-3-14:4 Espesor de revestimiento seco: 2.69 mils (inicial) Exposición: 250 horas

Inicio	46 horas
	
Fecha: 9 Abril 2008	**Fecha:** 11 Abril 2008

140 horas	250 horas
Fecha: 15 Abril 2008	**Fecha:** 21 Abril 2008

Anexo IX. 1: Fotografías. Cámara Salina. Sistema Tipo 1. Lado Anterior.

*(El lado posterior no presentó degradación en este ensayo por lo cual no es indicado.)

ENSAYO ASTM G85 A.5 - PROHESION (FOG)
Sistema: Tipo 2. Lado Anterior Código de probeta: II-FOG-16-12:5 Espesor de revestimiento seco: 2.43 mils (inicial) Exposición: 250 horas

Inicio	46 horas
Fecha: 9 Abril 2008	**Fecha:** 11 Abril 2008

140 horas	250 horas
Fecha: 15 Abril 2008	**Fecha:** 21 Abril 2008

Anexo IX. 2: Fotografías. Cámara Salina. Sistema Tipo 2. Lado Anterior.

*(El lado posterior no presentó degradación en este ensayo por lo cual no es indicado.)

ANEXO X

REPORTE ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5
CÁMARA SALINA

REPORTE ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5 (PROHESION)
CÁMARA SALINA

1. **Tipo de Sal:**
   - Cloruro de Sodio (NaCl) Morton Salt Culinox 999. Pureza: (99.97-99.99)%
   - Sulfato de Amonio $(NH_4)_2SO_4$ Spectrum A1245 Pureza: 99.0% Mínimo.

2. **Tipo de Agua:**
   - Agua Destilada en equipo Boeco WS-3500 (Tipo IV, ASTM 1193)

3. **Lecturas:**

3.1. Temperatura:

Anexo X.1: Reporte ASTM. Cámara Salina. Registro diario de temperaturas.

No.	Fecha	Día	Hora	Tiempo Test	Función	Temperatura	
						Cámara	Set
0	09/04/2008	Miércoles	11h49	0	Fog B/1		25
1	10/04/2008	Jueves	16h22	28	Fog B/1	26	25
2	11/04/2008	Viernes	12h45	46	Fog B/1	31	25
3	14/04/2008	Lunes	9h40	116	Fog B/1	26	25
4	14/04/2008	Lunes	9h50	117	Dry B/2	30	35
5	15/04/2008	Martes	10h18	140	Dry B/2	28	25
6	16/04/2008	Miércoles	10h08	163	Dry B/2	35	35
7	16/04/2008	Miércoles	11h43	164	Fog B/1	35	25
8	17/04/2008	Jueves	9h43	186	Fog B/1	28	25
9	18/04/2008	Viernes	11h06	211	Fog B/1	32	25
10	18/04/2008	Viernes	11h53	212	Fog B/1	27	25
11	21/04/2008	Lunes		250	Fog B/1	21	25

3.2. Volúmenes Diarios Recolectados:

Anexo X.2: Reporte ASTM. Cámara Salina. Registro diario de volúmenes recolectados.

No.	Fecha	t (h)	Volúmenes Probetas (mL)							Δt (h)	Flujo de Deposición (mL/h)
			1	2	3	4	5	6	Promedio		
1	10/04/2008	28	3	3	10	100	7	5	21,3	28	0,76
2	11/04/2008	46	2	2	2	17	6	3	5,3	18	0,30
3	14/04/2008	116	11	14	35	15	23	22	20,0	70	0,29
4	15/04/2008	140	1	14	7	7	6	2	6,2	24	0,26
5	16/04/2008	163	0	2	33	0	0	0	5,8	23	0,25
6	17/04/2008	186	0	0	5	0	0	0	0,8	23	0,04
7	18/04/2008	211	6	0	100	0	0	0	17,7	25	0,71
8	21/04/2008	250	3	0	100	0	0	0	17,2	39	0,44

3.3. Concentración a 35ºC(95ºF) y pH:
- No se realizaron mediciones de estos parámetros.

4. Tipo de Muestra:

- 8 Probetas (láminas) rectangulares de acero al carbono de dimensiones (100 x 150 x 0.5) mm., recubiertas con dos tipos de sistemas de pinturas alquídicos anticorrosivos en base a pigmentos de óxido de hierro.
- Los sistemas de pintura difieren en su composición y se denominaron tipo 1 y tipo 2, se colocaron cuatro probetas de cada tipo.

5. Método de Limpieza:

5.1. Antes del Test:

- No se realizó, tomando en consideración el item 6.3 de la Práctica ASTM B117.

5.2. Después del Test:

- Se sumergieron las probetas en agua destilada a 38ºC, se enjuagaron y se sacaron inmediatamente para que sean secadas con aire caliente.

6. Método de Soporte de Muestras

- 8 paneles sujetadores de dimensiones (102 x 305) mm., con capacidad para 17 probetas cada uno, fabricación Q-LAB, código F-9014-K.
- Los paneles mantienen a las probetas en un inclinación de 15º, se usaron sólo los paneles 4 y 5 como se indica en el Anexo X.3.

Anexo X.3: Reporte ASTM. Cámara Salina. Ubicación de probetas y recipientes de recolección.

CÁMARA SALINA Q-FOG CCT-600								
Ciclo/Función:			Cycle B (Prohesion)		**Tiempo:**		**250h**	
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1								
2								
3								
4				I-FOG-11-4:4	II-FOG-17-4:5			
5								
6				I-FOG-8-6:4	II-FOG-19-6:5			
7								
8								
9								
10								
11								
12				I-FOG-9-12:4	II-FOG-16-12:5			
13								
14				I-FOG-3-14:4	II-FOG-25-14:5			
15								
16								
17								

Convenciones	
Tipo 1:	I
Tipo 2:	II
Placa con Muesca	
XX:XX	Fila:Columna
Recipiente de Recolección	

7. **Protección Usada:**
   - Bordes de las probetas: Masilla epóxica Rally/Duraepoxi de Borden.
   - Defectos en la capa de pintura: Silicona.

8. **Periodo de Exposición:**
   - 250 horas (10 días aprox.)

9. **Interrupciones del Test:**
   - La interrupción total del test fue de 219 min. (3.65h), los valores diarios se indican en el Anexo X.4. No se interrumpió el test en los dos fines de semana durante su desarrollo.
   - Las causas para las interrupciones se citan a continuación:
     - Revisión de las probetas para la observación de posibles fallas.
     - Recolección de la solución salina condensada en los ocho recipientes colocados.
     - Drenado del compresor que alimenta el aire comprimido a la cámara por mantenimiento.
   - Adicionalmente el jueves 17 de abril se limpió el pulverizador de la cámara salina debido a la acumulación de cristales de sal.

Anexo X.4: Reporte ASTM. Cámara Salina. Interrupciones al test.

No.	Fecha	Día	Tiempo Test	Hora		Duración (min)
				Inicio	Fin	
0	09/04/2008	Miércoles	0	11h49	---	0
1	10/04/2008	Jueves	28	16h22	16h30	8
2	11/04/2008	Viernes	46	12h45	13h13	28
3	14/04/2008	Lunes	116	9h40	9h48	8
4	14/04/2008	Lunes	117	9h50	10h21	31
5	15/04/2008	Martes	140	10h18	11h07	49
6	16/04/2008	Miércoles	163	10h08	10h43	35
7	16/04/2008	Miércoles	164	11h43	11h48	5
8	17/04/2008	Jueves	186	9h43	10h03	20
9	18/04/2008	Viernes	211	11h06	11h35	29
10	18/04/2008	Viernes	212	11h53	11h59	6
11	21/04/2008	Lunes	250	---	---	0
TOTAL						219

10. **Resultados**
   - Los resultados presentados en este ensayo se encuentran en el Anexo XI y se discuten a lo largo del presente proyecto de titulación.
   - Las fallas presentadas fueron corrosión y pérdida de color.
   - El sistema tipo 1 presentó mayor corrosión que el sistema tipo 2.
   - El sistema tipo 2 presentó mayor pérdida de color que el sistema tipo 1.
   - El Anexo IX indica el avance de la degradación para una probeta representativa para cada sistema.

ANEXO XI

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN CADA PROBETA PARA EL ENSAYO PROHESION EN CÁMARA SALINA

Anexo XI. 1: Relación entre la calificación o grado de corrosión según el estándar ASTM D610- 01 y el porcentaje de corrosión.

