

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y  
AGROINDUSTRIA**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE PINTURAS  
ALQUÍDICAS CON PIGMENTOS NANOPARTICULADOS DE ÓXIDO  
DE ZINC Y DIÓXIDO DE TITANIO EN ATMÓSFERAS URBANAS E  
INDUSTRIALES DE LA CIUDAD DE QUITO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
QUÍMICA**

**CRISTINA ELIZABETH ALMEIDA NARANJO**

**Mail: [crisselyz17@hotmail.com](mailto:crisselyz17@hotmail.com)**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CADENA**

**Mail: [francisco.cadena@epn.edu.ec](mailto:francisco.cadena@epn.edu.ec)**

**Quito, 2011**

© Escuela Politécnica Nacional 2010  
Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo, Cristina Elizabeth Almeida Naranjo, 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.

---

Cristina Elizabeth Almeida Naranjo

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Cristina Elizabeth Almeida Naranjo, bajo mi supervisión.

---

Dr. Francisco Cadena  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del Dr. Francisco Cadena, que se ejecuta en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP).

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia y Alejandro:

A mi madre, por ser mi modelo e inspiración, por todo su amor, entrega y comprensión, por sembrar en mí los mejores valores y sentimientos, y brindarme su apoyo incondicional todos los días de mi vida.

A mi padre por todas sus palabras de cariño, por sus buenos deseos y exigencia diaria que ha sido uno de los motivos que me ha comprometido a ser mejor cada día.

A mis hermanas por todas las aventuras compartidas, por su cariño incondicional, por lo dulce que han vuelto mi vida.

A mi querida abuelita por su amor y entrega desinteresada durante tantos años.

A Alejandro por su amor que llego a complementar mi vida, por ser el motivo de cada triunfo alcanzado, por tomar mi mano en cada momento difícil, por cada segundo compartido y por los miles que pensamos compartir.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por todo lo que me ha dado, por guiar cada uno de mis pasos y por permitirme alcanzar todas mis metas.

Al Dr. Francisco Cadena por permitirme ejecutar este proyecto y guiarlo durante todo su desarrollo, por su paciencia y amistad.

Al Dr. Luis Lascano y al Ing. Edison Acosta por su colaboración en el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Ivan Chango y a Richard por su buena voluntad y ayuda en todos los trabajos realizados.

Al Ing. Pedro Vásquez, por cada palabra de apoyo, por su cariño y confianza, por su amistad sincera e incondicional.

A todos los miembros de Operaciones Unitarias, por llegar a convertirse en una verdadera familia para mí, por su cariño y amistad.

A todos mis amigos en especial a Pauly y Gaby por compartir a mi lado cada momento de alegría y tristeza, por crecer junto a mí, personal y profesionalmente. Por todos los momentos a su lado que me han hecho conocer el verdadero sentido de la amistad.

A todas las personas quienes de alguna forma contribuyeron en mi desarrollo profesional y como ser humano. Gracias a todos por estar junto a mí.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>DECLARACIÓN</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b>	<b>II</b>
<b>AUSPICIO</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>XX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XXII</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1. Protección anticorrosiva con revestimientos poliméricos	1
1.1.1. Sistemas de Pintura	1
1.1.1.1. Vehículo	2
1.1.1.1.1. Resinas Alquídicas	2
1.1.1.2. Pigmentos	5
1.1.1.2.1. Aditivos	9
1.1.2. Mecanismos de la protección anticorrosiva por pinturas	9
1.1.2.1. Efecto Barrera	9
1.1.2.2. Resistencia Iónica	11
1.1.2.3. Efecto Inhibidor	11
1.1.2.4. Efecto de Protección Catódica	12
1.1.3. Formulación de Pinturas	12
1.1.3.1. Concentración de pigmento en Volumen (PVC)	14
1.1.4. Diseño del sistema de pintado	15
1.1.5. Aplicación del Sistema de Pintura	16
1.1.5.1. Aplicación Manual	17
1.1.5.2. Métodos de Proyección	17
1.1.5.3. Métodos de Inmersión	17
1.1.6. Protección anticorrosiva con pigmentos nanoparticulados	18
1.1.6.1. Pigmentos analizados	19
1.1.6.1.1. Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )	19
1.1.6.1.2. Dióxido de titanio nanoparticulado	20
1.1.6.1.3. Óxido de zinc nanoparticulado	22
1.1.6.1.4. Hidrosulfito de Zinc	22
1.1.6.1.5. Fosfato de Zinc	23
1.1.7. Degradación de las pinturas	23
1.1.7.1. Durabilidad de los sistemas de pintura	23
1.1.8. Fallos producidos en las pinturas	25
1.1.8.1. Ampollamiento	25
1.1.8.2. Delaminación	26
1.1.8.3. Corrosión	26



1.1.8.4.	Fisuras	26
1.1.8.5.	Tisaje	26
1.1.8.6.	Alteración del color	27
1.1.8.7.	Perdida de brillo	27
1.1.9.	Degradación de los revestimientos poliméricos	27
1.1.9.1.	Degradación de Resinas Alquídicas	28
1.2.	Corrosión atmosférica	31
1.2.1.	Parámetros atmosféricos que provocan la corrosión	32
1.2.1.1.	Humedad Relativa	32
1.2.1.2.	Tiempo de Humectación	32
1.2.1.3.	Temperatura	33
1.2.1.4.	Luz Solar	33
1.2.2.	Combinación de los Parámetros atmosféricos	35
1.2.2.1.	Radiación y Agua	35
1.2.2.2.	Radiación y Oxígeno	35
1.2.3.	Contaminación Atmosférica	36
1.2.3.1.	Dióxido de Azufre	36
1.2.3.2.	Óxidos de Nitrógeno	37
1.2.3.3.	Ozono	37
1.2.3.4.	Dióxido de Carbono	37
1.2.3.5.	Cloruros	38
1.2.3.6.	Material Particulado	38
1.2.4.	Tipos de atmósferas y ambientes	39
1.2.4.1.	Rural	39
1.2.4.2.	Urbano	40
1.2.4.3.	Industrial	40
1.2.4.4.	Marina	41
1.3.	Ensayos de degradación acelerada en la cámara de niebla salina	41
1.3.1.	Cámara de Niebla Salina	42
1.3.1.1.	Funciones de la cámara salina	43
1.3.1.1.1.	Niebla Salina	43
1.3.1.1.2.	Secado Forzado	43
1.3.1.1.3.	Humedad	44
1.3.1.2.	Estándar ASTM B117-07	45
1.3.1.3.	Estándar ASTM G85-02 A.5 (Ensayo Prohesion)	45
1.4.	Ensayos de degradación acelerada en la cámara de arco de xenón	47
1.4.1.	Descripción de la Cámara Q-Sun Xe-1-S	47
1.4.1.1.	Tipos de lámparas	48
1.4.1.2.	Irradiación	48
1.4.1.3.	Filtros	49
1.4.1.4.	Estándares Utilizados	49
1.4.1.4.1.	ASTM G155-00a	49
1.4.1.4.2.	ASTM D6695-03b	50

<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>51</b>
2.1.	Materiales	52
2.1.1.	Placas	52
2.1.1.1.	Preparación de las Placas	53
2.1.2.	Revestimientos Poliméricos	53
2.1.2.1.	Aplicación de los Revestimientos	57
2.1.3.	Identificación de las Placas	58
2.2.	Ensayos de Campo	58
2.2.1.	Pupitres Porta placas	59
2.2.2.	Ubicación de las Estaciones	59
2.2.2.1.	Estación Pinturas Cóndor	59
2.2.2.2.	Estación Colegio San Gabriel	60
2.2.2.3.	Estación Valle de los Chillos	61
2.3.	Ensayos acelerados en la Cámara de Niebla Salina	62
2.4.	Ensayos acelerados en la Cámara de Arco de Xenón	63
2.5.	Evaluación del comportamiento de los sistemas de pinturas	64
2.5.1.	Evaluación Macroscópica	64
2.5.1.1.	ASTM D-610 “Método de prueba para evaluar el grado de corrosión en superficies de acero pintadas”	65
2.5.1.2.	ASTM D-660 “Método de prueba para evaluar el grado de cuarteamiento en pinturas expuestas al exterior”	66
2.5.1.3.	ASTM D-661 “Método de prueba para evaluar el grado de agrietamiento en pinturas expuestas al exterior”	67
2.5.1.4.	ASTM D-662 “Método de prueba para evaluar el grado de erosión en pinturas expuestas al exterior”	67
2.5.1.5.	ASTM D-714 “Método de prueba para evaluar el grado de cuarteamiento en pinturas expuestas al exterior”	68
2.5.1.6.	ASTM D-772 “Método de prueba para evaluar el grado de descamación en pinturas expuestas al exterior”	69
2.5.1.7.	Escala de Grises	69
2.5.2.	Evaluación Microscópica	70
2.5.3.	Espectroscopía de Infrarrojos	71
2.5.4.	Microscopía Electrónica	73
2.6.	Correlación entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados	73
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>74</b>
3.1.	Resultados de la Contaminación Atmosférica	75
3.1.1.	Análisis en Función del Tiempo de Exposición	75
3.1.1.1.	Estación Pinturas Cóndor	75

3.1.1.2.	Estación San Gabriel	77
3.1.1.3.	Estación Valle de los Chillos	78
3.1.2.	Comparación entre estaciones	79
3.2.	Resultados de los Datos Meteorológicos	80
3.2.1.	Análisis en Función del Tiempo de Exposición	81
3.2.1.1.	Humedad Relativa	81
3.2.1.2.	Precipitación	81
3.2.1.3.	Radiación Solar	82
3.2.1.4.	Temperatura	83
3.2.2.	Comparación entre estaciones	84
3.2.3.	Parámetros Ambientales más influyentes	86
3.3.	Evaluación del deterioro de los sistemas de pintura	87
3.3.1.	Comparación entre los sistemas de pintura	89
3.3.2.	Comparación entre estaciones de ensayo	95
3.3.3.	Evolución del deterioro del sistema de pinturas en función del tiempo	102
3.4.	Resultados Microscópicos	111
3.5.	Resultados de las Placas expuestas en la Cámara de Niebla Salina	118
3.6.	Resultados de las Placas expuestas en la Cámara de Arco de Xenón	126
3.7.	Comparación entre los Ensayos de Campo y los Ensayos Acelerados	128
3.8.	Resultados de los análisis obtenidos por Espectroscopía de Infrarrojos	139
3.8.1.	Ensayo 1 (TiO <sub>2</sub> nano)	140
3.8.1.1.	Estación Pinturas Cóndor	141
3.8.1.1.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	144
3.8.1.2.	Estación San Gabriel	145
3.8.1.2.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	148
3.8.1.3.	Estación Valle de los Chillos	149
3.8.1.3.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	152
3.8.1.4.	Cámara de Arco de Xenón	153
3.8.1.4.1.	Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones	154
3.8.1.4.2.	Comparación de la degradación del TiO <sub>2</sub> nano expuesto en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón	155
3.8.2.	Ensayo 2 (TiO <sub>2</sub> micro)	157
3.8.2.1.	Estación Pinturas Cóndor	158
3.8.2.1.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	161
3.8.2.2.	Estación San Gabriel	162
3.8.2.2.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	165

3.8.2.3.	Estación Valle de los Chillos	166
3.8.2.3.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	169
3.8.2.4.	Cámara de Arco de Xenón	170
3.8.2.4.1.	Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones	171
3.8.2.4.2.	Comparación de la degradación del TiO <sub>2</sub> micro expuesto en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón	172
3.8.3.	Ensayo 3 (znO)	174
3.8.3.1.	Estación Pinturas Cóndor	175
3.8.3.1.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	178
3.8.3.2.	Estación San Gabriel	179
3.8.3.2.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	182
3.8.3.3.	Estación Valle de los Chillos	183
3.8.3.3.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	186
3.8.3.4.	Cámara de Arco de Xenón	187
3.8.3.4.1.	Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones	188
3.8.3.4.2.	Comparación de la degradación del ZnO expuesto en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón	189
3.8.4.	Ensayo 4 (Resina)	191
3.8.4.1.	Estación Pinturas Cóndor	192
3.8.4.1.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	195
3.8.4.2.	Estación San Gabriel	196
3.8.4.2.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	199
3.8.4.3.	Estación Valle de los Chillos	200
3.8.4.3.1.	Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior	203
3.8.4.4.	Cámara de Arco de Xenón	204
3.8.4.4.1.	Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones	205
3.8.4.4.2.	Comparación de la degradación de la Resina expuesta en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón	206
3.8.5.	Comparación de los resultados obtenidos con otros estudios realizados anteriormente	208
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>209</b>
4.1.	Conclusiones	209