Calificación ASTM	Calidad*	Cambio*	Porcentaje de Corrosión (%)	
			Rango ASTM D610	Promedio
10	Excelente	Sin cambio	<0,01	0,01
9	---	Muy leve	0,01 - 0,03	0,02
8	Muy buena	Leve	0,03 - 0,1	0,065
7	---	---	0,1 - 0,3	0,2
6	Buena	Moderardo	0,3 - 1	0,65
5	---	---	1 - 3	2
4	Regular	Pronunciado	3 - 10	6,5
3	---	---	10 - 16	13
2	Pobre	Severo	16 - 33	24,5
1	---	---	33 - 50	41,5
0	Muy pobre	Falla completa	>50	50

*Q-Lab Corporation, 2006 "Evaluation of weathering effects: Visual inspections and instrumental measurements - Technical bulletin LL-9030"

Anexo XI. 2: Cámara Salina. Ensayo Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5). Resultados de la evaluación de la corrosión según calificaciones del estándar ASTM D610- 01 y porcentajes de corrosión correspondientes aproximados

CÁMARA SALINA (FOG)					
Ensayo:	Prohesion (ASTM G85-02$^{\varepsilon 1}$ A.5)			**Tiempo:**	250 horas
Sistema	**Código Probeta**	**Calificación ASTM D610-01**		**Porcentaje de Corrosión (%)**	
		LA	LP	LA	LP
TIPO 1	I-FOG-3-14:4	5	10	2	0
	I-FOG-8-10:4	5	10	2	0
	I-FOG-9-12:4	6	10	0,65	0
	I-FOG-11-4:4	6	10	0,65	0
Promedio		5,5	10	1,33	0
Desviación Estándar		0,6	0	0,8	0,0
TIPO 2	II-FOG-16-12:5	9	10	0,02	0
	II-FOG-17-4:5	7	10	0,2	0
	II-FOG-19-6:5	7	10	0,2	0
	II-FOG-25-14:5	7	10	0,2	0
Promedio		7,5	10	0,16	0
Desviación Estándar		1	0	0,1	0,0

ANEXO XII

INSTRUCTIVOS PARA EL USO DE EQUIPOS MONTADOS

OPERACIÓN CÁMARA SALINA

1. OBJETIVO

- Optimizar el trabajo en cámara salina y en los sistemas que forman parte de ésta, manteniendo los parámetros de presión, temperatura, flujo de deposición de niebla salina y otros en los rangos que los estándares ASTM determinan, con el fin de obtener resultados confiables y de calidad.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Cámara Salina Q-FOG CCT-600.
- Sistema de Aire Comprimido.
- Sistema de Destilación.
- Sistema Hidroneumático.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Implementos de seguridad (Guantes de nitrilo, gafas de seguridad, protectores auditivos de espuma, ropa de trabajo).
- 6 probetas graduadas plásticas de 100 mL. (PMP: Polimetil penteno, Nalgene).
- 6 embudos de 100 mm. de diámetro (Nalgene).
- 8 portamuestras horizontales con inclinación de 15º (F-9008: Panel Holders Q-LAB).
- Sistema de portamuestras colgado (6 tubos de PVC de 75 cm., 24 ganchos redondos).
- Llave de bloqueo del panel de control.

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar los esquemas indicados en 3.4 para familiarizarse con todos los componentes del sistema, sus entradas, salidas y accesorios.
- Comprobar que el nivel de agua destilada en el tanque de almacenamiento de 500L sea suficiente para la preparación de la solución salina y para la alimentación de agua destilada a la cámara (columna de burbujeo, generador de vapor).
- A continuación se detallan los riesgos en la utilización de la cámara salina y de los sistemas que forman parte de su operación:

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

3.3.1. Inicio/Arranque

i. Preparar la solución salina en el balde de 10 L., según el instructivo respectivo: Preparación Solución Salina. Vaciar todo el contenido del balde en el reservorio de la cámara salina.

ii. Abrir la puerta central de la cámara, ubicar las probetas recolectoras de 100 mL. en los portamuestras horizontales junto con los embudos de 100 mm. de diámetro. La instalación y la ubicación recomendada de las probetas en los portamuestras se indican en la Figura 3 y Figura 4 respectivamente.

iii. Colocar las muestras en los respectivos portamuestras (horizontales y/o colgantes) y cerrar la puerta central de la cámara.

iv. Comprobar que la válvula ubicada bajo la columna de burbujeo de la cámara (puerta lateral derecha) se encuentre cerrada (perpendicular a la dirección de flujo). Si el ciclo planificado incluye la función humedad, la válvula ubicada a la izquierda del generador de vapor también debe encontrarse cerrada.
   - Si la válvula se mantiene abierta, la columna de burbujeo y/o el generador de vapor no se llenarán y en el panel de control aparecerá mensajes de error. (Ver Figura 5).

v. Comprobar que la válvula de alimentación de solución salina a la bomba peristáltica (puerta lateral derecha) se encuentre abierta (paralela a la dirección de flujo). (Ver Figura 5).

vi. Encender el sistema hidroneumático según el procedimiento: Funcionamiento Sistema Hidroneumático.

vii. Encender la cámara con el interruptor ON/OFF que se encuentra en la parte posterior derecha de la cámara. El panel de control digital se iluminará.

viii. Digitar la duración del ensayo a realizarse mediante PROGRAM1. (ver Nota 2).
   - Presionar PROGRAM y desplazarse hasta PROGRAM 1 con las flechas arriba/abajo y presionar ENTER.
   - Presionar las flechas arriba/abajo, izquierda/derecha para indicar el tiempo del ensayo planificado y el tiempo transcurrido (elapsed). Al inicio de todo ensayo, el tiempo transcurrido (elapsed) debe ser puesto en cero. Presionar ENTER.
   - Seleccionar con las flechas arriba/abajo la acción al final del test según la conveniencia; el equipo presenta cinco opciones: STOP, STOP+ALARM, ALARM, MESSAGE ONLY; NONE. Presionar ENTER.
   - Finalmente, se debe confirmar o cancelar los cambios realizados con ENTER y ESCAPE respectivamente.

ix. Digitar el tipo de ensayo a realizarse mediante PROGRAM2. (ver Nota 2).
   - Presionar PROGRAM y desplazarse hasta PROGRAM 2 con las flechas arriba/abajo y presionar ENTER.
   - Presionar las flechas arriba/abajo para indicar el tipo de ensayo y presionar ENTER. Los ensayos más utilizados se encuentran almacenados en la memoria como Ciclo A (ASTM B117) y Ciclo B (ASTM G85-A.5 o Prohesion).
   - Seleccionar la función o paso del ciclo con la que se desea iniciar mediante las flechas arriba/abajo. Por ejemplo, para el estándar ASTM G85, el equipo permite arrancar con la función niebla (FOG) o con la función secado (DRY). Se recomienda iniciar o arrancar por la primera función, el equipo tiene numeradas las funciones del ciclo. Presionar ENTER.
   - Finalmente, se debe confirmar o cancelar los cambios realizados con ENTER y ESCAPE respectivamente.

x. Encender el compresor según el instructivo: Funcionamiento Sistema de Aire Comprimido.
xi. Presionar RUN.

3.3.2. <u>Parada/Detención Diaria</u>

i. Anotar todos los parámetros de la cámara en las hojas de registro respectivas, anexas a este instructivo.
ii. Presionar STOP y registrar la hora en la hoja de registro de detención.
iii. Abrir la puerta central de la cámara.
iv. Tomar cada una de las probetas de solución salina condensada y registrar el volumen de cada una en la hoja respectiva, según su posición.

v. Vaciar la solución salina condensada de todas las probetas en los vasos de precipitación para su titulación posterior. (ver instructivo: Titulación de la Solución Salina Condensada).
vi. Revisar el estado de las muestras en la cámara, cuantificar las fallas o defectos presentados en las muestras mediante la utilización de estándares (ASTM, ISO) o según la planificación del experimentador. Si es necesario, tomar fotografías.
vii. Cerrar la puerta central de la cámara y asegurarla con los sujetadores.
viii. Drenar el compresor según el instructivo: Drenado de Agua Condensada en Compresor.
ix. Presionar RUN y anotar la hora en la hoja de registro de detención. La diferencia entre la hora de parada y la hora de arranque permite conocer el tiempo total de detención a registrar.

3.3.3. Finalización

i. Anotar todos los parámetros de la cámara en las hojas de registro respectivas, anexas a este instructivo.
ii. Abrir la puerta central de la cámara.
iii. Tomar cada una de las probetas de solución salina condensada y registrar el volumen de cada una en la hoja respectiva, según su posición.
iv. Vaciar la solución salina condensada de todas las probetas en los vasos de precipitación para su titulación posterior. (ver instructivo: Titulación de la Solución Salina Condensada).
v. Retirar las muestras de la cámara, cuantificar las fallas o defectos presentados en las muestras mediante la utilización de estándares (ASTM, ISO) o según la planificación del experimentador. Si es necesario, tomar fotografías.
   - Almacenar las muestras de manera apropiada para que la degradación no continúe; se recomienda utilizar bolsas plásticas herméticas y/o un desecador.
   - Los estándares ASTM B117 y G85 indican que las muestras deben ser lavadas en agua a 38ºC (100ºF) para remover los depósitos de sal, e inmediatamente secadas con aire comprimido y/o caliente. Tomar las consideraciones respectivas según el tipo de muestra.
vi. Retirar los portamuestras horizontales y los colgantes, posteriormente los platos difusores para lavar y limpiar los depósitos de sal adheridos a estos.
vii. Limpiar con un paño o esponja húmeda los depósitos de sal en las paredes de la cámara y en las placas de calentamiento. La sal depositada en las placas de calentamiento se dispone en una bolsa plástica u otro recipiente, con el fin de evitar su acumulación en la tubería de drenaje y posible taponamiento.
viii. Abrir la válvula (paralela a la dirección de flujo) que se encuentra bajo de la columna de burbujeo (puerta lateral derecha) para vaciar su contenido. Si el ciclo programado incluyó la función de humedad, abrir la válvula (paralela a la dirección de flujo) que se encuentra a la izquierda del generador de vapor para vaciar su contenido (ver Figura 5).
ix. Cerrar la puerta central de la cámara.
xii. Apagar la cámara con el interruptor ON/OFF que se encuentra en la parte posterior derecha de la cámara. El panel de control digital se iluminará.
x. Desarmar la tubería donde se encuentran el filtro de la solución salina y el filtro de entrada de agua desionizada y enjuagarlos si se encuentran depósitos de cualquier tipo.

Nota 1: Los mensajes de error y la acciones recomendadas para su solución se encuentran en el manual de operación de la cámara salina (LF-851), sección 12.3 págs. 1-8.

Nota 2: El panel de control se maneja de manera simple e interactiva; el diagrama plastificado Q-Fog Programming (F-8304-L) sirve de ayuda práctica para su manejo ya que detalla las acciones de cada botón.

Nota 3: Para desactivar todos los botones del panel de control de la cámara salina se dispone de una llave de bloqueo que se inserta en la parte posterior derecha. Esta opción permite que ninguna persona ajena a la operación cambie los parámetros o detenga la cámara salina.

3.4. Esquemas

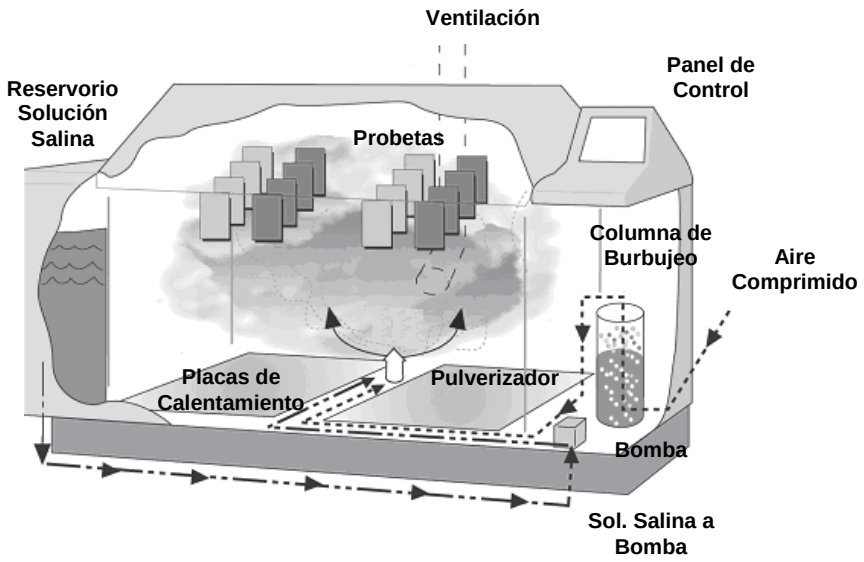


Figura 2: Cámara Salina Q-FOG CCT-600.

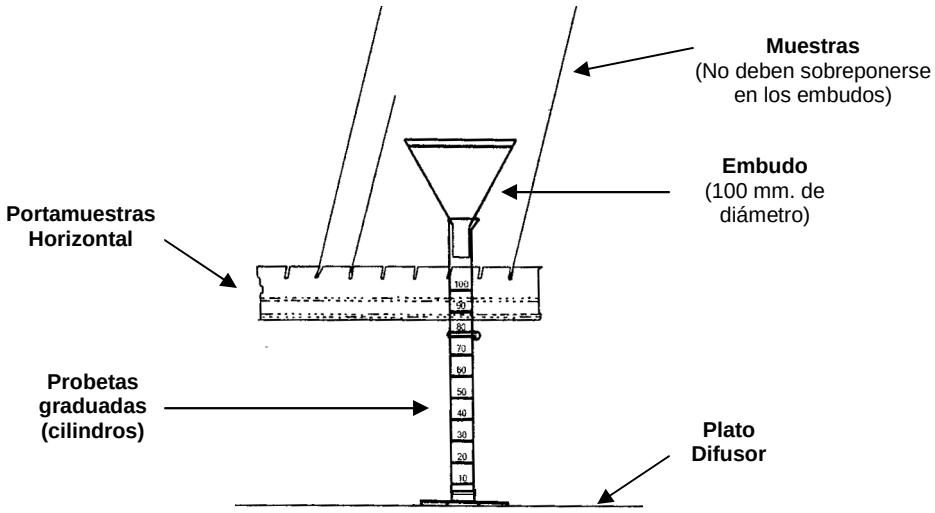


Figura 3: Instalación de las probetas y embudos en los portamuestras horizontales.

1	O	O	O		O	O	**5**	O
O	O	O	**3**	**Pulverizador**	**4**	O	O	O
O	**2**	O	O		O	O	O	**6**

Figura 4: Ubicación recomendada de las probetas graduadas recolectoras (100mL.) en los distintos portamuestras horizontales*.

*Cada portamuestra horizontal tiene tres orificios para la ubicación de las probetas graduadas. En la figura 4, los números representan la ubicación recomendada para las probetas, los círculos representan a los espacios vacíos que quedan.

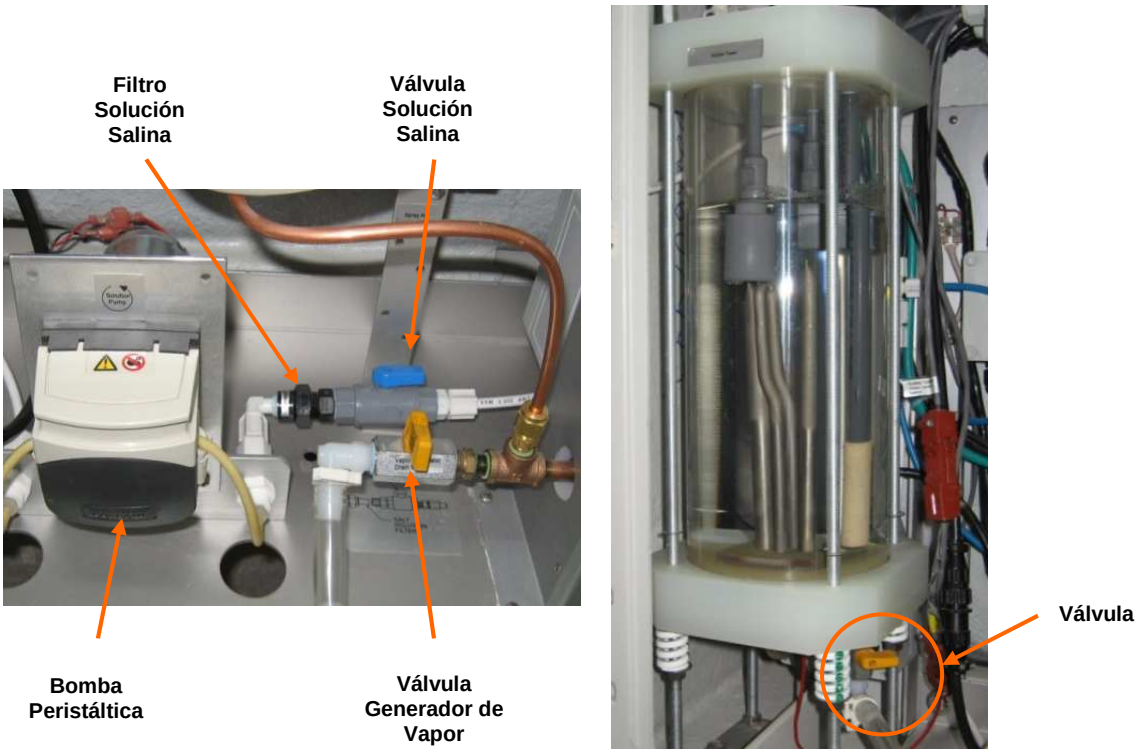


Figura 5: Cámara Salina. Componentes Puerta Lateral.