4.2. Recomendaciones	212
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>213</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>217</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.1.</b> Comportamiento relativo de diferentes resinas alquídicas	3
<b>Tabla 1.2.</b> Clasificación de las resinas alquídicas según la longitud de ácido graso	4
<b>Tabla 1.3.</b> Clasificación de los pigmentos	8
<b>Tabla 1.4.</b> Pigmentos Primarios y Cargas	8
<b>Tabla 1.5.</b> Clasificación de la región UV según la longitud de onda	34
<b>Tabla 2.1.</b> Pigmento utilizado en cada ensayo preparado	54
<b>Tabla 2.2.</b> Características de las formulaciones de las pinturas	55
<b>Tabla 2.3.</b> Equipos utilizados para la formulación, aplicación de las pinturas y medición del espesor	55
<b>Tabla 2.4.</b> Abreviatura utilizada para los nombres de las estaciones	58
<b>Tabla 2.5.</b> Condiciones de Exposición en la Cámara Salina	63
<b>Tabla 2.6.</b> Pasos y parámetros del estándar ASTM G85-02	63
<b>Tabla 2.7.</b> Pasos y parámetros del estándar ASTM D6695-03b, Ciclo 1	64
<b>Tabla 2.8.</b> Escala y especificación del grado de corrosión	65
<b>Tabla 2.9.</b> Escala y especificación del cuarteamiento y agrietamiento de una pintura	67
<b>Tabla 2.10.</b> Escala del tamaño de las ampollas	68
<b>Tabla 2.11.</b> Frecuencia de ampollaje en sistemas de pintura	68
<b>Tabla 2.12.</b> Escala de grises	69
<b>Tabla 2.13.</b> Abreviaturas para los cambios de colores más comunes	70
<b>Tabla 3.1.</b> Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D610 para la estación Pinturas Cóndor	87
<b>Tabla 3.2.</b> Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D610 para la estación San Gabriel	88
<b>Tabla 3.3.</b> Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D610 para la estación Valle de los Chillos	88
<b>Tabla 3.4.</b> Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D 610 para las placas sometidas al Ensayo “Prohesion”	123
<b>Tabla 3.5.</b> Resultados de la Evaluación con Escala de Grises de las placas expuestas en la Cámara de Arco de Xenón durante 300 horas	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
<b>Figura 1.1.</b>	Composición de las Pinturas	2
<b>Figura 1.2.</b>	Formas de los pigmentos	7
<b>Figura 1.3.</b>	Efecto barrera de las pinturas y proceso de deterioro	10
<b>Figura 1.4.</b>	Ampollamiento de un recubrimiento promovido por la existencia de contaminantes soluble en la interfase sustrato/pintura.	13
<b>Figura 1.5.</b>	Concentración crítica de pigmento en volumen real y separación entre partículas para diversas PVC. (Caprari, 2003)	15
<b>Figura 1.6.</b>	Espacio ocupado por los pigmentos nanoparticulados y los pigmentos de tamaño común dentro de las reticulaciones de la resina	18
<b>Figura 1.7.</b>	Foto microscópica del dióxido de titanio nanoparticulado	22
<b>Figura 1.8.</b>	Espectro de una resina alquídica virgen. (Hodson y Lander, 1987)	28
<b>Figura 1.9.</b>	Espectro de una resina alquídica envejecida. (Hodson y Lander, 1987)	29
<b>Figura 1.10.</b>	Espectro de una resina alquídica virgen y una resina expuesta durante 6 meses a la atmósfera de la ciudad de Quito. (Ribadeneira, 2009)	30
<b>Figura 1.11.</b>	Corrosión atmosférica del hierro (Handbook, 2000)	31
<b>Figura 1.12.</b>	Gráfica Irradiación Espectral de la luz solar vs Longitud de Onda	34
<b>Figura 1.13.</b>	Ambiente Rural	39
<b>Figura 1.14.</b>	Ambiente urbano de la ciudad de Quito	40
<b>Figura 1.15.</b>	Ambiente industrial de la ciudad de Quito	41
<b>Figura 1.16.</b>	Formación de la Niebla Salina (Q-LAB Corporation, 2006)	43
<b>Figura 1.17.</b>	Función de Secado Forzado (Q-LAB Corporation, 2006)	44
<b>Figura 1.18.</b>	Función de Humedad (Q-LAB Corporation, 2006)	44
<b>Figura 1.19.</b>	Ciclos del Ensayo Prohesion. (ASTM Standards, 2002)	46
<b>Figura 2.1.</b>	Esquema de las actividades realizadas	52
<b>Figura 2.2.</b>	Cowles	56
<b>Figura 2.3.</b>	Balanza de Platos	56
<b>Figura 2.4.</b>	Grindómetro	56
<b>Figura 2.5.</b>	Copa Ford #4	57
<b>Figura 2.6.</b>	Membrete adhesivo colocado en las placas	58
<b>Figura 2.7.</b>	Estación Pinturas Cóndor	60
<b>Figura 2.8.</b>	Estación Colegio San Gabriel	61
<b>Figura 2.9.</b>	Estación Valle de los Chillos	62
<b>Figura 2.10.</b>	Distribución de la corrosión según el estándar ASTM D610-01. Grado 2=33% de Corrosión, (ASTM, 2001)	66
<b>Figura 2.11.</b>	Ángulos de iluminación y observación para determinar el cambio de color (ISO 105-AO2, 1992)	70
<b>Figura 2.12.</b>	Espectrofotómetro Perkin Elmer	72
<b>Figura 3.1.</b>	Cantidad de contaminantes en la estación Pinturas Cóndor	76
<b>Figura 3.2.</b>	Cantidad de contaminantes en la estación San Gabriel	77
<b>Figura 3.3.</b>	Cantidad de contaminantes en la estación Valle de los Chillos	78
<b>Figura 3.4.</b>	Cantidad de contaminantes presentes en las diferentes estaciones	80
<b>Figura 3.5.</b>	Porcentaje de Humedad Relativa en cada mes de exposición	81

<b>Figura 3.6.</b>	Precipitación en cada mes de exposición	82
<b>Figura 3.7.</b>	Radiación Solar en cada mes de exposición	83
<b>Figura 3.8.</b>	Temperatura en cada mes de exposición	83
<b>Figura 3.9.</b>	Cantidad de contaminantes presentes en las diferentes estaciones	84
<b>Figura 3.10.</b>	Parámetros más influyentes en la degradación de los revestimientos	86
<b>Figura 3.11.</b>	Evaluación comparativa del lado expuesto (LA) de todos los sistemas de pintura a los seis meses de exposición	89
<b>Figura 3.12.</b>	Evaluación comparativa del lado no expuesto (LP) de todos los sistemas de pintura a los seis meses de exposición	90
<b>Figura 3.13.</b>	Evaluación comparativa del lado anterior de los ensayos TiO <sub>2</sub> nano, TiO <sub>2</sub> micro y ZnO a los seis meses de exposición	91
<b>Figura 3.14.</b>	Evaluación comparativa del lado posterior de los ensayos TiO <sub>2</sub> nano, TiO <sub>2</sub> micro y ZnO a los seis meses de exposición	91
<b>Figura 3.15.</b>	Evaluación comparativa del lado anterior de los ensayos 5, 6 y 7 a los seis meses de exposición	93
<b>Figura 3.16.</b>	Evaluación comparativa del lado posterior de los ensayos 5, 6 y 7 a los seis meses de exposición	93
<b>Figura 3.17.</b>	Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación Pinturas Cóndor	96
<b>Figura 3.18.</b>	Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación San Gabriel	98
<b>Figura 3.19.</b>	Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación Valle de los Chillos	100
<b>Figura 3.20.</b>	Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 1 (TiO <sub>2</sub> nano)	102
<b>Figura 3.21.</b>	Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 1 (TiO <sub>2</sub> nano)	103
<b>Figura 3.22.</b>	Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 2 (TiO <sub>2</sub> micro)	103
<b>Figura 3.23.</b>	Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 2 (TiO <sub>2</sub> micro)	104
<b>Figura 3.24.</b>	Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 3 (ZnO)	105
<b>Figura 3.25.</b>	Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 3 (ZnO)	105
<b>Figura 3.26.</b>	Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 4 (Resina)	106
<b>Figura 3.27.</b>	Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 4 (Resina)	107
<b>Figura 3.28.</b>	Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 5 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	108
<b>Figura 3.29.</b>	Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 5 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	108
<b>Figura 3.30.</b>	Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 6 (Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	109
<b>Figura 3.31.</b>	Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 6 (Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	110
<b>Figura 3.32.</b>	Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 7 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	110



<b>Figura 3.33.</b>	Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 7 ( $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ )	111
<b>Figura 3.34.</b>	Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación Pinturas Cóndor	112
<b>Figura 3.35.</b>	Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación San Gabriel	114
<b>Figura 3.36.</b>	Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación Valle de los Chillos	116
<b>Figura 3.37.</b>	Vista microscópica de una ampolla de la Resina	117
<b>Figura 3.38.</b>	Evaluación del porcentaje de Corrosión de los revestimientos expuestos al ensayo Prohesion durante 600 horas	118
<b>Figura 3.39.</b>	Comparación entre el lado expuesto y el lado no expuesto del $TiO_2$ nano y el $ZnS_2O_4$	119
<b>Figura 3.40.</b>	Porcentaje de Corrosión del lado expuesto de los ensayos $TiO_2$ nano, $TiO_2$ micro y $ZnO$ vs Tiempo de Exposición al ensayo Prohesion	119
<b>Figura 3.41.</b>	Porcentaje de Corrosión del lado expuesto de los ensayos Resina, $ZnS_2O_4$ , $Zn_3(PO_4)_2$ y $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ vs Tiempo de Exposición al ensayo Prohesion	120
<b>Figura 3.42.</b>	Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas expuestas al ensayo Prohesion durante 600 horas	120
<b>Figura 3.43.</b>	Fotografías Microscópicas del Corte en “X” de los revestimientos sometidos al ensayo “Prohesion” durante 600 horas	124
<b>Figura 3.44.</b>	Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas expuestas al ensayo ASTM D6695-03b-Ciclo 1, durante 300 horas	127
<b>Figura 3.45.</b>	Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, Ensayo 1 ( $TiO_2$ nano)	128
<b>Figura 3.46.</b>	Correspondencia del porcentaje de corrosión del $TiO_2$ nano expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion	129
<b>Figura 3.47.</b>	Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, Ensayo 2 ( $TiO_2$ micro)	129
<b>Figura 3.48.</b>	Correspondencia del porcentaje de corrosión del $TiO_2$ micro expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion	130
<b>Figura 3.49.</b>	Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 3 ( $ZnO$ )	131
<b>Figura 3.50.</b>	Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 4 (Resina)	131
<b>Figura 3.51.</b>	Correspondencia del porcentaje de corrosión del $ZnO$ micro expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion	132
<b>Figura 3.52.</b>	Correspondencia del porcentaje de corrosión de la Resina expuesta en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion	132
<b>Figura 3.53.</b>	Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 5 ( $ZnS_2O_4$ )	133
<b>Figura 3.54.</b>	Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 6 ( $Zn_3(PO_4)_2$ )	133
<b>Figura 3.55.</b>	Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 7 ( $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ )	134
<b>Figura 3.56.</b>	Correspondencia del porcentaje de corrosión del $ZnS_2O_4$ expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion	134

<b>Figura 3.57.</b>	Correspondencia del porcentaje de corrosión del $ZnS_2O_4$ expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion	135
<b>Figura 3.58.</b>	Correspondencia del porcentaje de corrosión del $ZnS_2O_4+Zn_3(PO_4)_2$ expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion	135
<b>Figura 3.59.</b>	Tiempo de vida útil del ensayo 5 ( $ZnS_2O_4$ ) expuesto a la cámara salina	136
<b>Figura 3.60.</b>	Evaluación del porcentaje de corrosión de los revestimientos expuestos a los ensayos de campo y al ensayo Prohesion (600 horas), Lado Expuesto	137
<b>Figura 3.61.</b>	Evaluación del porcentaje de Corrosión de los revestimientos expuestos a los ensayos de campo y al ensayo Prohesion (600 horas), Lado no Expuesto	138
<b>Figura 3.62.</b>	Espectro Infrarrojo del ensayo 1 ( $TiO_2$ nano), sin exposición	140
<b>Figura 3.63.</b>	Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	141
<b>Figura 3.64.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	142
<b>Figura 3.65.</b>	Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	143
<b>Figura 3.66.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	143
<b>Figura 3.67.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Estación Pinturas Cóndor	144
<b>Figura 3.68.</b>	Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación San Gabriel	145
<b>Figura 3.69.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación San Gabriel	146
<b>Figura 3.70.</b>	Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación San Gabriel	147
<b>Figura 3.71.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación San Gabriel	147
<b>Figura 3.72.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Estación San Gabriel	148
<b>Figura 3.73.</b>	Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	150
<b>Figura 3.74.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	150
<b>Figura 3.75.</b>	Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	151
<b>Figura 3.76.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	151
<b>Figura 3.77.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del $TiO_2$ nano (ensayo 1), Estación Valle de los Chillos	152
<b>Figura 3.78.</b>	Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón	153
<b>Figura 3.79.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del $TiO_2$ nano (ensayo 1), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón	154
<b>Figura 3.80.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo	

	TiO <sub>2</sub> nano de las tres estaciones	155
<b>Figura 3.81.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo TiO <sub>2</sub> nano expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón	156
<b>Figura 3.82.</b>	Espectro Infrarrojo del ensayo 2 (TiO <sub>2</sub> micro) sin exposición	157
<b>Figura 3.83.</b>	Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	158
<b>Figura 3.84.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	159
<b>Figura 3.85.</b>	Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	160
<b>Figura 3.86.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	160
<b>Figura 3.87.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Estación Pinturas Cóndor	161
<b>Figura 3.88.</b>	Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación San Gabriel	162
<b>Figura 3.89.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación San Gabriel	163
<b>Figura 3.90.</b>	Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación San Gabriel	164
<b>Figura 3.91.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación San Gabriel	164
<b>Figura 3.92.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Estación San Gabriel	165
<b>Figura 3.93.</b>	Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	166
<b>Figura 3.94.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	167
<b>Figura 3.95.</b>	Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	168
<b>Figura 3.96.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	168
<b>Figura 3.97.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), Estación Pinturas Cóndor	169
<b>Figura 3.98.</b>	Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2) expuesto a la Cámara de Arco de Xenón	170
<b>Figura 3.99.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO <sub>2</sub> micro (ensayo 2), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón	171
<b>Figura 3.100.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo TiO <sub>2</sub> micro de las tres estaciones	172
<b>Figura 3.101.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo TiO <sub>2</sub> micro expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón	173
<b>Figura 3.102.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3) sin exposición	174
<b>Figura 3.103.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	175
<b>Figura 3.104.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	176

<b>Figura 3.105.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	177
<b>Figura 3.106.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	177
<b>Figura 3.107.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del ZnO (ensayo 3), Estación Pinturas Cóndor	178
<b>Figura 3.108.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación San Gabriel	179
<b>Figura 3.109.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación San Gabriel	180
<b>Figura 3.110.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación San Gabriel	181
<b>Figura 3.111.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación San Gabriel	181
<b>Figura 3.112.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del ZnO (ensayo 3), Estación San Gabriel	182
<b>Figura 3.113.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	183
<b>Figura 3.114.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	184
<b>Figura 3.115.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	185
<b>Figura 3.116.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	185
<b>Figura 3.117.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del ZnO (ensayo 3), Estación Valle de los Chillos	186
<b>Figura 3.118.</b>	Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Expuesto en la Cámara de Arco de Xenón	187
<b>Figura 3.119.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón	188
<b>Figura 3.120.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo ZnO de las tres estaciones	189
<b>Figura 3.121.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo ZnO expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón	190
<b>Figura 3.122.</b>	Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), sin exposición	191
<b>Figura 3.123.</b>	Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	192
<b>Figura 3.124.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado anterior, Estación Pinturas Cóndor	193
<b>Figura 3.125.</b>	Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	194
<b>Figura 3.126.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor	194
<b>Figura 3.127.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos de la Resina (ensayo 4), Estación Pinturas Cóndor	195
<b>Figura 3.128.</b>	Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), Lado anterior, Estación San Gabriel	196
<b>Figura 3.129.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina	

	(ensayo 4), Lado anterior, Estación San Gabriel	197
<b>Figura 3.130.</b>	Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación San Gabriel	198
<b>Figura 3.131.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación San Gabriel	198
<b>Figura 3.132.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos de la Resina (ensayo 4), Estación Pinturas Cóndor	199
<b>Figura 3.133.</b>	Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	200
<b>Figura 3.134.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos	201
<b>Figura 3.135.</b>	Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	202
<b>Figura 3.136.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	202
<b>Figura 3.137.</b>	Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos de la Resina (ensayo 4), Estación Valle de los Chillos	203
<b>Figura 3.138.</b>	Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón	204
<b>Figura 3.139.</b>	Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos	205
<b>Figura 3.140.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo Resina de las tres estaciones	206
<b>Figura 3.141.</b>	Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo resina expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón	207

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I.</b>	
Relación entre la escala del estándar ASTM D 610-01 y el porcentaje de corrosión	218
<b>Anexo I.1.</b> Resultados de la evaluación de las pinturas según la escala del estándar ASTM D 610-01, Estación Pinturas Cóndor	219
<b>Anexo I.2.</b> Resultados del porcentaje de corrosión, Estación Pinturas Cóndor	220
<b>Anexo I.3.</b> Resultados de la evaluación de las pinturas según la escala del estándar ASTM D 610-01, Estación San Gabriel	221
<b>Anexo I.4.</b> Resultados del porcentaje de corrosión, Estación San Gabriel	222
<b>Anexo I.5.</b> Resultados de la evaluación de las pinturas según la escala del estándar ASTM D 610-01, Estación Valle de los Chillos	223
<b>Anexo I.6.</b> Resultados del porcentaje de corrosión, Estación Valle de los Chillos	224
<b>Anexo I.7.</b> Observaciones Generales de los Revestimientos en las tres Estaciones	225
<b>ANEXO II.</b>	
Muebles Porta Placas	226
<b>Anexo II.1.</b> Estado Inicial del mueble porta placas	226
<b>Anexo II.2.</b> Disposición de las placas en el mueble portaplacas	226

## INTRODUCCIÓN

La corrosión atmosférica es la causa más frecuente de la destrucción de metales y aleaciones. La gran mayoría de las construcciones y piezas metálicas operan bajo la acción del medio ambiente, lo cual provoca más del 50% de las pérdidas totales de este material, (González, 1984 y Matas, 2002).

La alternativa más práctica de lucha contra la corrosión es el empleo de recubrimientos protectores, que aislen el metal del medio agresivo. Entre las técnicas de protección anticorrosivas existentes, la aplicación de revestimientos de pintura es, sin duda alguna, una de las más utilizadas y difundidas, principalmente en la protección del acero. El incesante avance tecnológico impone condiciones operativas más exigentes; como compensación, las técnicas de protección anticorrosiva y particularmente los recubrimientos de pintura han alcanzado un desarrollo muy notorio, (Morcillo *et al*, 2002).

Con el fin de desarrollar nuevos sistemas de pinturas con mejor desempeño, actualmente se están utilizando nano-materiales en su composición, ya que, gracias a su pequeño tamaño, se ha logrado mejorar las propiedades de los recubrimientos. Las partículas nanométricas proveen protección ambiental porque poseen excelente decoración, resistencia a la contaminación, desempeño antimicrobiano y tenacidad a los cambios climáticos, (Dhoke y Khanna, 2009; Zhang *et al.*, 2007).

Es por esta razón que, mediante esta investigación se realizará un estudio del incremento de la vida útil de una pintura alquídica mediante el uso de pigmentos nanoparticulados, enfocado a minimizar los costos que implica la corrosión del acero, a reducir los efectos secundarios que este fenómeno produce y a contribuir con el desarrollo de la industria de los revestimientos poliméricos.

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación evaluó la acción atmosférica sobre el comportamiento de siete sistemas de pinturas anticorrosivas que incorporaron en su formulación dos pigmentos nanoparticulados (óxido de zinc y dióxido de titanio) y uno micronizado (dióxido de titanio). Se usaron pigmentos nanométricos con la finalidad de determinar la influencia de estas partículas respecto a las generalmente utilizadas en la industria.

Para complementar el análisis, se realizaron ensayos acelerados; y se estableció una comparación con los ensayos realizados en campo.

En los ensayos de campo se analizó, durante seis meses, la influencia ambiental de tres estaciones localizadas en distintas zonas de la ciudad de Quito con diferentes características meteorológicas y de contaminación.

Los ensayos acelerados se realizaron en dos equipos: Cámara de Niebla Salina y Cámara de Arco de Xenón. La primera, simula los parámetros atmosféricos de una estación ubicada en campo, como son: humedad, temperatura y calor. La segunda determina la resistencia de los revestimientos a efectos de la radiación ultravioleta proveniente de la luz solar.

La degradación de los revestimientos se valoró, macroscópica y microscópicamente, mediante estándares ASTM de apreciación visual y microscopía óptica complementada con espectroscopía de infrarrojos (IR).

Mediante los estándares de apreciación visual se determinó el tipo y el porcentaje de fallo que presentó la pintura, complementado con la microscopía óptica. El análisis mediante espectroscopía de IR a escala micro, permitió determinar el desgaste que sufrió la resina, mediante el aumento o disminución de la intensidad de las bandas de los grupos funcionales más importantes.



Al finalizar los seis meses se encontró que la degradación de todos los sistemas de pintura, expuestos en campo y a los ensayos acelerados, se produjo por corrosión y pérdida de color.

Se ha determinado que los parámetros atmosféricos más influyentes sobre la degradación de los revestimientos fueron la humedad y la radiación ultravioleta, presentándose mayores niveles de corrosión y pérdida de color o amarillamiento en el lado expuesto antes que en el lado no expuesto.

El recubrimiento que posee  $\text{TiO}_2$  micronizado presentó niveles de corrosión ligeramente superiores al del  $\text{TiO}_2$  nanoparticulado, por lo que el uso de nanomateriales en la formulación realizada para este estudio no tiene ventajas significativas sobre los pigmentos de tamaño común.

Establecer una comparación de los ensayos anteriores con aquellos que utilizan el óxido de zinc, no es muy acertado, debido a que el porcentaje de  $\text{ZnO}$  en la formulación fue muy bajo, pero a pesar de esto presenta un nivel aceptable de protección al sustrato.

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1. PROTECCIÓN ANTICORROSIVA CON REVESTIMIENTOS POLIMÉRICOS.

Como se mencionó anteriormente, la alternativa más práctica de lucha contra la corrosión es el empleo de recubrimientos protectores.

La gran variedad de tipos de pinturas con diferentes características y resistencias, facilidad de aplicación y combinación con recubrimientos metálicos, costo relativamente bajo, son, entre otras, las principales ventajas que inducen al empleo de este tipo de protección.

Los mecanismos de protección proporcionados por los recubrimientos orgánicos son:

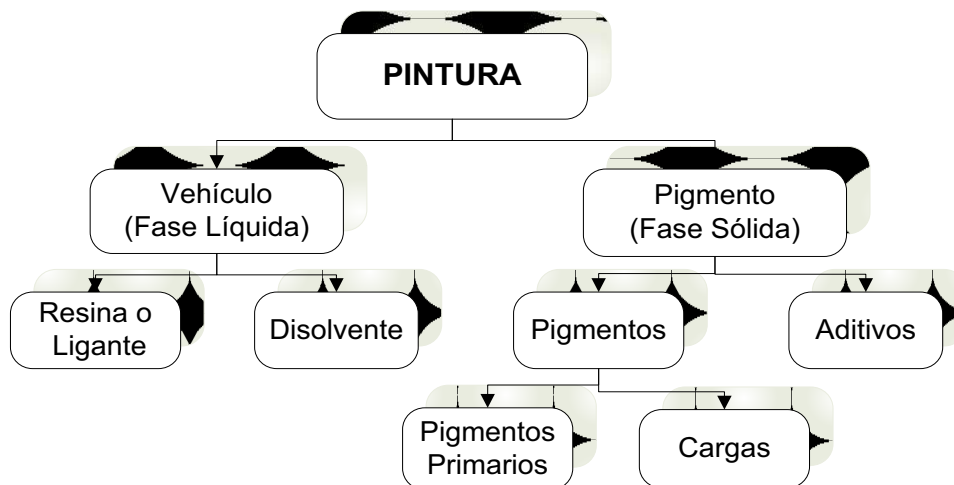
- Creación de una barrera eficaz contra la corrosión provocada por el agua y el oxígeno.
- Creación de un camino de resistencia eléctrica muy alta, que inhibe las reacciones ánodo – cátodo.
- Pasivado en la superficie del metal con pigmentos solubles.
- Creación de un ánodo alternativo para el proceso de disolución.

(Morcillo *et al.*, 2002)

### 1.1.1. SISTEMAS DE PINTURA

La pintura es un fluido pigmentado que puede extenderse sobre una superficie y que por un proceso físico o físico-químico solidifica, resultando una película adherida a la superficie tratada. (Morcillo *et al.*, 2002)

En la Figura 1.1, se observa la composición de una pintura:



**Figura 1.1.** Composición de las Pinturas

#### 1.1.1.1. Vehículo

El vehículo es la parte líquida de la pintura. El ligante, llamado también resina, constituye la parte no volátil del vehículo y es el responsable de la adherencia de la pintura al sustrato. La resina está formada generalmente de un polímero de alto peso molecular y proporciona la resistencia química de la pintura.

El disolvente es la parte volátil del vehículo, se evapora durante la aplicación de una pintura y en la formación de la película seca; es el encargado de mantener a las resinas en disolución y de proporcionarle una viscosidad adecuada. Por lo tanto, los disolventes tienen gran influencia en las propiedades de aplicación, en el tiempo de secado de una pintura y en el punto de inflamación. (Palacios, 2006)

##### 1.1.1.1.1. Resinas Alquílicas

Las resinas alquílicas están en uso comercial desde 1927 y se han convertido en uno de los revestimientos más utilizados contra la corrosión. Este ligante, es una

resina poliéster modificada con aceites; es decir, son poliésteres de alcoholes polihidroxílicos (glicerina) con ácidos policarboxílicos (ácido ftálico), que se combinan en una reacción química de policondensación con diferentes proporciones de aceites con la finalidad de modificar sus propiedades.

Con esta formulación se logra que:

- El poliéster provea a la pintura dureza y resistencia.
- El aceite regule la flexibilidad, adhesión y solubilidad.

A continuación se presenta mayor información de una resina alquídica:

*a. Ácidos Grasos:*

Los ácidos grasos generalmente utilizados provienen de plantas, semillas o animales, como son: Tung, oiticica, linaza, ricino, ricino deshidratado, soya, pescado, cártamo, girasol, pepa de uva, semilla de algodón, madera, coco y palma. El tipo de aceite y/o mezcla de aceites, así como las proporciones, influyen en las propiedades finales de las resinas alquídicas. El comportamiento de algunas de las resinas alquídicas se muestran en la Tabla 1.1:

**Tabla 1.1.** Comportamiento relativo de diferentes resinas alquídicas

Aceite Empleado	Velocidad de secado	Retención de color	Resistencia al agua	Duración al exterior	
				Retención del brillo	Resistencia al Entizado
Tung	10	4	10	10	2
Oiticica	8	2	8	8	0
Linaza	4	4	4	4	6
Ricino deshidratado	6	8	6	8	10
Soya	2	10	2	2	8
Pescado	0	0	0	0	4

\*Caprari, 2003.

En todos los casos 10 indica la mayor resistencia y mayor velocidad de secado y 0 la menor.

*b. Clasificación:*

Las resinas se clasifican:

- De acuerdo con la longitud de ácido graso: en cortas, medias y largas:

**Tabla 1.2.** Clasificación de las resinas alquídicas según la longitud de ácido graso

Propiedad	Longitud del ácido graso		
	Largas	Medias	Cortas
% Ácido graso	30-45	45-55	> 60
Contenido de aceite	Alta	Intermedia	Baja
Velocidad de secado	Lenta		Rápida
Flexibilidad del film	Alta		Baja
Resistencia química	Mala		Buena
Brillo	Bajo		Alta
Tendencia al amarillamiento	Alta		Baja
Grado de insaturación	No secantes		Semi secantes

\*Caprari, 2003.

De acuerdo con el grado de insaturación de los residuos grasos pueden ser secantes, semi secantes y no secantes. Para mejorar algunas propiedades de las resinas alquídicas se suelen mezclar resinas con diferente longitud de ácido graso. El resultado de la mezcla va a estar determinado por las características que deba tener la pintura. (Caprari, 2003; Forsgren, 2006; Holmberg, 2006)

*c. Propiedades y Usos*

Las pinturas alquídicas tienen una buena adherencia al substrato y buena resistencia a la intemperie, son relativamente baratas y fáciles de usar; además el secado de la pintura es rápido y tienen una buena conservación del color y brillo, aunque amarillean con el tiempo. Pero, por otro lado, tienen una baja resistencia al agua y a los disolventes; no recomendable su aplicación en capas de espesor elevado, ya que afecta a la adherencia.

Los alquídicos no pueden tolerar condiciones de alcalinidad, por lo que no son adecuados para las superficies de zinc; son algo sensibles a la radiación UV, en función de la composición específica de la resina. Cabe recalcar que las resinas

alquídicas generalmente presentan malas propiedades de barrera contra el vapor de agua. Por las desventajas mencionadas anteriormente, elegir un pigmento anticorrosivo adecuado es indispensable para esta clase de revestimiento. (Forsgren, 2006 y Palacios 2006).

#### **1.1.1.2. Pigmentos**

El pigmento es la parte sólida de la pintura, se encuentra disperso en pequeñas partículas insolubles en el vehículo. Su función es dar color y opacidad a la pintura, así como disminuir la permeabilidad de la película y contribuir a la protección anticorrosiva. (Morcillo *et al.*, 2002 y Palacios, 2006)

##### *a. Propiedades de los pigmentos*

Las propiedades generales de los pigmentos definen el comportamiento que posee la película después de la aplicación.

##### *b. Propiedades ópticas y físicas*

El *poder cubritivo* es la propiedad mediante la cual la película enmascara u oculta la superficie que esta recubriendo, éste depende de la diferencia entre los índices de refracción del pigmento ( $\eta$ ) y del medio aglomerante (vehículo + cargas y aditivos).

En base al valor de su índice de refracción los pigmentos pueden clasificarse en:

- Opacos: proveen poder cubritivo, alta resistencia a factores climáticos especialmente a los rayos ultravioleta, poseen un índice de refracción  $\eta > 1,7$ . Los más importantes son el dióxido de titanio, el óxido de antimonio, el sulfuro de zinc y el óxido de zinc.

- **Extendedores o Inertes:** no tienen mucha influencia en la opacidad de la película, reducen la sedimentación en el envase y aumentan la dureza de la película, disminuyen el costo de la pintura; poseen un índice de refracción entre 1,5 y 1,7. Los extensores de uso más frecuente son el carbonato de calcio precipitado, sulfato de bario, óxido de hierro en varios colores y el talco.
- **Cargas:** se llaman también pigmentos transparentes, debido a que su  $\eta \leq 1,4$  (igual o mínimamente inferior al  $\eta$  de la resina), no favorecen a las propiedades de las pinturas, pero usándolas en cantidades adecuadas tampoco influyen en la calidad de la película; sólo disminuyen el costo de ésta. Los más usados son los carbonatos de calcio naturales y las dolomitas. (Caprari, 2003)

### *c. Propiedades generales*

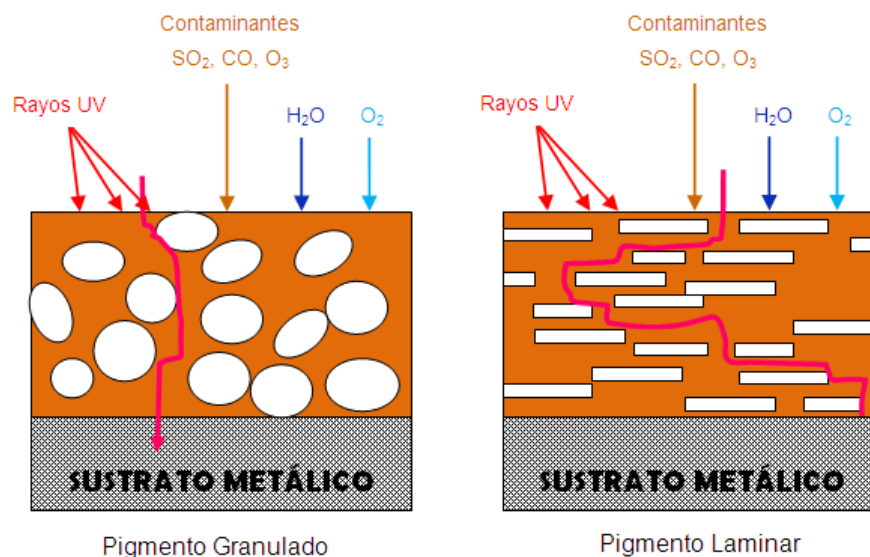
*Granulometría:* tanto la forma como la distribución óptima del tamaño de las partículas del pigmento pueden favorecer el desarrollo de algunas propiedades de la película en la que son utilizados. La acertada distribución de tamaños de pigmento para una forma determinada de partícula, permite lograr un empaquetamiento más denso, aumentando de ésta manera la impermeabilidad de la película de la pintura.

### *d. Forma de las partículas*

La forma más o menos regular de un pigmento favorece el desarrollo de un buen empaquetamiento. Las partículas pueden ser:

- **Nodulares:** son de forma esférica regular, se caracterizan porque las tres dimensiones espaciales tienen el mismo orden.
- **Laminares:** son de forma plana e irregular, con dos dimensiones mayores y una mucho menor.
- **Aciculares:** tienen forma de agujas, de cristales alargados, donde una de las dimensiones espaciales es mucho mayor que las otras dos. (Caprari, 2003).