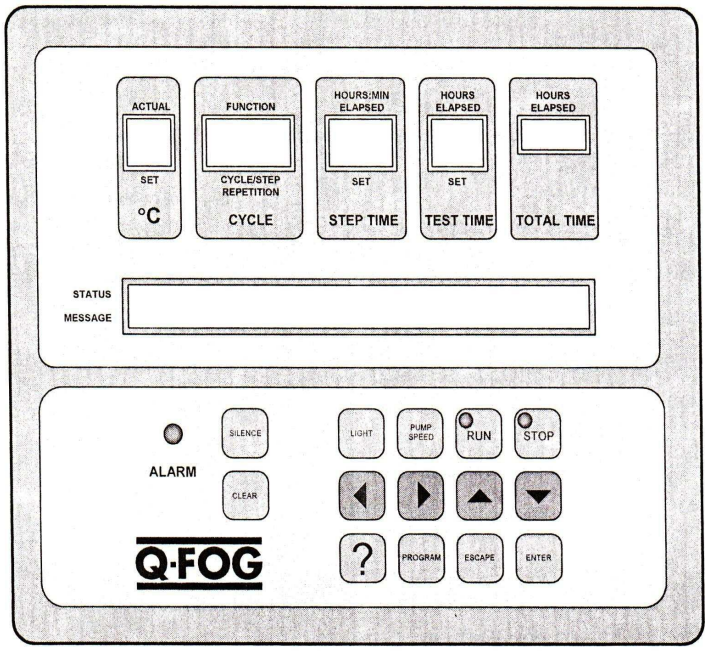


Figura 6: Cámara Salina. Panel de Control.

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- Q-LAB Corporation, 2006, "Q-Fog Cyclic Corrosion Tester. Operating Manual". (LF-8151).
- Q-LAB Corporation, 2003, "Q-Fog Programming". (F-8304-L) (Diagrama Plastificado).
- Instructivos para el uso de equipos.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)

Registro de Detención de Cámara Salina

Ciclo/Función:		Descripción:	
Tiempo Programado:			

No.	Fecha (dd/mm/aa)	Día	Hora		Duración (min)	Función	Temperatura (ºC)		Step Time		Test Time		Total Time (h)	Spray Pressure (psi)	Solution Flow Rate (L/h)	Pump Speed	Operador
			Inicio	Fin			Actual	Set	Transcurrido	Set	Transcurrido	Set					
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

Anexo 1: Cámara Salina. Hoja de Registro de Detención.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)

Registro de Parámetros Cámara Salina (1)

Ubicación Probetas Graduadas en el Portamuestras*

1	O	O	O		O	O	**5**	O
O	O	O	**3**	**Pulverizador**	**4**	O	O	O
O	**2**	O	O		O	O	O	**6**

No.	Fecha (dd/mm/aa)	Test Time (h)	Volumen Probeta Graduada (mL)							Δt (h)	Flujo Deposición** (mL/h)	Observaciones
			1	2	3	4	5	6	Promedio			
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

*Los números indicados en negrita corresponden a la posición de las probetas graduadas (cap. 100mL) en los portamuestras de la cámara, los círculos corresponden a los orificios no usados del portamuestras.

** El flujo de deposición de niebla se realiza en un embudo de 100mm de diámetro y debe estar entre (1,0 - 2,0) mL/h según estándares. Se calcula a paritr de la división entre el promedio de volumen y el Δt.

Anexo 2: Cámara Salina. Hoja de Registro de Parámetros (1).

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)

Registro de Parámetros Cámara Salina (2)

No.	Fecha (dd/mm/aa)	Test Time (h)	Titulación: Gasto $AgNO_3$ (mL)							Gravedad Específica Reservorio	Observaciones
			1	2	3	4	5	6	Promedio		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

No.	Fecha (dd/mm/aa)	Test Time (h)	pH Recipiente							pH Reservorio	Observaciones
			1	2	3	4	5	6	Promedio		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

Anexo 3: Cámara Salina. Hoja de Registro de Parámetros (2).

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL **CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)** Instructivo para el Uso de Equipos	

FUNCIONAMIENTO SISTEMA DE DESTILACIÓN

1. OBJETIVO

- Obtener agua destilada de alta calidad para los requerimientos de cámara salina (columna de burbujeo, función humedad: generador de vapor), preparación de la solución salina (reservorio) y usos diversos.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Destilador de Agua Boeco WS-3500.
- Cabina de Metal (34x50x65) cm.
- Válvula de Agua Potable (Llave de Paso)
- Válvula de entrada de agua potable al destilador.
- Tanque de Polietileno (PE) de 500L Plastigama.
- Abrazaderas, mangueras y accesorios.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Implementos de seguridad (guantes de nitrilo, gafas de seguridad, ropa de trabajo).

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar los esquemas indicados en 3.4 para familiarizarse con todos los componentes del sistema, sus entradas, salidas y accesorios.

- Antes de dar inicio al funcionamiento del destilador, éste debe estar limpio, libre de incrustaciones y sedimentos; por tanto, inspeccionar el destilador y revisar en los registros la última limpieza realizada. Si es necesaria la limpieza del destilador, utilizar el instructivo: Limpieza Sistema de Destilación.

- Existen algunos riesgos en la utilización del sistema de destilación, se debe tener en cuenta los símbolos indicados.

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

i. Comprobar que el destilador se encuentre conectado al suministro eléctrico, si éste no es el caso, conectarlo. Tener precaución de que el enchufe no se encuentre mojado, si es así, se lo debe secar.

ii. Comprobar que el tanque de almacenamiento de agua destilada (500L) no se encuentre al límite de su capacidad, es decir, que el tanque se encuentre totalmente lleno.
Si el tanque se encuentra totalmente lleno, el agua destilada almacenada es suficiente para los requerimientos de cámara salina y para la preparación de la solución salina, por lo cual no será necesaria la operación de destilación.

iii. Abrir la válvula de compuerta de agua potable ubicada en la pared en los alrededores del destilador (llave de paso).

iv. Comprobar que la válvula de entrada de agua potable ubicada en el destilador se encuentre abierta (ver Figura 2).

v. Encender el destilador y seleccionar en el control de temperatura 100ºC.

vi. Comprobar que el flujo de salida del drenaje sea continuo y apropiado, con el fin de ahorrar agua. Manipular la llave de paso de agua potable para tener un flujo apropiado.

3.4. Esquema

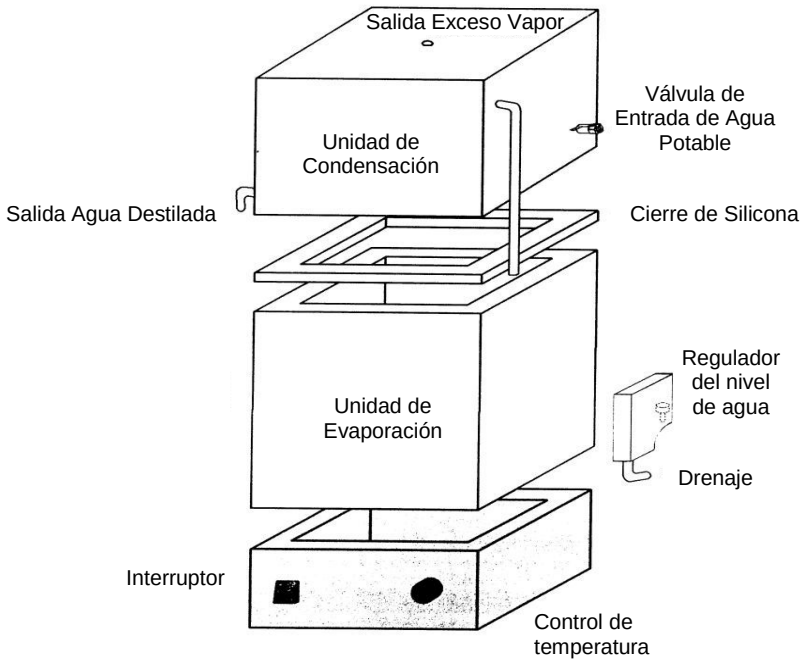


Figura 2: Destilador de Agua Boeco WS-3500

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- BOECO Germany. Destilador de Agua WS 3500/ WS 7500. Manual de Instrucciones.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL **CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)** Instructivo para el Uso de Equipos	

PREPARACIÓN SOLUCIÓN SALINA

1. OBJETIVO

- Preparar por lotes de 10 litros, la solución salina específica requerida en cámara salina, según los estándares ASTM B117 y ASTM G85-A.5

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Sistema de Destilación.
- Sistema Hidroneumático.
- Válvula de Compuerta Agua Destilada (ubicada en el camino desde el sistema hidroneumático hacia cámara salina)
- Tubería 1/2" PVC y/o PP agua destilada.
- Cámara Salina Q-FOG CCT-600 (Reservorio)

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Implementos de seguridad (guantes de nitrilo, gafas de seguridad, ropa de trabajo).
- Agitador Eléctrico de Aspas.
- Recipiente de Preparación de 10 L (balde graduado).
- Sulfato de Amonio [$(NH_4)_2SO_4$].
- Cloruro de Sodio [NaCl].

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar el esquema indicado en 3.4 para familiarizarse con todos los componentes del sistema, sus entradas, salidas y accesorios.