En la Figura 1.2, se indican dos de las clases de pigmentos más utilizados y la facilidad con la que los agentes atmosféricos, atraviesan el recubrimiento hasta llegar al sustrato.



**Figura 1.2.** Formas de los pigmentos

Los pigmentos deben ser *insolubles* en medios como agua dulce, agua salada, aguas contaminadas, etc. Una ligera solubilidad del pigmento provoca graves daños al sistema protector debido a que se produce un ablandamiento de la película.

La *inercia química* es una propiedad muy importante. Existen varios pigmentos químicamente inertes (dióxido de titanio, baritas, litopón, algunos talcos). Pero también hay pigmentos que no resisten medios ácidos ni básicos como por ejemplo el óxido de zinc. Si se produce una reacción con los componentes ácidos del ligante puede ser beneficioso porque aumenta la impermeabilidad de la película, pero en otros casos esto puede provocar inestabilidad y gelación durante el almacenamiento en el envase.

Entre otras propiedades de los pigmentos están: el índice de absorción en el aceite (indica la facilidad de dispersión del pigmento en el aceite), resistencia a las radiaciones y al ataque bacteriano. (Caprari, 2003)



e. *Clasificación de los pigmentos*

Los pigmentos se clasifican por:

La función que desempeñan o su naturaleza química, (Tabla 1.3):

**Tabla 1.3.** Clasificación de los pigmentos

Clasificación	Pigmento		Función
Según su función	Anticorrosivos	Barrera	Actúan como separador entre el medio y el metal
		Pasivadores	Actúan mediante pasivación anódica o catódica
		De protección catódica	Proveen pasivación catódica
	Cubrientes y colorantes		Dan color u opacidad
	De extensión o refuerzo		Mejorar las propiedades mecánicas
	Anti-incrustantes		Impedir el crecimiento de microorganismos
	Fungicidas		Impedir el crecimiento de hongos
	Ignífugos		Aumentar la resistencia de la pintura al fuego
Según su naturaleza química	Naturales y sintéticos		Dar color
	Orgánicos e inorgánicos		Proporcionan brillo y claridad

\*Palacios, 2006

Según la función que desempeñan los pigmentos, además, se clasifican en pigmentos primarios y extendedores (cargas). En esta clasificación los pigmentos más importantes son los detallados en la Tabla 1.4, (Hare, 1994):

**Tabla 1.4.** Pigmentos Primarios y Cargas

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	Carga	22,6	2,7	13
Carbonato de calcio sintético	Carga	22,6	2,7	45

\* Gramos de aceite absorbido por 100 gramos de pigmento

\*\*Hare, 1994

#### *1.1.1.2.1. Aditivos*

Los aditivos son sustancias que se añaden en pequeñas cantidades a la pintura para mejorar determinadas propiedades de las mismas, ya sea durante la etapa de fabricación del sistema o cuando la pintura ya es aplicada. Algunos resultados son la mejora y facilidad de la producción, incremento de la estabilidad y la vida de almacenamiento, reducción del tiempo de secado y de la tendencia al lagrimeo o a la formación de cráteres. (Palacios, 2006 y Caprari, 2003).

### **1.1.2. MECANISMOS DE LA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA POR PINTURAS**

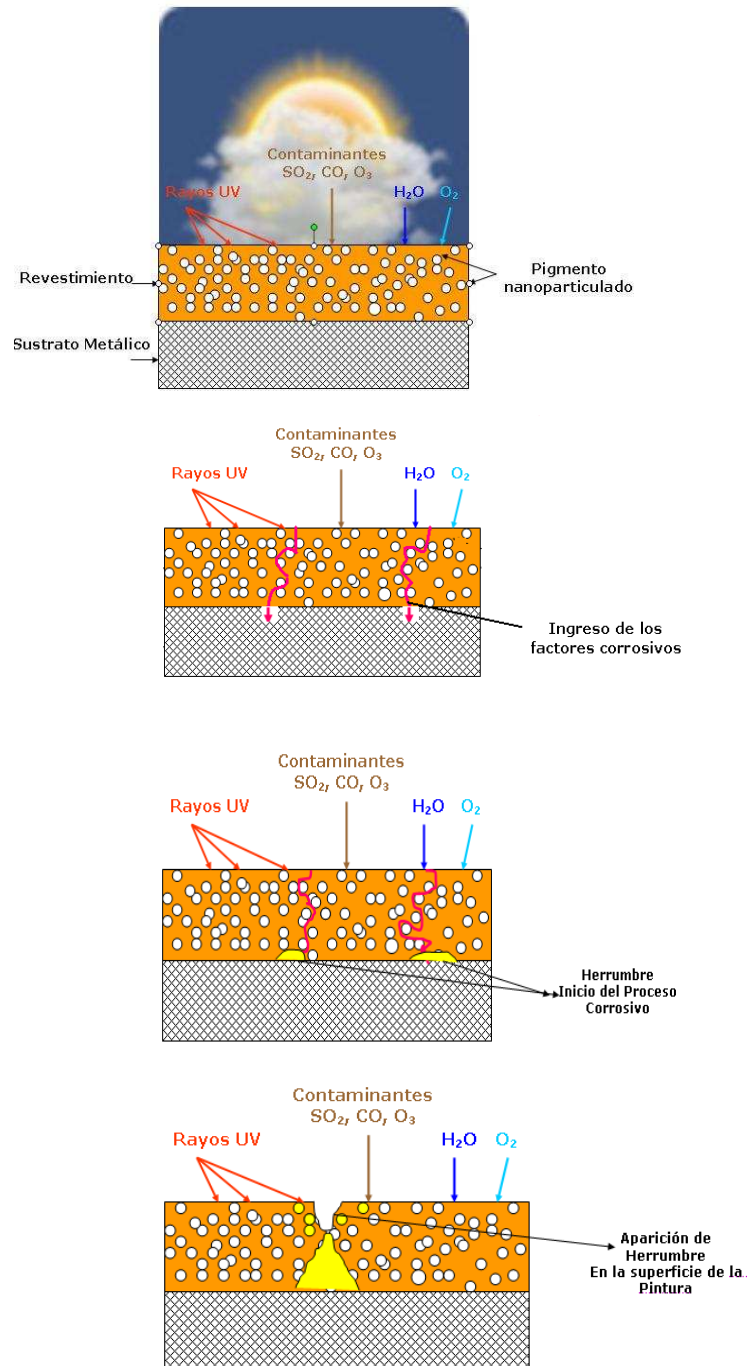
Los recubrimientos a base de pintura tratan de impedir o por lo menos disminuir el proceso corrosivo del sustrato metálico, proporcionando los siguientes efectos:

#### **1.1.2.1. Efecto Barrera**

Este efecto reduce el acceso del oxígeno y de la humedad a la superficie del metal, por tanto inhibe la reacción catódica del proceso corrosivo.

El contacto de estos agentes químicos con el metal no se produce solamente a través de micro poros, poros u otros defectos de la capa de pintura, sino también en sistemas altamente pigmentados ocurre por los intersticios que existen entre las partículas del pigmento, por lo tanto, mientras las macromoléculas estén más cerca unas de otras formando cadenas lineales o estructuras tridimensionales con alta reticulación, la pintura poseerá mejores características impermeables, Figura 1.3.

El efecto barrera prolonga la vida útil de un revestimiento si se realiza una elección adecuada del vehículo y pigmentos, conjuntamente con la correcta aplicación de la pintura. (Morcillo, 2002).



**Figura 1.3.** Efecto barrera de las pinturas y proceso de deterioro

### **1.1.2.2. Resistencia Iónica**

La resistencia iónica permite la reducción de las pilas de corrosión (las pilas de corrosión son el resultado de un proceso electroquímico en el cual intervienen un ánodo, un cátodo y un electrolito), debido a que la pintura ofrece un impedimento al movimiento de los iones del electrolito formado en la interfase metal/pintura.

La resistencia iónica puede verse afectada por los siguientes factores:

- Presencia de electrolitos en o bajo de la película de pintura
- Penetración de agua u otros electrolitos a través del recubrimiento
- Espesor de película

(Morcillo, 2002).

### **1.1.2.3. Efecto Inhibidor**

El efecto inhibidor lo presentan las películas de pintura que contienen pigmentos químicamente activos en su formulación. Este método de protección forma sobre la superficie del sustrato condiciones químicamente favorables que consiguen polarizar los ánodos y/o los cátodos de las pilas de corrosión, y de esta manera detener las reacciones corrosivas.

La protección puede darse por el mantenimiento de una película superficial protectora de óxido soluble sobre el metal (inhibición directa), o por la formación de compuestos insolubles que resultan de la reacción del inhibidor y los productos o subproductos del vehículo (inhibición indirecta). (Morcillo, 2002).

#### **1.1.2.4. Efecto de Protección Catódica**

Este efecto se produce en pinturas formuladas a base de pigmentos metálicos, que actúan de ánodo, en beneficio del soporte metálico que actúa de cátodo.

Para que se produzca esta protección se requiere de un suministro eléctrico que desplace la reacción hacia el lado del metal que va a ser protegido. Esto se logra utilizando pigmentos metálicos menos nobles que el metal a proteger en la formulación de la pintura. Los pigmentos deben estar en íntimo contacto entre sí y con el sustrato. Generalmente se utilizan polvos de zinc, aluminio y magnesio; sin embargo, los dos últimos, al estar recubiertos por su óxido no permiten el contacto necesario. Actualmente se utilizan pinturas con alto contenido de polvos de zinc, entre 85-95% de zinc en la película seca, por la alta protección que han demostrado. (Morcillo, 2002)

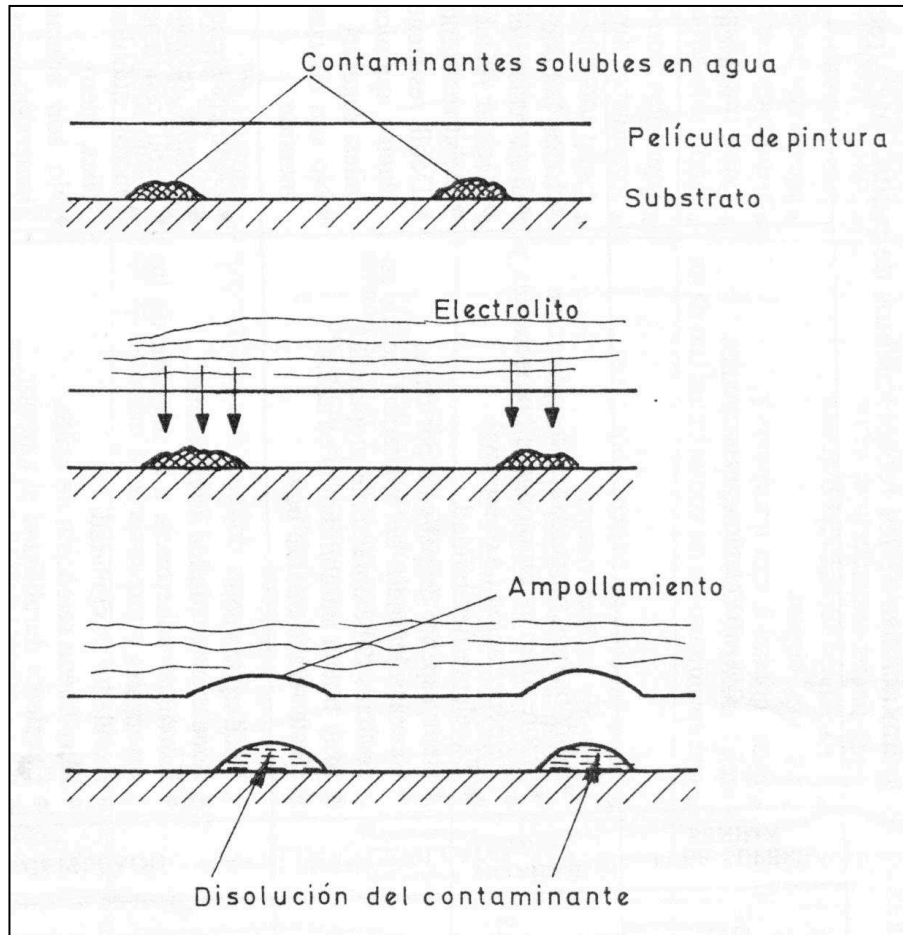
#### **1.1.3. FORMULACIÓN DE PINTURAS**

La formulación de una pintura dependerá del sustrato al cual va a ser aplicada y del ambiente donde va a ser expuesta, es decir, debe cumplir con los requerimientos o especificaciones del producto, de manera que se abarque una amplia gama de propiedades físicas y químicas.

Para conseguir estos propósitos se deben elegir correctamente el pigmento activo, los pigmentos extendedores y las cargas. Esta elección dependerá de la función que debe cumplir la película, por ejemplo:

- Si la película es anticorrosiva debe tener una concentración adecuada del pigmento inhibidor, para proporcionarle una adecuada permeabilidad y de esta manera evitar la formación de hinchamiento en la película o ampollas. Si el sustrato es metálico el fenómeno de ampollamiento es más complejo a causa del proceso electroquímico de corrosión del sustrato. En la Figura 1.4,

se presenta el proceso de ampollamiento en un recubrimiento, por la presencia de contaminantes solubles en la interfase sustrato-pintura.



**Figura 1.4.** Ampollamiento de un recubrimiento promovido por la existencia de contaminantes soluble en la interfase sustrato/pintura. (Morcillo, 2002)

- Si la pintura va a estar expuesta a la intemperie debe tener en su formulación un pigmento activo, para que posea poder cubritivo y resistencia a la radiación ultravioleta.

Es muy importante, además, la correcta elección del aglutinante o ligante, ya que provee la resistencia química de la película, la resistencia será de acuerdo con el medio de exposición (alta resistencia a la intemperie o al ambiente marino).

La pintura también debe ser soluble en un solvente o mezcla de solventes que permita la obtención de películas continuas, con espesor apropiado, tiempos

cortos de secado y mínima retención de solventes (cantidad de solvente evaporado). CPVC es la relación geométrica entre el pigmento y el ligante, es muy importante que el CPVC sea óptimo, pues esta relación determinará las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de la película.

Los parámetros principales considerados, para la formulación son:

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

(Morcillo, 2002 y Caprari, 2003).

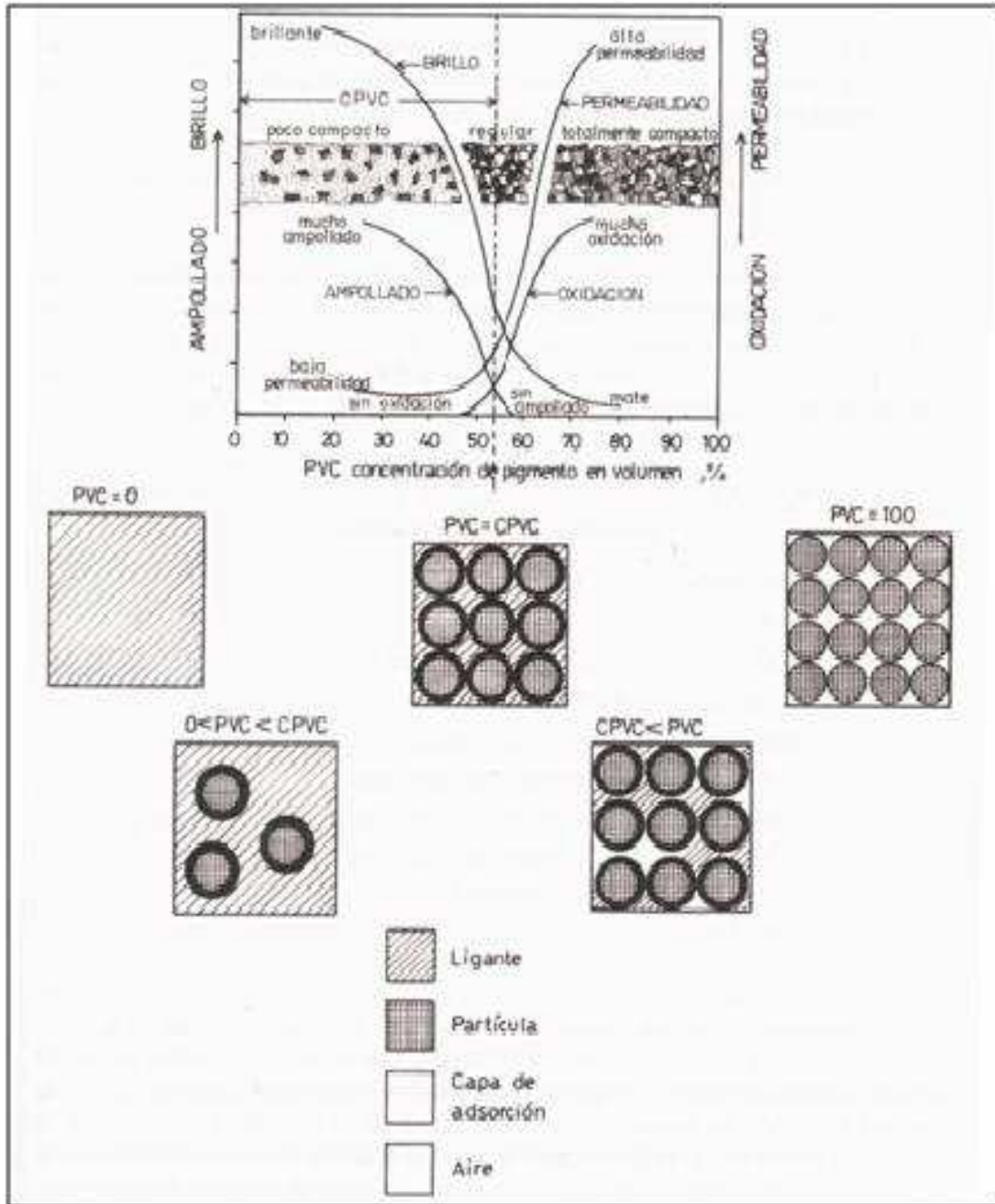
#### **1.1.3.1. Concentración de pigmento en Volumen (PVC)**

El PVC es la relación entre el volumen de pigmento ( $V_p$ ) y el volumen de sólidos totales que posee la película de pintura seca ( $V_r$ ), sin considerar los pigmentos. (Hare, 1994)

—

[1.1]

En la Figura 1.5, se muestra la influencia de la concentración del pigmento en las propiedades de una pintura.



**Figura 1.5.** Concentración crítica de pigmento en volumen real y separación entre partículas para diversas PVC. (Caprari, 2003)

#### 1.1.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE PINTADO

La protección de estructuras mediante revestimientos poliméricos será duradera si además de la calidad de la pintura se consideran tres factores muy importantes: el



método de preparación y pre tratamiento del sustrato, la adecuada elección del esquema de pintado y la forma de aplicación de la pintura.

La superficie del metal donde se aplicará la pintura debe recibir un tratamiento, por dos razones principales:

- Para eliminar materia no deseada como polvo, grasa, productos de corrosión, productos salinos.

Para proporcionar a la superficie metálica cierta rugosidad que incremente la superficie de contacto metal/pintura y de esta manera, mejorar la adherencia de la pintura sobre el metal. Esta última es, en el sistema, la propiedad de mayor importancia, hasta el punto que si es débil se anularían completamente las propiedades protectoras del recubrimiento. (Forsgren, 2006 y Morcillo, 2002).

#### **1.1.5. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PINTURA**

Las formas de aplicación de una pintura son muy variadas, desde brocha, rodillo, pistola con aire comprimido, pistola electrostática o por inmersión. La técnica utilizada dependerá del contenido de sólidos de la pintura. El método de aplicación definirá varias características del revestimiento formado, como por ejemplo la igualdad del espesor. (Palacios, 2006)

El período de aplicación de la pintura y de exposición de las mismas, influyen notablemente en la duración de la pintura, existen pinturas que alcanzan su capacidad protectora, después de varios días de ser aplicadas sobre el sustrato, razón por la cual los primeros días de aplicación son muy importantes en la duración de la pintura. (Negele O. y Funke W, 1996).

### **1.1.5.1. Aplicación Manual**

La aplicación manual es empleada generalmente con pinturas decorativas en construcción civil. Se realiza mediante el uso de brocha, rodillo, espátula, etc.

Son métodos de bajo costo porque no se necesitan equipos muy sofisticados, pero existe la presencia de posibles imperfecciones en la superficie debido a la poca uniformidad, al desprendimiento de cerdas y excesivo gasto de pintura.

### **1.1.5.2. Métodos de Proyección**

Este método de aplicación se la hace mediante la pulverización de la pintura por medio de aire proveniente de un compresor. Esta técnica permite terminado uniforme, con tiempos cortos de aplicación y desperdicio mínimo de pintura.

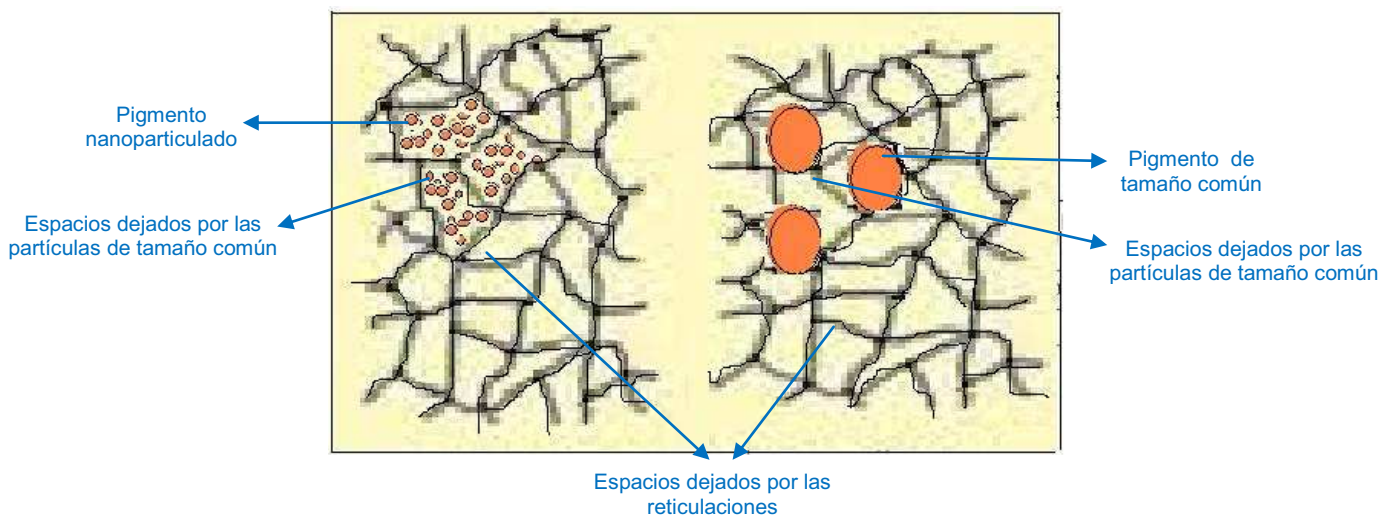
El costo de esta práctica es mayor que las anteriores ya que se precisan un compresor de aire, filtros, pistola y una instalación acondicionada. Además se utiliza gran cantidad de solventes para tener una viscosidad adecuada en la pintura antes de la aplicación.

### **1.1.5.3. Métodos de Inmersión**

El método de inmersión es de bajo costo, debido a que no se necesitan equipos especiales. Al ser sumergido el sustrato en un recipiente lleno de pintura, es capaz de cubrir las zonas de difícil acceso (zonas a las que no se puede llegar con los otros métodos). Las desventajas de usar este procedimiento radican, primero en la no uniformidad de la capa de revestimiento y en segundo lugar el gasto excesivo de pintura. (Palacios, 2006 y Morcillo, 2002).

### 1.1.6. PROTECCIÓN ANTICORROSIVA CON PIGMENTOS NANOPARTICULADOS

El uso de pigmentos de tamaño comercial (del orden de micras) es muy común para mejorar la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas de las pinturas; sin embargo, el uso de estos pigmentos está asociado con varias falencias que poseen los revestimientos, como son: la pobre adhesión, reducción de la flexibilidad de la pintura, pérdida de la resistencia al impacto y de la transparencia óptica, inferior abrasión y resistencia al rayado, fácil delaminación e incremento de la viscosidad de las pinturas. Actualmente nuevos sistemas de pintura, con mejor desempeño y protección anticorrosiva se desarrollan utilizando en su formulación nanomateriales. Gracias al pequeño tamaño de las nanopartículas se ha logrado mejorar las propiedades de los recubrimientos. (Dhoke y Khanna, 2009)



**Figura 1.6.** Espacio ocupado por los pigmentos nanoparticulados y los pigmentos de tamaño común dentro de las reticulaciones de la resina

Como se observa en la Figura 1.6, las nanopartículas ocupan de mejor manera los espacios que dejan vacías las reticulaciones, dificultando el ingreso de los parámetros atmosféricos; mientras que los pigmentos de tamaño común dejan espacios mayores que facilitarían el ingreso de los fenómenos que producen la corrosión. (Caprari, 2003)

Es por la razón anteriormente mencionada que las partículas nanométricas proveen protección ambiental porque poseen excelente decoración, resistencia a la contaminación, desempeño antimicrobiano y tenacidad a los cambios climáticos. Las nanopartículas son usadas en pinturas especiales y han incrementado su importancia en muchas aplicaciones. Cuando nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  son utilizadas en la formulación de una pintura, las propiedades mecánicas, reológicas, anticorrosivas, de resistencia, etc; mejoran visiblemente. El principal problema para el uso extensivo de pinturas con compuestos nanométricos es la dispersión estable de las nanopartículas por su alta actividad superficial. Esta dificultad ha sido superada por una aplicación química previa o un tratamiento electroquímico en las nanopartículas. (Zhang *et al.*, 2007)

#### **1.1.6.1. Pigmentos analizados**

##### *1.1.6.1.1. Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ )*

El dióxido de titanio tiene gran poder cubritivo, provee color blanco a las pinturas y alta inercia química, esta última, se atribuye a la alta estabilidad del enlace Ti–O. Por estas razones se considera que el  $\text{TiO}_2$  es el mejor pigmento químico conocido.

Como se mencionó en el subcapítulo 1.1.1.2, literal c, el dióxido de titanio es un pigmento opaco. Dentro de los pigmentos opacos, existen dos variedades de  $\text{TiO}_2$ ; ambos cristalizan en el sistema cúbico pero se diferencian en el volumen de sus células unitarias: 134,5 Å cúbicos para la anatasa y 61,92 Å cúbicos para el rutilo, por lo que rutilo tiene una estructura más compacta y por ende un peso específico mayor. La diferencia entre los índices de refracción del rutilo ( $n=2,77$ ) y la anatasa ( $n=2,55$ ), provoca que el rutilo tenga una actividad fotoquímica superior y un poder cubriente un 30% mayor que la anatasa, lo cual se ve reflejado en la

resistencia al entizado.

El poder cubriente es más efectivo cuando al pigmento se le confiere un tamaño adecuado de partícula y una distribución óptima del tamaño de las mismas; pues define la intensidad de reflectancia de la luz y con ello su blancura; para el  $\text{TiO}_2$  el tamaño óptimo está entre 0,2 y 0,3  $\mu\text{m}$ .

El poder cubriente del  $\text{TiO}_2$  incrementa con la diferencia entre los índices de refracción de los componentes, esto se produce si el diámetro del pigmento es óptimo. (Caprari, 2003 y Schweigger 2005)

#### *1.1.6.1.2. Dióxido de titanio nanoparticulado*

El dióxido de titanio nanoparticulado es uno de los pigmentos opacificantes más utilizados actualmente, debido a las buenas propiedades que éste presenta. Se han realizado varios análisis del  $\text{TiO}_2$ , como por ejemplo un estudio de su actividad fotocatalítica, para mejorar la durabilidad de sustratos orgánicos (polímeros y pinturas) que contengan este pigmento. En los últimos años se ha estado investigando el uso del dióxido de titanio nanoparticulado y se ha determinado que mientras más finas sean las partículas se va a lograr una mejor dispersión de la luz ultravioleta bajo los 400 nm, y si estas tienen un tamaño entre 2 y 50 nm la luz visible puede ser transmitida y el sistema será traslúcido. (Norman *et al*, 2004)

Norman, en su investigación, preparó revestimientos con una resina alquídica. Las formulaciones contenían, 18% de PVC, de 2 a 5% de alúmina o sílica gel, diferentes tamaños de  $\text{TiO}_2$  de clase anatasa o rutilo, o una mezcla de anatasa-rutilo. Además, empleo diferentes tratamientos de preparación del sustrato.

Norman, obtuvo los siguientes resultados:

- El  $\text{TiO}_2$  nano anatasa o rutilo es más fotoactivo que el  $\text{TiO}_2$  de tamaño común.

- Las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  poseen mayor actividad foto oxidativa que las partículas de tamaño común.
- El  $\text{TiO}_2$  rutilo es más efectivo que el anatase.
- Usar un tamaño de partícula menor le provee mayor estabilidad al color de la pintura.
- El uso de nano anatasa conjuntamente con rutilo de tamaño común, mejora la limpieza de la superficie de la pintura.
- Las nanopartículas proveen mayor protección antibacterial que las partículas de tamaño común. (Norman *et al*, 2004)

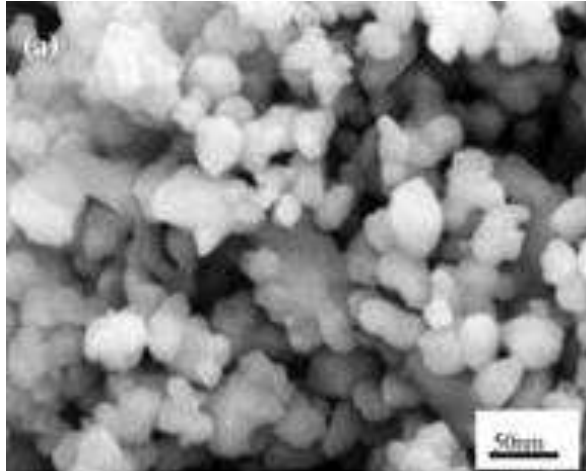
Radhakrishnan, en su investigación demostró que el dióxido de titanio nanoparticulado provee mejores propiedades que el dióxido de titanio micronizado, incluso cuando se encuentra en concentraciones más bajas. Para este análisis se utilizaron diferentes concentraciones de  $\text{TiO}_2$  nano, obteniéndose los mejores resultados cuando la concentración del  $\text{TiO}_2$  fue 4,18%. (Radhakrishnan *et al*, 2007)

Estas investigaciones han indicado que las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , influyen significativamente de diferentes maneras en las características de funcionamiento de la pintura. Además, el  $\text{TiO}_2$  ultra fino, cuando se aplica correctamente es capaz de proporcionarle a la pintura:

- Una protección UV constante al sustrato
- Capacidad de auto limpieza
- Actividad antibacterial
- Mejor dispersión
- Incremento en la barrera de difusión
- Protección contra la corrosión en ambientes agresivos

(Norman *et al*, 2004 y Radhakrishnan *et al*, 2007)

En la Figura 1.7, se presenta una foto microscópica del dióxido de titanio nanoparticulado.