- Revisar que las hojas de seguridad MSDS (Material Safety Data Sheet) se encuentren disponibles y accesibles antes de empezar la preparación de la solución salina, con el fin de conocer los riesgos y la toxicidad de los reactivos para la salud y la seguridad del ambiente.

- A continuación se detallan los riesgos en la utilización de la cámara salina y los sistemas que forman parte de su operación:

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

i. Encender el sistema hidroneumático según el procedimiento: Funcionamiento Sistema Hidroneumático.

ii. Verter agua destilada en el recipiente de preparación (balde) hasta la medida de 10L. El agua destilada es tomada en la válvula de compuerta instalada en el camino desde el sistema hidroneumático hacia la cámara salina.

iii. Colocar el agitador de aspas dentro del balde, conectarlo al suministro eléctrico y encenderlo.

iv. Agregar poco a poco la(s) sal(es) necesaria(s) para un volumen de 10L de agua destilada.
- Para el estándar ASTM B117 agregar 500g de cloruro de sodio (NaCl).
- Para el estándar ASTM G85 Anexo A.5 agregar 35g de sulfato de amonio [$(NH_4)_2SO_4$] y 5g de cloruro de sodio (NaCl).
- El cálculo de los valores indicados de cantidad de sal necesaria según los estándares ASTM a utilizar se encuentran en el numeral 5 de este instructivo.

v. Detener la agitación cuando la sal se disuelva completamente.

vi. Comprobar que la válvula bajo el reservorio se encuentre cerrada.

vii. Vaciar el contenido de la solución salina preparada en el reservorio de la cámara salina.

3.4. Esquema

Figura 2: Preparación de la solución salina.

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- ASTM B117-07a. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus
- ASTM G85-02e1. Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing. Annex A.5
- MSDS. Material Safety Data Sheet:
  - Cloruro de Sodio [NaCl]
  - Sulfato de Amonio [$(NH_4)_2SO_4$]

5. CÁLCULOS

5.1. ASTM G85-02^{e1}-A.5 (Prohesion).

5.1.1. Preparación Solución Salina

- ✓ Para facilidad en los cálculos se considerará que 1 litro de agua equivale a 1 kilogramo de agua.

$$W_{sol} = \frac{1gsol}{0.996\,gH_2O} \times 1000\,gH_2O = 1004gsol$$

$$W_{NaCl} = 1004\,gsol \times \frac{0.05gNaCl}{100\,gsol} = 0.5gNaCl$$

$$W_{(NH_4)_2SO_4} = 1004\,gsol \times \frac{0.35g(NH_4)_2SO_4}{100\,gsol} = 3.5g(NH_4)_2SO_4$$

- ✓ Los cálculos fueron realizados para 1L de solución salina. Debido a que el recipiente disponible (balde) tiene una capacidad de 10L, la cantidad de las sales se multiplican por 10. Se necesitarán 35g de sulfato de amonio [$(NH_4)_2SO_4$] y 5g de cloruro de sodio [NaCl].

5.1.2. Estimación de las cantidades de las sales necesarias según la duración (horas) planificadas para el ensayo.

- ✓ Los siguientes factores servirán para calcular la cantidad de sulfato de amonio y cloruro de sodio necesario según el tiempo total en horas que se planifique para el ensayo ASTM G85-02e1-A.5 (Prohesion) en la cámara salina Q-FOG CCT-600. Este cálculo está basado en el promedio de consumo de solución salina mencionado por el fabricante en el manual del equipo (24 L/día). Debido a que el ensayo Prohesion tiene dos ciclos de 1 hora, uno de niebla salina y otro de secado el tiempo se reduciría a la mitad (12 L/día).

$$W_{NaCl} = 12\frac{L\,sol}{día} \times \frac{1día}{24h} \times \frac{5\,gNaCl}{10\,L\,sol} \times t(h) = 0{,}25t$$

$$W_{(NH_4)_2SO_4} = 12\frac{L\,sol}{día} \times \frac{1día}{24h} \times \frac{35\,g\,(NH_4)_2SO_4}{10\,L\,sol} \times t(h) = 1{,}75t$$

$$\boxed{\begin{array}{c} W_{NaCl} = 0{,}25t \quad [g] \\ W_{(NH_4)_2SO_4} = 1{,}75t \quad [g] \\ t{:}horas \end{array}}$$

- ✓ Si el tiempo total planificado para el ensayo ASTM G85-02e1-A.5 (Prohesion) en la cámara salina Q-FOG CCT-600 son 1000 horas, se necesitarán entonces 250g de cloruro de sodio [NaCl] y 1750g de sulfato de amonio [$(NH_4)_2SO_4$].

5.2. ASTM B117-07ª

5.2.1. Preparación Solución Salina

- ✓ Para facilidad en los cálculos se considerará que 1 litro de agua equivale aproximadamente a 1 kilogramo de agua.

$$W_{sol} = \frac{1gsol}{0.95\,\cancel{gH_2O}} \times 1000\,\cancel{gH_2O} = 1053gsol$$

$$W_{NaCl} = W_{sol} - W_{H_2O} = 1053 - 1000 = 53gNaCl$$

$$W_{NaCl} = 1053\,\cancel{gsol} \times \frac{5gNaCl}{100\,\cancel{gsol}} = 53gNaCl$$

- ✓ El cálculo fue realizado para 1L de solución salina. Debido a que el recipiente disponible (balde) tiene una capacidad de 10L, la cantidad de sal se multiplica por 10.

- ✓ Según cálculos se necesitarán 530g de cloruro de sodio [NaCl].

- ✓ Los kits de sal disponibles en el mercado para este ensayo consideran la utilización de 500g de cloruro de sodio [NaCl] para la preparación de 10L de solución salina.
  Para que la cantidad de sal corresponda a 500g, se considera que el peso de toda la solución es de 10000g equivalentes a 10L.

$$W_{sol} = 10000\ gsol \square 10\ L$$

$$W_{NaCl} = 10000gsol \times 0.05$$

$$W_{NaCl} = 500gNaCl$$

5.2.2. Estimación de las cantidades de las sales necesarias según la duración (horas) planificadas para el ensayo.

- ✓ El siguiente factor servirá para calcular la cantidad de cloruro de sodio necesario según el tiempo total en horas que se planifique para el ensayo ASTM B117 en la cámara salina Q-FOG CCT-600. Este cálculo está basado en el promedio de consumo de solución salina mencionado por el fabricante en el manual del equipo (24 L/día).

$$W_{NaCl} = \cancel{24}\,\frac{\cancel{L\ sol}}{\cancel{día}} \times \frac{1\cancel{día}}{\cancel{24}\,\cancel{h}} \times \frac{500\,\cancel{g\ NaCl}}{10\,\cancel{L\ sol}} \times \frac{1\ Kg\ NaCl}{1000\,\cancel{g\ NaCl}} \times t(\cancel{h}) = 0{,}05t$$

$$\boxed{\begin{array}{c} W_{NaCl} = 0.05t \quad [Kg] \\ t: horas \end{array}}$$

- ✓ Si el tiempo total planificado para el ensayo ASTM B117 en la cámara salina Q-FOG CCT-600 son 1000 horas, se necesitará entonces 50Kg de cloruro de sodio [NaCl].

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL **CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)** Instructivo para el Uso de Equipos	

FUNCIONAMIENTO SISTEMA HIDRONEUMÁTICO

1. OBJETIVOS

- Transportar agua destilada desde el tanque de almacenamiento de 500L hacia la cámara salina, para alimentar a la columna de burbujeo y al generador de vapor (función humedad).
- Utilizar agua destilada para la preparación de la solución salina o para otros fines consiguientes.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Tanque de Polietileno (PE) de 500L Plastigama.
- Válvula de Pie (Canastilla) de 1" Helbert.
- Bomba de Agua 0.85 HP Pedrollo
- Tanque de Presión Varem (20L)
- Switch de Presión Square D Pumptrol
- Manómetro Paolo (0 – 100)psi con conexión vertical.
- Tubería de ½" y 1" de Polipropileno (PP) y acoples.
- Acoples de Bronce.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Implementos de seguridad (guantes de nitrilo, gafas de seguridad, ropa de trabajo).
- Medidor de presión (Tire Gauge Pressure (10-50) psi).

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar el esquema indicado en 3.4 para familiarizarse con todas las entradas, salidas y accesorios.
- Si el sistema hidroneumático va a arrancar luego de estar seca la línea, es decir, sin presencia de agua destilada, es necesario "cebar" la bomba como se indica en 3.3.2.
- El cebado de la bomba consiste en llenar de agua destilada la tubería de succión y la carcasa de la bomba para facilitar la succión, evitando que queden "bolsas" de aire en el interior.
- La bomba y el tanque de presión mantienen agua destilada en su cuerpo interior.
- Para prolongar el tiempo de vida de sus componentes es recomendable vaciarlos, si dichos equipos no van a ser utilizados por un largo tiempo.
- Existen algunos riesgos en la utilización del sistema hidroneumático, se debe tener en cuenta los símbolos indicados.

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

3.3.1. Funcionamiento

i. Comprobar que el tanque de 500L tenga suficiente agua destilada, el nivel debe estar alrededor de 50cm por encima de la válvula de pie (*ver Nota 1*).
ii. Comprobar que el tanque de presión tenga una presión de 1.5 bar (21.7 psi), recomendada por el fabricante para un mejor funcionamiento (presión máx. 10 bar = 145

psi). La lectura de presión es tomada en la boquilla de alimentación de aire mediante el medidor indicado en 3.1. (*ver Figura 2 y Nota 2*).

iii. Conectar la bomba al suministro eléctrico, tener precaución de que el enchufe no se encuentre mojado, si es así, se lo debe secar.
La aguja indicadora del manómetro empezará a subir hasta una presión de 40psi (presión configurada en el switch), manteniendo agua destilada a presión en la línea.

iv. Utilizar agua destilada según sea el requerimiento (alimentación cámara salina, preparación de la solución salina, provisión para uso en laboratorio)
Si la cámara salina o la válvula instalada en la línea demandan agua, la aguja indicadora del manómetro empezará a bajar lentamente de presión hasta una presión de 20psi, la cual encenderá la bomba de 0.85 HP. La bomba succionará nuevamente hasta una presión de 40psi como se indicó anteriormente.

3.3.2. Cebado de Bomba

i. Desajustar con una llave inglesa el tapón de 1” de PVC ubicado en la descarga de la bomba.
ii. Verter agua destilada por el orificio de la tubería hasta que la línea se llene.
iii. Ajustar el tapón de PVC con la llave inglesa.
iv. Comprobar que el tanque de presión tenga una presión de 1.5 bar (21.7 psi), recomendada por el fabricante para un mejor funcionamiento (presión máx. 10 bar = 145 psi). La lectura de presión es tomada en la boquilla de alimentación de aire mediante el medidor indicado en 3.1. (*ver Figura 2 y Nota 2*).
v. Conectar la bomba al suministro eléctrico, tener precaución de que el enchufe no se encuentre mojado, si es así, se lo debe secar.
vi. Observar si la bomba se encuentra en succión, sino es necesario desconectarla.

Nota 1: El nivel del tanque de 500L debe estar por encima de la válvula de pie para que la bomba opere correctamente. Si el tanque no tiene agua destilada y la bomba es accionada, está presentará un ruido característico debido a succión de aire, por lo que se debe desconectar inmediatamente.

Nota 2: Si el tanque de presión no tiene la presión indicada de 1.5 bar (21.7psi), éste no operará de manera óptima. Por tanto, es necesaria la alimentación de aire comprimido en la boquilla ubicada en su parte lateral.

3.4. Esquema

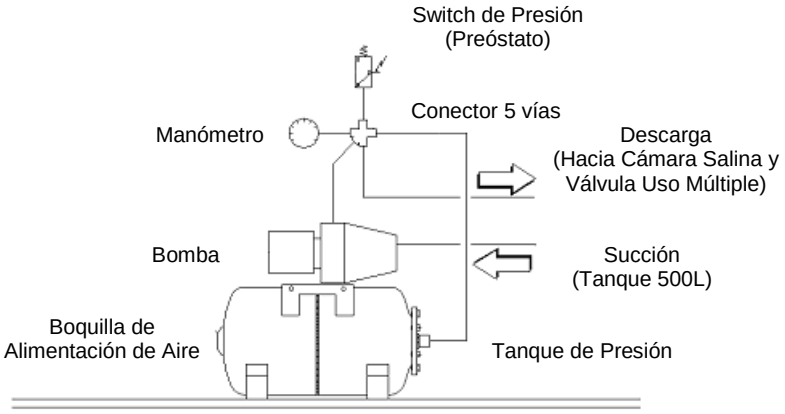


Figura 2: Sistema Hidroneumático

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- PEDROLLO. JCR Electrobombas Autocebantes “Jet”. Características.
- VAREM, Linea de Sollevamiento Acqua / Water Line. (LS).

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL **CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)** Instructivo para el Uso de Equipos	

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

1. OBJETIVO

- Alimentar aire comprimido para los requerimientos de la torre de burbujeo y pulverización de niebla en cámara salina.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Compresor Contractor Powermate de 2HP.
- Cabina de Metal
- Tubería de ½" Hierro Galvanizado
- Filtro/Regulador de Aire/aceite.
- Válvula de Salida del Compresor (adicional).
- Válvula de Entrada al Filtro.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Implementos de seguridad (Mascarilla, guantes de nitrilo, gafas de seguridad, ropa de trabajo).
- Llave del candado de la cabina de metal.

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar los esquemas indicados en 3.4 para familiarizarse con todas las entradas, salidas y accesorios.

- El compresor se encuentra ubicado en la terraza del laboratorio, dentro de una cabina de metal, anclado a una base de concreto especialmente construida, es necesario tener precaución al subir por las escaleras, existe riesgo de caída.

- Antes de utilizar el compresor, comprobar si en su última operación fue drenado, si no fue así, se debe seguir el procedimiento: Drenado de Agua Condensada en Compresor

- A continuación se detallan los riesgos en la utilización del compresor, para mayor detalle consulte el documento indicado en 4., Págs. 3-5.

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

i. Abrir la cabina de metal que alberga al compresor.

ii. Comprobar que la válvula de drenaje ubicada en el fondo del tanque de almacenamiento de aire se encuentre cerrada.

iii. Comprobar que la válvula de compuerta (adicional) instalada en la tubería de ½" a la salida del compresor se encuentre abierta

iv. Conectar el compresor al suministro eléctrico.

v. Colocar el interruptor de presión en la posición ON/AUTO.

vi. Comprobar que la presión de aire de salida del compresor indicada en el manómetro respectivo sea 30 psi aprox.
- La presión ha sido configurada en 30 psi según requerimientos de la cámara salina.
- Si la presión no se encontrará en este valor, manipular lentamente el regulador de presión hasta llegar al valor deseado de 30 psi aprox.

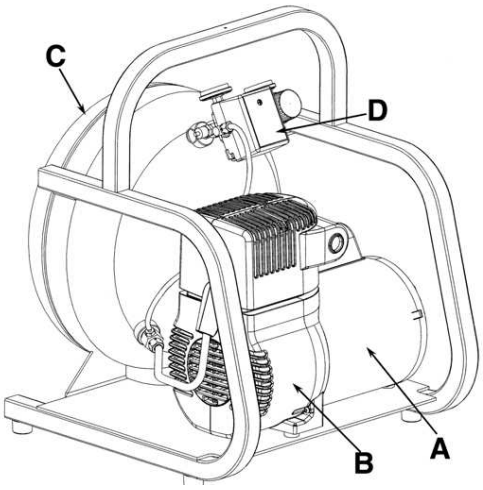
vii. Cerrar la cabina de metal que alberga el compresor.

viii. Comprobar que la válvula de compuerta (adicional) ubicada a la entrada del filtro/regulador se encuentre abierta (ver Figura 5).

ix. Comprobar que la válvula del filtro/regulador se encuentre abierta (ver Figura 5).
- La lectura en el manómetro del filtro/regulador marcará 30 psi aprox.

✓ El aire comprimido a una presión de 30psi aprox. estará listo para ser alimentado a la cámara salina.

3.4. Esquemas



A: Motor Eléctrico
B: Bomba
C: Tanque de Presión
D: Controles del Compresor

Figura 2: Partes principales del compresor

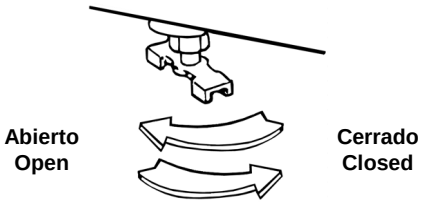
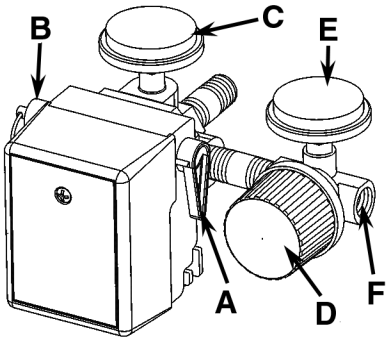


Figura 3: Válvula de Drenaje



A: Interruptor de presión
B: Válvula de Alivio de Presión
C: Manómetro del Tanque
D: Regulador de Presión de Aire
E: Manómetro Regulado
F: Salida de la línea con Aire

Figura 4: Controles del Compresor

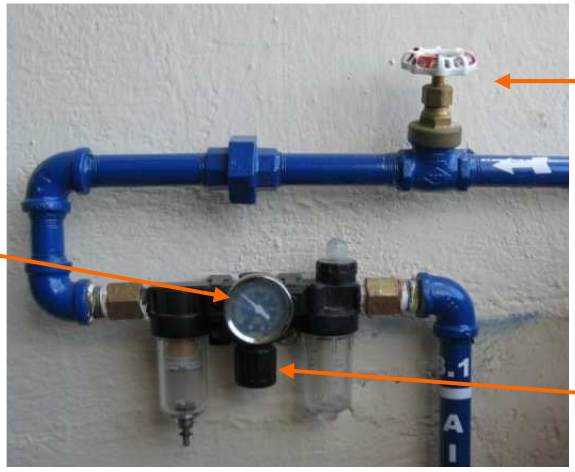


Figura 5: Sistema Aire Comprimido. Filtro/regulador agua/aceite.