**Figura 1.7.** Foto microscópica del dióxido de titanio nanoparticulado (Nanotecnología, 2006)

#### *1.1.6.1.3. Óxido de zinc nanoparticulado*

Las nanopartículas de óxido de zinc están siendo utilizadas como pigmento en pinturas por la efectiva protección solar que éstas han demostrado, por las propiedades físicas y poco reactivas que presentan.

El uso de nanopartículas de óxido de zinc, además de absorber una amplia gama de la radiación UV, evitan la indeseable pérdida del blanqueamiento, si son usados en cantidades adecuadas. (Katangur, 2006)

#### *1.1.6.1.4. Hidrosulfito de Zinc*

El hidrosulfito de zinc, es una sustancia versátil, que actúa como agente reductor. Al descomponerse en agua, deja libre al zinc que se pega a la superficie del acero y crea una película de zinc con alta conductividad eléctrica capaz de sacrificarse anódicamente para proteger al sustrato. (Quiminet, 2006)

#### 1.1.6.1.5. Fosfato de Zinc

El fosfato de zinc, por más de dos décadas ha sido utilizado en la industria de pinturas por su baja toxicidad.

Se caracteriza por tener acción inhibidora, que podría paulatinamente fosfatar la superficie del acero al carbono, transformándola en pasiva gracias a la formación de hidróxido de zinc y a liberación de iones fosfato que reaccionan con el agua de la lluvia formando ácido fosfórico, cuando este producto reacciona con el acero forma una capa mixta de fosfato de hierro y zinc, de solubilidad muy baja e igual a  $3,0 \times 10^{-17}$ . La acción inhibidora del zinc puede ser el resultado de de la formación de jabones de zinc. (Amirudin, et al, 1994; Buxbaum y Pfaff, 2005).

### 1.1.7. DEGRADACIÓN DE LAS PINTURAS

La degradación de las pinturas es causada por factores medioambientales que se detallan en el siguiente subcapítulo.

Con la degradación, ya sea de cualquier tipo, la matriz polimérica de la pintura sufre daños y esto se ve evidenciado en fallos y defectos en la película. El fallo de una pintura, se define como su deterioro prematuro, con reducción notable de de sus propiedades protectivas. (Morcillo, et al, 1998)

#### 1.1.7.1. Durabilidad de los sistemas de pintura

Un revestimiento polimérico tiene dos funciones principales: proteger y decorar. Dichas funciones se ven afectadas durante el tiempo de su exposición a un ambiente determinado.



La eficacia de la pintura está directamente relacionada con el tiempo de duración de la misma, pero éste a su vez dependerá de diversos factores mencionados a continuación:

a. Naturaleza y composición del revestimiento

La formulación de una pintura es fundamental para resistir un medio agresivo. La causa principal de la degradación es producto de la ruptura química de la matriz orgánica de la pintura, debido a la acción conjunta de radiación solar, el oxígeno, la humedad y los contaminantes.

Este tipo de degradación depende de la absorción de radiación del ligante, que es propia de la estructura de cada polímero, del uso de aditivos y de la pigmentación. Existen pigmentos capaces de reducir las reacciones de oxidación foto catalítica ya que pueden absorber ciertos tipos de radiación.

b. Naturaleza y preparación del sustrato

La preparación de la superficie dependerá del tipo de pintura a utilizarse y, como se mencionó anteriormente, este paso es fundamental para evitar el deterioro de la pintura. Se ha determinado que alrededor del 70% de las fallas que se producen en los revestimientos se producen por la mala práctica para la preparación del sustrato. (Morcillo, *et al* 2002)

c. Espesor del recubrimiento

El espesor del recubrimiento influye en la barrera físico-química que protegerá al sustrato metálico. Mientras mayor sea el espesor mayor será la protección proporcionada; pero un espesor exagerado podría causar problemas de adherencia.

Mediante una serie de experimentos se ha concluido que existe una relación aproximadamente lineal entre el espesor y la duración del revestimiento polimérico. (Felius S, 1982)

Un aumento en el espesor también podría ser el causante de esfuerzos internos, especialmente en revestimientos poliméricos reticulables. Por estas razones, se debe diseñar correctamente un sistema de aplicación de la pintura, donde las primeras capas de imprimación sean delgadas y posean buena adherencia al sustrato y las capas subsiguientes, ya sean intermedias o de acabado, sean de espesores mayores.

#### **1.1.8. FALLOS PRODUCIDOS EN LAS PINTURAS**

Los fallos o defectos en las pinturas son el resultado del deterioro de los revestimientos poliméricos después de la exposición, los más comunes son:

##### **1.1.8.1. Ampollamiento**

Es la formación de ampollas en el revestimiento, estas pueden ser de diferente tamaño y frecuencia. El ampollamiento es el resultado de un efecto osmótico producido por:

- Limpieza inadecuada del sustrato, especialmente por la presencia de sales solubles, grasa, óxidos o humedad antes de la aplicación de la pintura
- Retención de solventes entre las capas de pintura
- Presencia de pigmentos solubles o poco solubles en agua en las capas de fondo de la pintura.
- Desprendimiento de hidrógeno, que ocurre si el sustrato tiene protección catódica y que éste al tratar de salir producirá el ampollamiento.

#### **1.1.8.2. Delaminación**

Este problema es provocado por la falta de adherencia de la pintura al sustrato; puede presentarse, ya sea, directamente al sustrato, entre las capas de la pintura o en la misma capa de pintura, y resulta de la mala preparación del sustrato, por la presencia de contaminantes entre las capas de pintura o un espesor muy alto.

#### **1.1.8.3. Corrosión**

Es la aparición de productos de corrosión en la pintura y puede deberse al uso de una pintura en un medio equivocado, o a mala preparación de la superficie del sustrato, a la falta de afinidad de la pintura con las condiciones de operación, aplicación defectuosa de la pintura, a la mala calidad de la pintura.

#### **1.1.8.4. Fisuras**

Las fisuras aparecen por la aplicación de pinturas incompatibles entre sí, por la disminución de la flexibilidad de la pintura por acción del medio (contaminantes, humedad, radiación UV), espesor elevado.

(Morcillo, *et al*, 1998)

#### **1.1.8.5. Tisaje**

El tisaje se manifiesta con la aparición de polvo blanco sobre la superficie de la pintura, que resulta por la acción de los rayos UV sobre los pigmentos libres de la pintura.

#### **1.1.8.6. Alteración del color**

Este tipo de deterioro se produce por el uso de resinas con baja resistencia al medio ambiente, especialmente a los rayos UV y al uso de pigmentos de pobre resistencia química.

(Morcillo, *et al*, 1998)

#### **1.1.8.7. Pérdida de brillo**

Se manifiesta con la adopción de un color mate por parte de una pintura que tenía brillo inicialmente, a causa del uso de resinas o pigmentos con poca resistencia a los rayos UV o a los factores ambientales. (Morcillo, *et al*, 1998)

### **1.1.9. DEGRADACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS POLIMÉRICOS**

La degradación se refiere al deterioro en la funcionalidad del revestimiento, por cambios en las propiedades, debido a la ruptura de los enlaces de la cadena principal de la macromolécula polimérica o de sus cadenas laterales.

La degradación puede ser de tipo:

- Térmica, se produce cuando el polímero está sometido a temperaturas elevadas.
- Química, por la presencia de sustancias químicas, sean éstas ácidos, bases, solventes, gases, etc.
- Biológica, se lleva a cabo por la presencia de microorganismos capaces de

producir enzimas que reaccionen con el polímero.

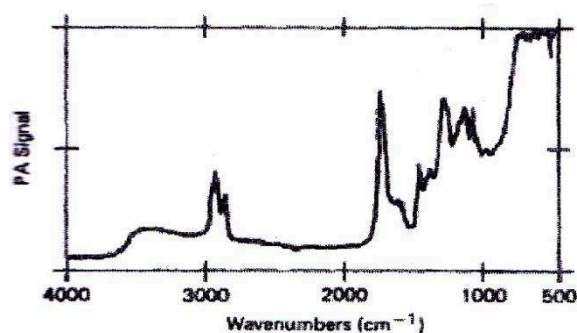
- Mecánica, se refiere a la acción de esfuerzos mecánicos, que podrían romper la cadena polimérica.
- Foto degradación, es el producto de cambios físicos y químicos producidos por la radiación UV y visible sobre los polímeros.

(Schnabel W., 1992)

### 1.1.9.1. Degradación de Resinas Alquídicas

Para determinar cuál es el deterioro que ha sufrido una resina alquídica se suele utilizar la técnica de espectroscopía de infrarrojos, que permite caracterizarla adecuadamente y registrar los cambios que ésta ha sufrido después de ser sometida a pruebas sean de campo o de laboratorio una resina alquídica, así como los cambios que esta ha sufrido después de ser sometida a diferentes pruebas de campo o de laboratorio.

En la Figura 1.8 se muestra el espectro de la resina antes de realizar la exposición a los ensayos.



**Figura 1.8.** Espectro de una resina alquídica virgen. (Hodson y Lander, 1987)

Inicialmente se debe analizar el espectro de la resina no expuesta. Posteriormente, se examinará el espectro de la resina sometida a ensayos de envejecimiento, y se determinarán los cambios que ha sufrido la resina virgen

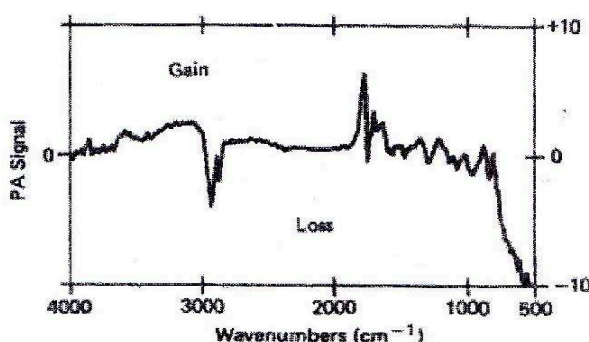
después de la exposición, esto se muestra en la Figura 1.9.

Hodson y Lander, estudiaron el comportamiento de pinturas alquídicas con diferentes pigmentos blancos en ensayos acelerados; los ensayos fueron realizados en un equipo QUV Weatherometer, con un ciclo de cuatro horas de luz UVA a 60°C y otro de cuatro horas de condensación a 40°C, con distintos tiempos de exposición, superiores a 24 horas.

Los resultados analizados por espectroscopía de infrarrojos (FTi.r/PAS) mostraron cambios en las bandas de absorción infrarroja (Figura 1.9), a causa de la destrucción y generación de algunos grupos químicos durante el proceso de envejecimiento, estos son:

- Pérdida de material alifático por la disminución en las bandas de  $\text{CH}_3$  y  $\text{CH}_2$ , en  $2855\text{ cm}^{-1}$  y  $2930\text{ cm}^{-1}$ , respectivamente. Esto resulta de las reacciones de ruptura en la cadena de la resina.
- Pequeños incrementos en las bandas de  $3500\text{ cm}^{-1}$  y  $3000\text{ cm}^{-1}$ , debido a la generación de especies que contienen grupos  $\text{COOH}^-$  y  $\text{OH}^-$ .
- Pérdida del grupo carbonilo del éster y formación de nuevas especies con grupos carbonilo.
- Pérdida del dióxido de titanio, mostrado en las bandas de  $500\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ .
- Nuevas bandas de absorción, cercanas a  $1775\text{ cm}^{-1}$ , atribuidas a la formación de peróxidos ácidos, ácidos percarboxílicos o anhídridos.

(Hodson y Lander, 1987)

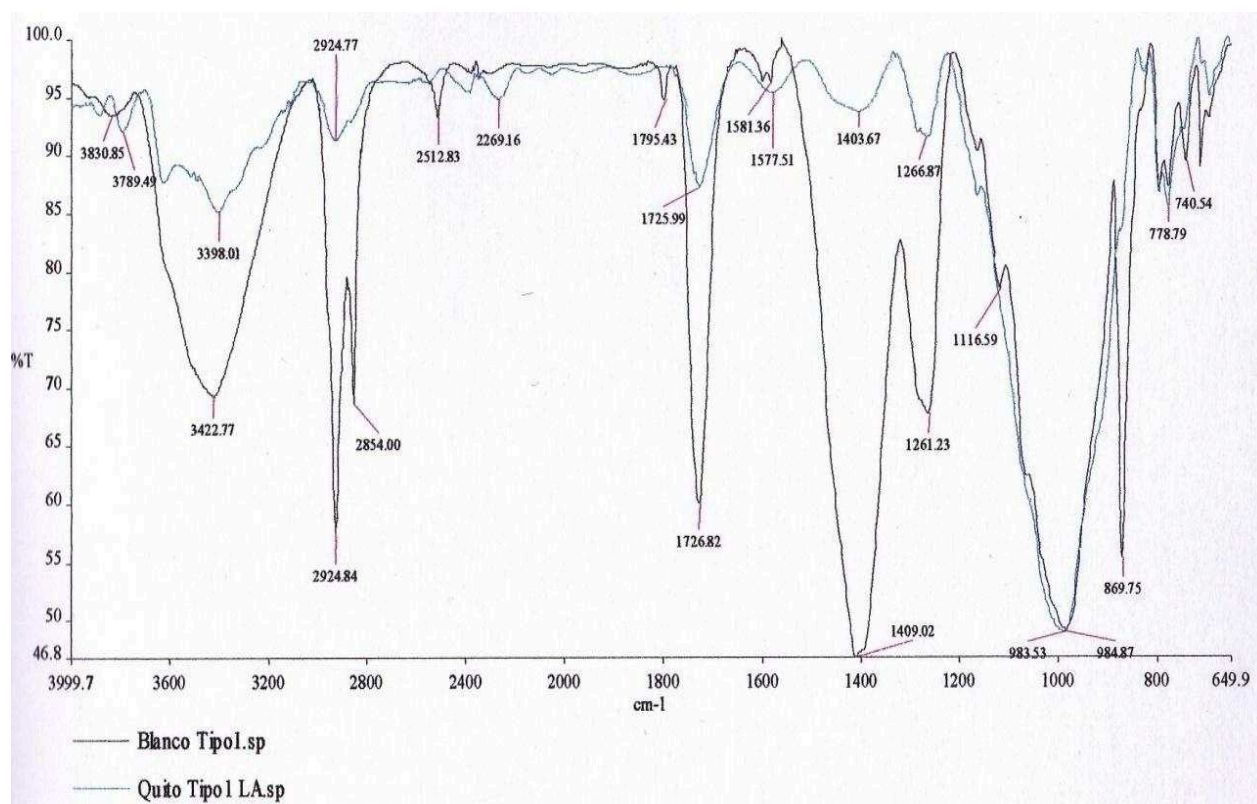


**Figura 1.9.** Espectro de una resina alquídica envejecida. (Hodson y Lander, 1987)

Ribadeneira, en el estudio de dos sistemas de pintura obtiene los siguientes resultados:

- Pérdida o incremento de material alifático por la disminución en las bandas de  $\text{CH}_3$  y  $\text{CH}_2$ , cercanas a  $2854 \text{ cm}^{-1}$  y  $2925 \text{ cm}^{-1}$ , respectivamente.
- Disminución o aumento en las bandas del grupo  $\text{OH}^-$ , localizadas alrededor de  $3400 \text{ cm}^{-1}$ , debido a la alta radiación UV o al incremento de la humedad relativa, respectivamente.
- Pérdida o ganancia del grupo carbonilo del éster (alrededor de  $1700 \text{ cm}^{-1}$ ) por la ruptura de dobles enlaces carbono-oxígeno, o formación de nuevos grupos carbonilo por la hidrólisis y oxidación de la resina.
- Disminución en la intensidad de la banda del carbonato de calcio ( $1400$  y  $870 \text{ cm}^{-1}$ ), por la migración del pigmento. (Ribadeneira, 2009)

En la Figura 1.10, se observa el cambio de una de las resinas estudiadas por Ribadeneira.