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- **COLEMAN**, Manual del Operador 200-2275. Revisión B. Sin aceite, de una sola etapa, de mando directo, compresores de aire eléctricos Coleman Powermate.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL **CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)** Instructivo para el Uso de Equipos	

DRENADO DE AGUA CONDENSADA EN COMPRESOR

1. OBJETIVO

- Proteger de la corrosión al tanque de presión del compresor debido a la condensación del aire húmedo almacenado en su interior.
- Prolongar la vida útil del compresor mediante mantenimiento continuo.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Compresor Contractor Powermate de 2HP.
- Cabina de Metal.
- Tubería de ½" Hierro Galvanizado
- Válvula de Salida del Compresor (adicional).
- Interruptor de presión.
- Válvula de drenaje.
- Válvula de alivio de presión.
- Manómetro regulado de presión de salida y manómetro del tanque.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Implementos de seguridad (mascarilla, guantes de nitrilo, gafas de seguridad, ropa de trabajo, protectores auditivos de espuma y de cojín).
- Paño o franela.

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar los esquemas indicados en 3.4 para familiarizarse con todas las entradas, salidas y accesorios.

- A continuación se detallan los riesgos en la utilización del compresor, para mayor detalle consulte el Manual del Operador indicado en 4., Págs. 3-5.

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

i. Colocar el interruptor de presión en la posición OFF.

ii. Desconectar el enchufe del compresor del suministro eléctrico.

iii. Abrir la válvula de drenaje de aire ubicada en la parte inferior del tanque de presión.

iv. Tirar el anillo de la válvula de alivio ubicada en los controles del compresor hacia arriba, para un óptimo drenado de aire.

v. Cuando haya escapado toda el agua almacenada en el tanque de presión, cerrar la válvula de drenaje de éste y secar con un paño o franela los alrededores del compresor.

vi. Conectar el enchufe del compresor al suministro eléctrico y colocar el interruptor de presión en la posición ON.
El tanque de presión empezará a llenarse y mantendrá aire comprimido en la línea.

vii. Repetir el procedimiento de i. a vi. hasta que el aire drenado este totalmente seco, para un óptimo funcionamiento del compresor.

3.4. Esquemas

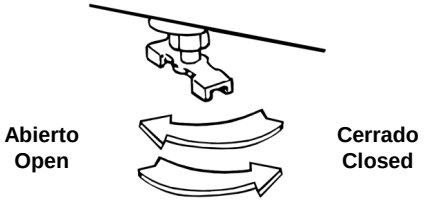
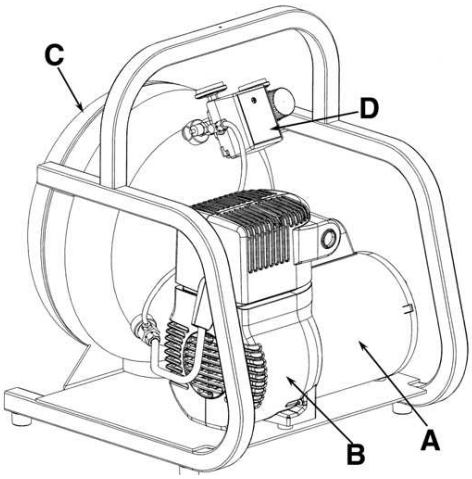
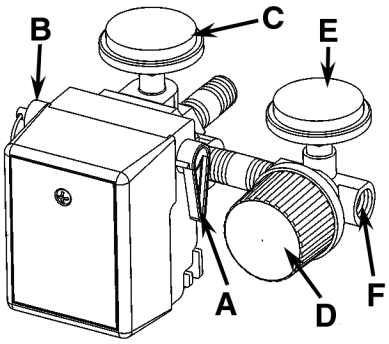


Figura 2: Válvula de Drenaje



A: Motor Eléctrico
B: Bomba
C: Tanque de Presión
D: Controles del Compresor

Figura 3: Partes principales del compresor



A: Interruptor de presión
B: Válvula de Alivio de Presión
C: Manómetro del Tanque
D: Regulador de Presión de Aire
E: Manómetro Regulado
F: Salida de la línea con Aire

Figura 4: Controles del compresor

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- COLEMAN, Manual del Operador 200-2275. Revisión B. Sin aceite, de una sola etapa, de mando directo, compresores de aire eléctricos Coleman Powermate.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL **CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)** Instructivo para el Uso de Equipos	

TITULACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA CONDENSADA ASTM B117

1. OBJETIVO

- Controlar que la concentración de la solución salina condensada en las probetas instaladas en la cámara salina se mantenga en el rango de 5 ± 1% (porcentaje en peso) que el estándar ASTM B117 indica.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Cámara Salina Q-FOG CCT-600
- Solución salina condensada en las 6 probetas graduadas plásticas de 100 mL. (PMP: Polimetil penteno, Nalgene) colocadas en la cámara.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Implementos de seguridad (Guantes de nitrilo, gafas de seguridad, ropa de trabajo).
- Nitrato de plata 0.1 N $AgNO_3$.
- Cromato de potasio (K_2CrO_4) al 1%.
- 6 vasos de precipitación de 125 mL.
- 12 erlenmeyers de 125 mL.
- 3 pipetas xerológicas.
- Bureta de 50 mL
- Soporte universal y pinza para bureta

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes del desarrollo del procedimiento, observar el esquema indicado en el numeral 3.4 para familiarizarse con todas las entradas, salidas y accesorios.
- Revisar que las hojas de seguridad MSDS (*Material Safety Data Sheet*) de los reactivos se encuentren disponibles y accesibles antes de
- A continuación se detallan los riesgos en la utilización de la cámara salina y los sistemas que forman parte de su operación:

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

i. Con una pipeta, tomar 5mL de la solución salina condensada almacenada en un vaso de precipitación y llevarla hacia un erlenmeyer.

   La solución salina condensada de las seis probetas graduadas de 100mL de cámara salina se almacenó previamente en seis vasos de precipitación de 125mL como se indicó en el instructivo: Operación Cámara Salina.

ii. Diluir los 5mL. de solución en 100mL de agua destilada y agitar vigorosamente.

iii. Tomar 10mL de la solución diluida y verter en orto erlenmeyer, agregar 40mL de agua destilada y 1mL de solución de cromato de potasio (K_2CrO_4) al 1%.

iv. Titular con una solución de nitrato de plata ($AgNO_3$) 0,1N hasta que aparezca una coloración rojo-anaranjada (similar al jugo de taxo).

v. Repetir el procedimiento para cada vaso de precipitación de solución salina condensada.

vi. Anotar el gasto de nitrato de plata de cada una de las seis soluciones tituladas en la hoja de registro y calcular el promedio para determinar el cumplimiento del estándar. (ver Nota 1).

Nota 1: Para que la solución condensada cumpla los requerimientos del estándar ASTM B117 el gasto de la solución de nitrato de plata 0,1 N debe estar en el rango de 3,4 y 5,1 mL.

3.4. Esquema

Figura 2: Titulación Solución Salina Condensada.

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- **ASTM B117-07a**. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus
- **ASTM G85-02**[e1]. Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing. Annex A.5
- **MSDS (Material Safety Data Sheet):**
  - Cromato de potasio (K_2CrO_4)
  - Nitrato de plata ($AgNO_3$)

5. CÁLCULOS

✓ Preparación de 1 litro de nitrato de plata $AgNO_3$ 0.1 N:

$$0.1\,N = 0.1\frac{\cancel{Eq-g\ AgNO_3}}{Lsol}\times\frac{1\ \cancel{mol\ AgNO_3}}{1\ \cancel{Eq-g\ AgNO_3}}\times\frac{169.87g\ AgNO_3}{1\ \cancel{mol\ AgNO_3}} = 16.99\frac{g\ AgNO_3}{Lsol}$$

$$W_{AgNO_3} = 16.99\frac{g\ AgNO_3}{\cancel{Lsol}}\times 1\ \cancel{Lsol} = 16.99g\ AgNO_3$$

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL **CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)** Instructivo para el Uso de Equipos	

LIMPIEZA SISTEMA DE DESTILACIÓN

1. OBJETIVO

- Limpiar la unidad de evaporación del sistema de destilación, debido a que el agua potable alimentada forma incrustaciones y depósitos, cuando el uso es continuo y prolongado.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Destilador de Agua Boeco WS-3500.
- Cabina de Metal (34x50x65) cm.
- Válvula de Agua Potable (Llave de Paso)
- Válvula de entrada de agua potable al destilador.
- Abrazaderas, mangueras y accesorios.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

- Destornillador plano pequeño.
- Tapón de caucho (suministrado)
- 5L de Solución de Limpieza (10% de ácido fórmico, 10% de ácido acético, y 80% de agua destilada).
- Implementos de seguridad (mascarilla, guantes de nitrilo, gafas de seguridad, ropa de trabajo).

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar el esquema indicado en 3.4 para familiarizarse con todas las entradas, salidas y accesorios.
- Para realizar la limpieza, dejar enfriar el destilador durante unas 3 horas antes, ya que su superficie puede estar caliente.
- El fabricante recomienda la limpieza una o dos veces al mes, es pertinente la revisión de la unidad de evaporación luego del uso continuo de una semana.
- La solución de limpieza del destilador es tóxica por tanto es necesario el uso obligatorio de todos los implementos de seguridad mencionados en 3.1.
- Existen algunos riesgos en la utilización del sistema hidroneumático, se debe tener en cuenta los símbolos indicados.

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

i. Comprobar que la llave de paso de agua potable se encuentre cerrada.
ii. Cerrar la válvula de entrada de agua potable ubicada en el destilador.
iii. Desconectar el enchufe del destilador.
iv. Abrir la cabina de metal que alberga al destilador.
v. Destornillar la abrazadera que sujeta la manguera de drenaje del destilador.
vi. Retirar la manguera de drenaje e inmediatamente colocar el tapón de caucho (suministrado) en su tubería. Esto se realiza para que no empiece a salir el agua del interior del destilador.
vii. Destornillar la abrazadera que sujeta la manguera de salida de agua destilada y retirar la manguera.
viii. Retirar la unidad de condensación (parte superior).

ix. Retirar la unidad de evaporación de la cabina de metal (parte inferior), con precaución debido a que en su interior se encuentra agua y puede derramarse.
x. Quitar el cierre de silicona.
xi. Vaciar en el drenaje el agua contenida en la unidad de evaporación.
xii. Agregar en la unidad de evaporación del destilador cinco litros (5L) aprox. de la solución de limpieza indicada en 3.1. El tapón de caucho suministrado debe permanecer en la salida de drenaje para que no empiece a derramarse la solución de limpieza.
xiii. Llevar la unidad de evaporación a la cabina de metal y colocar encima de ésta el cierre de silicona y la unidad de condensación.
No se deben conectar las mangueras de salida de agua destilada, entrada de agua potable ni la de drenaje. (*Ver Nota 1.)*
xiv. Conectar el enchufe del destilador al suministro eléctrico y encenderlo.
xv. Calentar a una temperatura de 70ºC aproximadamente durante 15 a 20min
xvi. Apagar, y desconectar el destilador del suministro eléctrico.
xvii. Repetir los pasos del viii. al x., en este caso el destilador en lugar de contener agua, ahora contiene la solución de limpieza.
xviii. Vaciar la solución de limpieza en un recipiente adecuado.
xix. Lavar con agua abundante la unidad de evaporación para quitar todos los restos de la solución de limpieza.
xx. Armar todo el sistema nuevamente, que finalmente queda listo para su funcionamiento óptimo.

Nota 1. La limpieza del destilador Boeco WS-3500 consiste en el calentamiento de la solución indicada dentro de su unidad de evaporación a una temperatura de 70ºC, para la cual no es necesaria la alimentación de agua potable de enfriamiento, ya que el proceso consiste solamente en un calentamiento, no en una destilación.
La solución se evaporará y condensará en las paredes de la unidad de evaporación, no ingresará por ningún motivo a la unidad de condensación.

3.4. Esquema

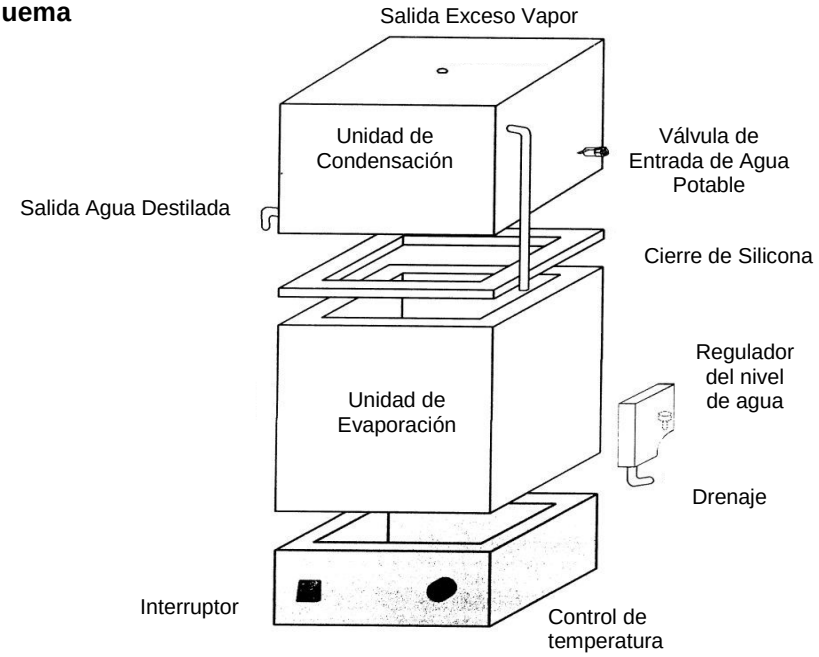


Figura 2: Destilador de Agua Boeco WS-3500

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- BOECO Germany. Destilador de Agua WS 3500/ WS 7500. Manual de Instrucciones.

OPERACIÓN CÁMARA DE ARCO DE XENÓN

1. OBJETIVO

- Optimizar el trabajo en cámara de arco de xenón y en el sistema de purificación de agua que forman parte de la operación, manteniendo los parámetros de irradiación, temperatura y otros en los rangos que los estándares ASTM determinan, con el fin de obtener resultados confiables y de calidad.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

- Sistema de Filtros y Membrana TFC
- Desionizador
- Tanque de Presión Amtrol
- Switch de Presión Aquatec
- Bomba de bajo voltaje Aquatec
- Adaptador de Corriente Aquatec
- Válvula (llave de paso)
- Válvula de entrada de agua potable
- Manómetros y Válvulas

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Implementos necesarios

3.2. Precauciones y Consideraciones

- Leer detenidamente todo el instructivo antes de su desarrollo, observar los esquemas indicados en 3.4 para familiarizarse con todas las entradas, salidas y accesorios.

- A continuación se detallan los riesgos en la utilización del compresor, para mayor detalle consulte el Manual del Operador indicado en 4., Págs. 3-5.

Figura 1: Símbolos de Seguridad

3.3. Desarrollo

i. Comprobar la presión en la línea de agua potable, mediante la lectura del manómetro instalado. La presión generalmente se mantiene entre 40 y 50psi.
Si no existe presión en la línea, puede deberse a que la válvula de entrada de agua potable (llave de paso) se encuentra cerrada o que hay una suspensión en el suministro de agua potable. Abrir la válvula mencionada si fuera el primer caso.

ii. Comprobar que la válvula de entrada de agua potable al sistema de purificación se encuentre abierta, ésta válvula se encuentra al lado del manómetro. (ver Figura 2)

iii. Comprobar que la válvula de salida del tanque de presión (plástica) ubicada en el fondo de éste se encuentre abierta.

iv. Conectar la bomba Aquatec al suministro eléctrico, ésta empezará a operar con una vibración característica.

v. Abrir la válvula ubicada a la salida del desionizador, los manómetros ubicados a la entrada y salida del desionizador empezarán a registrar la presión según la producción de agua. (ver Figura 3)

3.4. Esquema

Figura 2: Cámara de arco de xenón. Sistema de agua: Alimentación, bomba y tanque de presión.

Figura 3: Cámara de arco de xenón. Sistema de agua: Filtros de Carbono y Desionizador.

4. DOCUMENTOS A UTILIZAR

- Q-LAB Corporation. Q-Sun Xenon Test Chamber. Operating Manual (LX-5080.1). 2007

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS (CIAP)

Registro de Detención de Cámara de Arco de Xenón

Ciclo/Función:		Descripción:	
Tiempo Programado:			

No.	Fecha (dd/mm/aa)	Día	Hora		Duración (min)	Función (Step)	Irradiación (W/m^2)		Temperatura (ºC)		Step Time		Test Time			Total Time		Operador
			Inicio	Fin			Actual	Set	Actual	Set	Actual	Set	Actual	Set	(kJ/m2)	(h)	(kJ/m2)	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		

Anexo 4: Cámara de Arco de Xenón. Hoja de Registro de Detención.