**Figura 1.10.** Espectro de una resina alquídica virgen y una resina expuesta durante 6 meses a la atmósfera de la ciudad de Quito. (Ribadeneira, 2009)

## 1.2. CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

La corrosión es un fenómeno destructivo que tiene un alto costo económico y social; la corrosión representa pérdidas entre el 3 y 6% del producto interno bruto de un país, dependiendo de su nivel de desarrollo. La corrosión atmosférica es responsable del 50% de estas pérdidas económicas. (Almeida, 2005)

En presencia de una fina capa de electrolito, la corrosión atmosférica procede por un balance de reacciones anódicas y catódicas. La reacción de oxidación anódica involucra la disolución del metal, mientras que la reacción catódica es generalmente producida por la reacción de reducción del oxígeno para formar el grupo oxidrilo. Para el hierro, se cumplen las siguientes reacciones:

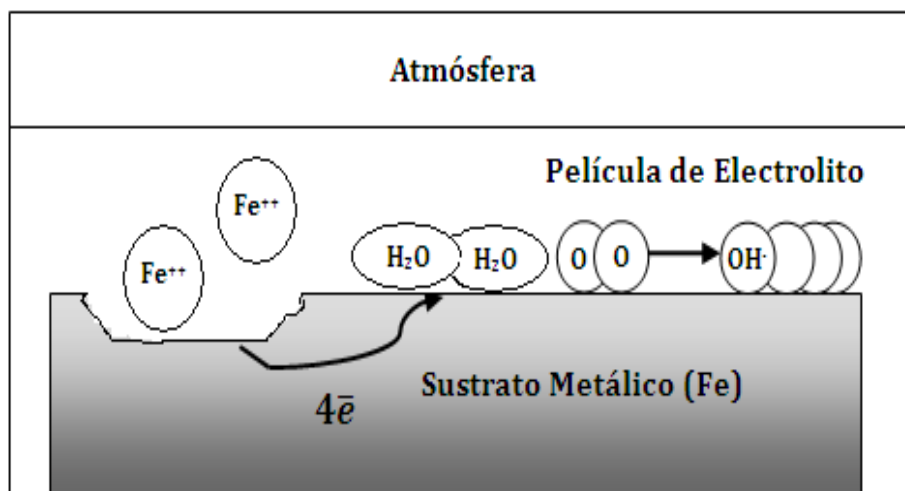
- Reacción Anódica

[1.2]

- Reacción Catódica

[1.3]

El proceso corrosivo del hierro, se muestra en la Figura 1.11:



**Figura 1.11.** Corrosión atmosférica del hierro (Handbook, 2000)



La corrosión ambiental es un proceso muy complejo debido a que es muy complicado determinar con precisión la relación entre los factores climáticos, la ubicación geográfica y los cambios que se presentan en las pinturas. (Negele O. y Funke W., 1996)

## **1.2.1. PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS QUE PROVOCAN LA CORROSIÓN**

### **1.2.1.1. Humedad Relativa**

La humedad relativa (HR) es la cantidad de vapor de agua contenida en una masa de aire, relacionada con la máxima cantidad que podría admitir sin producirse condensación, a las mismas condiciones de presión y temperatura. (Aldas y Valle, 2007)

La humedad relativa ejerce un papel muy importante en la corrosión atmosférica, la degradación del hierro y otros metales, es despreciable a valores entre 60-80%; pero si excede este nivel y la atmósfera está contaminada, la velocidad de corrosión se vuelve realmente importante. (Rivero, 2007)

### **1.2.1.2. Tiempo de Humectación**

Es el tiempo en que el electrolito está en contacto con la superficie del sustrato, este parámetro depende de la humedad relativa y determina la duración del proceso electroquímico de corrosión. El tiempo de humectación además, se define como el tiempo en el cual la temperatura esta sobre 0 °C y la humedad relativa es mayor o igual que 80%. (Leygraf, 2000)

### **1.2.1.3. Temperatura**

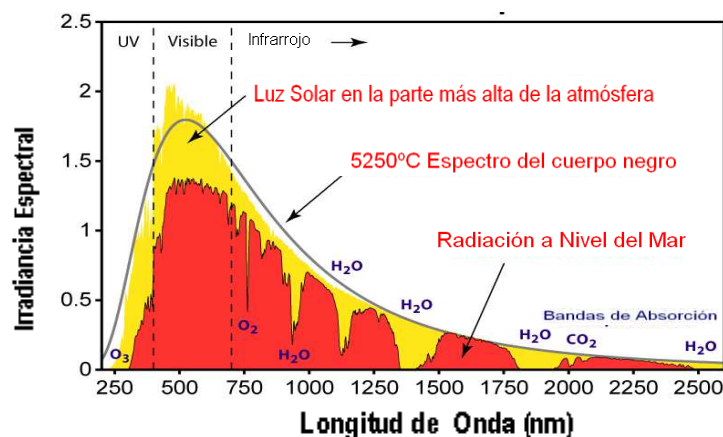
La temperatura del aire tiene gran influencia en la corrosión atmosférica, un aumento de la temperatura acelera los procesos de difusión y la velocidad de las reacciones químicas y electroquímicas.

Bajo condiciones de humectación variable, la velocidad de corrosión aumenta con la temperatura hasta un valor máximo y, posteriormente, decrece. Si la atmósfera posee un nivel permanente de humedad, un incremento de la temperatura podría acrecentar la corrosión como es el caso de las precipitaciones. Sin embargo, al aumentar la temperatura generalmente disminuye la humedad relativa del ambiente, permitiendo una evaporación más rápida de la capa de electrolito y una disminución del proceso corrosivo porque el tiempo de humectación de la superficie metálica, la solubilidad de los gases en la película de humedad y, por tanto, el contenido de oxígeno disuelto, disminuyen. El rango de temperatura que más afecta al material en presencia de humedad está entre -5 y 25 °C pero, a temperatura ambiente con una atmósfera seca, la corrosión se puede ignorar debido a que la velocidad de éste fenómeno es infinitesimal y a temperaturas menores al punto de congelación del electrolito (bajo -5°C) el agua se presenta, en estado sólido, y no produce daños al sustrato ya que no puede conducir electricidad. (Rivero, 2007)

### **1.2.1.4. Luz Solar**

La radiación solar varía en la distribución en el espectro energético y en intensidad, de acuerdo con la estación del año, la localización y la contaminación atmosférica del ambiente. La radiación electromagnética emitida por el sol se divide en tres zonas: luz ultravioleta, luz visible y luz infrarroja. La región ultravioleta es comúnmente la responsable del deterioro de materiales expuestos al ambiente, debido a que esta región posee alta energía de fotones por la baja longitud de onda que la caracteriza. Esta energía, al ser absorbida por el material

provoca rompimiento de los enlaces químicos; mientras mayor sea la energía de los fotones, mayor será el daño causado sobre el material. El fenómeno de rompimiento de enlaces químicos se conoce como foto-degradación y causa el deterioro físico del material. (Jacques, 2000; Hicks y Crewdson, 1995)



**Figura 1.12.** Gráfica Irradiación Espectral de la luz solar vs Longitud de Onda (Lund, H. *et al* 2008)

El espectro UV, a su vez, está dividido en tres zonas, mostradas en la Tabla 1.5:

**Tabla 1.5.** Clasificación de la región UV según la longitud de onda

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

↑  
Incremento de energía

\*Hicks y Crewdson, 1995

La zona UV-C, se puede encontrar únicamente en el espacio exterior porque se filtra en la atmósfera terrestre, mientras que la UV-A y UV-B, están en la tierra y son las causantes de la foto-degradación; pero la UV-B es la que mayor daño causa a la estructura de materiales poliméricos. (Jacques, 2000; Hicks y Crewdson, 1995)

La degradación UV provoca amarillamiento, y disminuye el peso de la pintura, la adhesión y el brillo; produce también cuarteamiento de la pintura. (Hare, 2001)

## **1.2.2. COMBINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS**

Una mezcla de los parámetros atmosféricos, produce una alta incidencia en la duración de los materiales. Existen casos en los que los parámetros no son destructivos por si solos, por ejemplo, el agua en ocasiones no produce daños estando sola, pero si se mezcla con oxígeno y está en contacto con el material produce la oxidación del mismo.

### **1.2.2.1. Radiación y Agua**

La radiación y agua, dos componentes del clima, tienden a operar en tiempos diferentes. Sin embargo, los materiales pueden ser irradiados después de haber sido mojados por la lluvia o cuando existe alto contenido de humedad en la noche; en este caso, el agua acelera el efecto de la radiación y viceversa.

Esto también ocurre cuando la radiación produce un incremento de la temperatura del material hasta el punto donde la hidrólisis empieza. Ciertos plastificantes y pinturas, si son solubles en agua, podrían delaminarse a altas temperatura. (Massey, 2000)

### **1.2.2.2. Radiación y Oxígeno**

La unión de estos dos parámetros produce la denominada foto oxidación; los materiales en presencia de oxígeno son degradados más fácilmente en presencia de radiación que en ausencia de esta. Por ejemplo, la decoloración de poliestireno se produce más rápidamente cuando la radiación tiene lugar en presencia de aire u oxígeno. En polímeros saturados, a temperatura ambiente, el ataque del oxígeno es mínimo si no existe radiación UV. (Massey, 2000)

### 1.2.3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La composición de la capa de electrolito que se encuentra sobre la superficie metálica depende de la contaminación de la atmósfera de exposición. La contaminación atmosférica es la presencia de cualquier agente (físico, químico o biológico) en el aire, estos pueden ser gaseosos, sólidos o la combinación de los dos. En cantidad y tiempos determinados, pueden causar daños a la salud de los seres vivos, el deterioro del paisaje y de los bienes de uso.

Los contaminantes atmosféricos más comunes son: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, cloruros, dióxido de azufre y material particulado.

(Aldás y Valle, 2007)

#### 1.2.3.1. Dióxido de Azufre

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) resulta naturalmente de la actividad volcánica, pero generalmente se encuentra en las atmósferas que están impurificadas por humos industriales y residenciales. Se origina al quemar combustibles que contienen azufre. El  $\text{SO}_2$  al oxidarse en la atmósfera (Ecuación 1.4), se transforma en ácido sulfúrico que al mezclarse con el agua de la lluvia, provoca la lluvia ácida.

Este producto al tener contacto con el metal origina la corrosión. (Rivera, 2007, Leygraf y Graedel, 2000)

[1.4]

### 1.2.3.2. Óxidos de Nitrógeno

Los compuestos del nitrógeno en forma de  $\text{NO}_x$ , tienden a acelerar el ataque atmosférico. En la atmósfera existen alrededor de veinte compuestos inorgánicos del nitrógeno que se originan de varias formas (combustión a alta temperatura, incendios forestales, plantas industriales, centrales térmicas, motores de combustión interna, etc), siendo los comúnmente más encontrados el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ).

Los dos últimos no provocan directamente el deterioro de materiales pero, si reaccionan con radicales oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ) pueden producir ácido nítrico que es el causante de la corrosión de algunos metales. Actualmente la emisión de  $\text{NO}_x$ , en la mayoría de procesos de combustión, ha aumentado en relación a los niveles  $\text{SO}_2$ ; sin embargo, la deposición de los compuestos de nitrógeno es menor que la de los compuestos del  $\text{SO}_2$ .

### 1.2.3.3. Ozono

Los efectos del ozono ( $\text{O}_3$ ) han sido descuidados en la investigación de la corrosión atmosférica. Se ha reportado que la presencia de ozono en la atmósfera produce el incremento de la velocidad de deposición del  $\text{SO}_2$ .

### 1.2.3.4. Dióxido de Carbono

Este compuesto es mínimamente corrosivo debido a que al mezclarse con el agua forma el  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (ácido carbónico), que se caracteriza por ser un ácido muy débil.

(Lawson, 1995)

#### **1.2.3.5. Cloruros**

Los cloruros se encuentran generalmente en zonas cercanas a la costa, ya que son el resultado de la evaporación de agua de mar. En cantidades menores se pueden producir por la actividad volcánica o la actividad industrial.

Si la superficie está humedecida y se depositan partículas salinas en el metal aceleran la corrosión del mismo, gracias a la aparición de productos solubles en agua que aumentan la conductividad de la película de electrolito.

La salinidad en el ambiente depende de la actividad del mar, dirección y velocidad de los vientos dominantes, distancia a la costa, topografía de la zona, altitud, densidad rocosa costera, morfología de las olas, temperatura del agua de mar, etc. En sitios de alta contaminación salina la corrosión es función lineal del tiempo. (Lawson, 1995)

#### **1.2.3.6. Material Particulado**

La polinización de plantas, combustión de madera y carbón, el viento y las modernas prácticas empleadas por el hombre en el suelo, producen el material particulado. Éste influye en la visibilidad y la velocidad de corrosión de los materiales debido al poder abrasivo que les caracteriza.

Los problemas de material particulado son agravados por temperaturas elevadas, radiación ultravioleta y por humedades relativas bajo el 30%. (Davis y Sims, 1986; Rabek, 1995)

Se ha demostrado que los cloruros (NaCl) y el SO<sub>2</sub> son los principales contaminantes corrosivos, mientras mayor sea la contaminación atmosférica con

estos productos, mayor será la velocidad de corrosión. (Matas, 2003; Genescá y Ávila, 1990)

#### **1.2.4. TIPOS DE ATMÓSFERAS Y AMBIENTES**

La severidad de la corrosión atmosférica varía significativamente de acuerdo con el ambiente de exposición; éste puede ser: rural, urbano, industrial, marino o combinaciones de éstos.

##### **1.2.4.1. Rural**

Este ambiente generalmente no contiene contaminantes químicos y es el menos corrosivo. Los principales compuestos corrosivos de la zona rural son la niebla, el oxígeno y el dióxido de carbono. Un ambiente de este tipo se presenta en la Figura 1.13.



**Figura 1.13.** Ambiente Rural



### 1.2.4.2. Urbano

Esta atmósfera es similar a la anterior por la baja actividad industrial, pero se pueden encontrar otros contaminantes como el  $\text{SO}_x$  y el  $\text{NO}_x$ , que son resultado de las emisiones gaseosas del motor de automóviles y de algunos artefactos domésticos. (Figura 1.14)



**Figura 1.14.** Ambiente urbano de la ciudad de Quito

### 1.2.4.3. Industrial

Estas atmósferas están asociadas con instalaciones pesadas de procesamiento industrial, y pueden contener concentraciones de dióxido de azufre, cloruros, fosfatos y nitratos. (Figura 1.15)



**Figura 1.15.** Ambiente industrial de la ciudad de Quito

#### **1.2.4.4. Marina**

El ambiente marino se caracteriza por la presencia de pequeñas partículas de cloruros. Esta atmósfera es altamente corrosiva y, como se mencionó anteriormente, la corrosividad es significativa dependiendo de la dirección y velocidad del viento y de la distancia a la costa. (Morcillo, 2002)

### **1.3. ENSAYOS DE DEGRADACIÓN ACELERADA EN LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

El propósito de un ensayo de corrosión acelerada es simular en el laboratorio el comportamiento de un producto frente a la corrosión en campo.

Durante varios años el ensayo de niebla salina ha sido usado con este fin por los investigadores en la evaluación de nuevos recubrimientos metálicos, de pintura, y como ensayo de varios tratamientos químicos y de pre pintado.

Para que un ensayo de corrosión acelerada sea útil, un requerimiento principal es que los resultados se relacionen con el comportamiento o desempeño en condiciones de servicio.

### **1.3.1. CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

La cámara de niebla salina es el equipo empleado para simular los efectos de una estación ubicada a la intemperie, involucra el pulverizado de una solución salina sobre las muestras a ensayar a una presión y una temperatura controladas.

Ésta moderna cámara de ensayos acelerados programable, está desarrollada para someter a las muestras a analizar a las siguientes condiciones:

- Cambios controlados de temperatura
- Ambiente de niebla salina
- Secado a temperatura constante
- Secado con aire forzado
- Alta humedad a temperatura constante
- Alta humedad con ciclos de temperatura

El funcionamiento de la cámara consiste en lo siguiente: las muestras a ensayar son introducidas en la cámara, luego la solución salina almacenada en un reservorio se pulveriza para formar una niebla muy delgada sobre las muestras. La temperatura en la cámara se mantiene en un nivel constante.

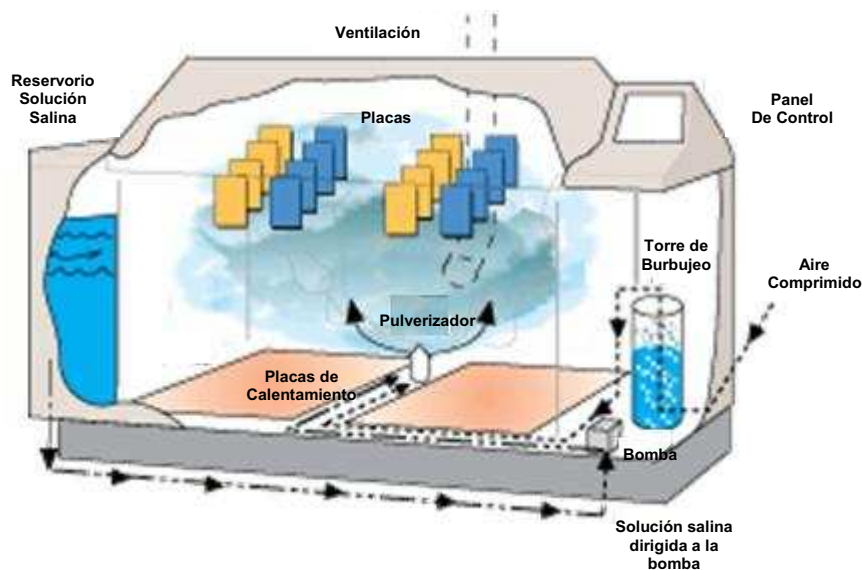
Como el pulverizado es continuo, las muestras están húmedas constantemente, produciéndose el proceso corrosivo. Para que la cámara pueda funcionar, necesita alimentación de aire comprimido, alimentación de agua purificada, sistema de vapores de escape y sistema de drenaje. (Montoya *et al*, 2007)

### 1.3.1.1. Funciones de la cámara salina

#### 1.3.1.1.1. Niebla Salina

El aire comprimido que ingresa en la cámara pasa primeramente por la torre de burbujeo donde es saturado con el agua caliente de la torre; después de la saturación el aire es dirigido hacia el pulverizador donde se mezcla con la solución salina. La solución salina se almacena en un tanque y llega al pulverizador impulsado por la bomba. La mezcla es finamente pulverizada y esparcida en toda la cámara, ésta mezcla se conoce como niebla salina.

La temperatura de la cámara se alcanza a través de las placas de calentamiento y se mantiene constante e igual a la temperatura programada por el usuario. El desarrollo de esta función está ilustrado en la Figura 1.16:

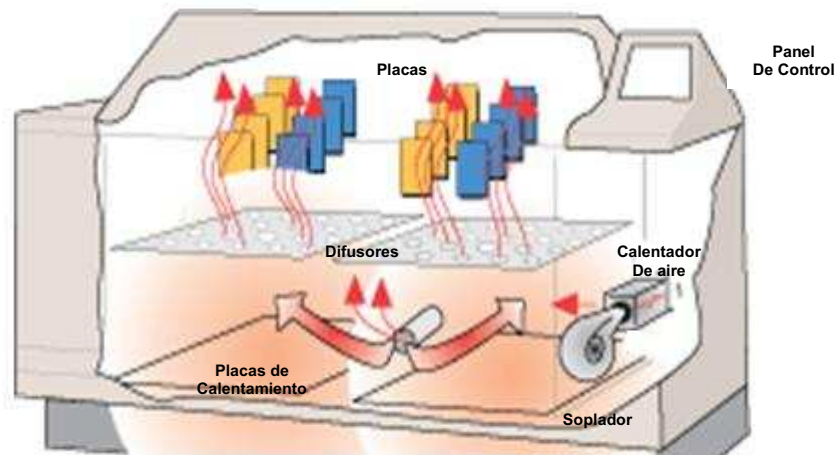


**Figura 1.16.** Formación de la Niebla Salina (Q-LAB Corporation, 2006)

#### 1.3.1.1.2. Secado Forzado

Ésta función se conoce como Q-Fog, intervienen las placas de calentamiento y el soplador. Para alcanzar las condiciones de trabajo necesarias, un flujo de aire

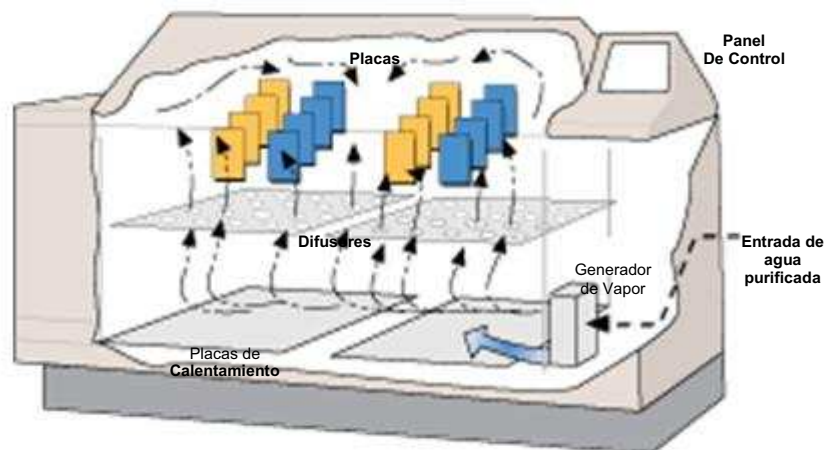
pasa por el soplador y, si la temperatura es superior a la temperatura ambiente, empiezan a trabajar las placas de calentamiento; Figura 1.17:



**Figura 1.17.** Función de Secado Forzado (Q-LAB Corporation, 2006)

#### 1.3.1.1.3. Humedad

En la Figura 1.18, se visualiza cómo se produce la humedad en la cámara salina. Para lograr una humedad relativa del 100% (humedad a la que se mantiene la cámara), en el generador de vapor se evapora el agua purificada que ingresa a la cámara; el vapor se distribuye a lo largo de todo el equipo, atravesando por los difusores. (Q-LAB Corporation, 2006)



**Figura 1.18.** Función de Humedad (Q-LAB Corporation, 2006)

### **1.3.1.2. Estándar ASTM B117-07**

El ensayo B117 es referencial en las industrias, ya que ha sido el más utilizado desde hace más de 80 años. Consiste en exponer las placas a una niebla salina a 35°C, compuesta con 5% de cloruro de sodio de 99,7% de pureza.

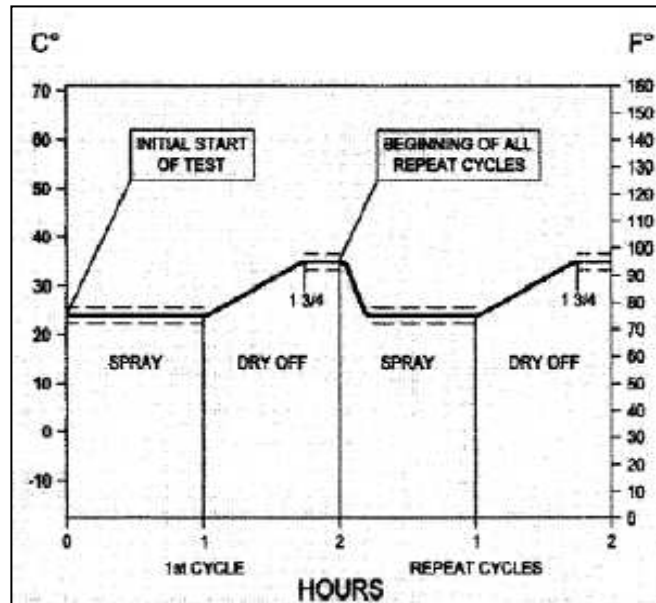
Las placas se mantienen mojadas durante todo el tiempo de exposición, debido a que la niebla salina no es cíclica sino es continua.

El inconveniente de este estándar es que, los resultados obtenidos, no pueden ser comparados con los resultados obtenidos en la exposición atmosférica. Este ensayo posiblemente sirve para simular ambientes marinos. (Cremer, 1989)

### **1.3.1.3. Estándar ASTM G85-02 A.5 (Ensayo Prohesion)**

El ensayo “Prohesion” fue diseñado para mejorar los resultados del B 117, debido a que los resultados obtenidos con éste último no se asemejan a los resultados de campo, pues eran poco realistas. Los revestimientos sometidos al B 117 fallaban en las pruebas atmosféricas, por lo que se concluyó que la intemperie no tiene un comportamiento constante, sino cíclico, por lo que los experimentos realizados en el laboratorio debían tener un comportamiento similar. (Cremer, 1989)

El ensayo “Prohesion” consiste en la exposición de las placas ensayadas a dos ciclos: uno húmedo y otro seco, como se ilustra en la Figura 1.19:



**Figura 1.19.** Ciclos del Ensayo Prohesion. (ASTM Standards, 2002)

En el ciclo húmedo aparece una niebla salina constituida por un electrolito débil, compuesto por 0.35% de sulfato de amonio y 0.05% de cloruro de sodio (más diluida que la tradicional niebla ensayo de niebla salina). La parte de la niebla de esta prueba se lleva a cabo a temperatura ambiente (25°C). La compensación, ciclo seco, es un proceso de secado forzado que se realiza a una temperatura de 35°C. (Estándar ASTM G-85-02 A.5)

Cada ciclo tiene una duración de una hora, y se repiten tantas veces según sea el tiempo de exposición en la cámara. Además se debe considerar que el rocío de atomización de aire no está saturado con agua durante esta prueba.

El cloruro de sodio y el agua están sujetos a las normas de pureza igual que para la otra prueba en esta especificación (B 117), y el sulfato de amonio no deberá contener más de 0,3% de impurezas totales. (Estándar ASTM G-85-02 A.5)

## **1.4. ENSAYOS DE DEGRADACIÓN ACELERADA EN LA CÁMARA DE ARCO DE XENÓN**

La capacidad de una pintura o un recubrimiento para resistir el deterioro de sus propiedades físicas y ópticas causadas por la exposición a la luz, al calor y al agua, son muy importantes para muchas aplicaciones. Con este ensayo se pretende inducir cambios de las propiedades asociados con las condiciones de uso final, incluidos los efectos de la luz solar, la humedad y el calor. La exposición que se utiliza en este ensayo no está pensada para simular el deterioro causado por fenómenos meteorológicos localizados, como la contaminación atmosférica, el ataque biológico y la exposición de agua salada. La cámara de arco de xenón se utiliza para:

- Ensayos de la estabilidad frente a las radiaciones ultravioleta
- Determinación de la solidez del color de pigmentos, tintas, pinturas, plásticos, cartonajes, textiles, etc
- Fotoestabilidad de productos

(Q-Lab Corporation, 2007)

### **1.4.1. DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA Q-SUN XE-1-S**

La cámara Q-SUN XE-1-S, con luz de arco de xenón reproduce longitudes de onda de la luz tanto en ambientes interiores como exteriores. La cámara está compuesta de lámparas que utilizan gas de xenón ionizado, encargadas de producir una luz blanca y brillante con características muy similares a la luz del día, simulando el espectro completo de la luz solar; es decir, origina luz ultravioleta (UV), visible e infrarroja.

Además, posee sistemas de pulverización de agua y/o sistemas de control de humedad, que permiten también simular efectos de erosión y choque térmico.



Esta cámara posee un sistema de enfriamiento por circulación de aire propulsado por soplador, que se emplea para contrarrestar la generación de calor generada por las lámparas. El calor producido es enviado hacia la zona de ventilación localizada en la parte posterior del equipo.

(Q-Lab Corporation, 2007)

#### **1.4.1.1. Tipos de lámparas**

Las lámparas son de tres clases: lámpara de xenón de arco largo y de salida continua, lámpara de xenón de arco corto y de salida continua, y lámpara “flash” de xenón. Consisten de un tubo de vidrio o cuarzo fusionado con electrodos de tungsteno a cada extremo. Las lámparas flash se diferencian de las otras dos porque poseen un tercer electrodo llamado trigger.

Las lámparas de arco corto de xenón puede ser de dos tipos: xenón puro y de una mezcla de xenón-mercurio. El mercurio está en estado metálico y en una cantidad muy pequeña. (Q-Lab Corporation, 2007)

#### **1.4.1.2. Irradiación**

La irradiación generalmente utilizada en el equipo a 340 nm es 0.35 y 0.55 W/m<sup>2</sup>. Los dos valores están en el rango de la luz solar natural. Si la radiación es de 0.55 W/m<sup>2</sup> la luz simulada es similar a la luz solar de verano, y si es de 0.35 W/m<sup>2</sup> la luz es similar a la luz del invierno. (Sherbondy, 1995)

### 1.4.1.3. Filtros

Los filtros se utilizan para purificar la luz de xenón producida, y de esta manera, evitar radiación no deseada.

La radiación ultravioleta de onda corta genera la degradación de los materiales expuestos en la atmósfera, especialmente en materiales poliméricos; mientras que la radiación infrarroja al producir calor y temperatura causa una degradación térmica, efecto que no se presenta en la intemperie. Por lo que la radiación infrarroja es filtrada en estos equipos.

Los filtros comúnmente utilizados para ensayos con sistemas de pintura son:

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

El tipo de filtro dependerá del material a analizar (plásticos, textiles, pinturas) y de la aplicación que tendrá dicho material (uso en el interior o exterior). (Q-Lab Corporation 2007; Sherbondy, 1995)

### 1.4.1.4. Estándares Utilizados

#### 1.4.1.4.1. ASTM G155-00a

Este estándar indica la forma correcta en que deben ser expuestos los materiales no metálicos en las cámaras de arco de xenón. Presenta doce ciclos de exposición, que se diferencian entre sí por el filtro utilizado, la irradiación, la longitud de onda, la humedad relativa y otros.

#### 1.4.1.4.2. *ASTM D6695-03b*

Este estándar es explícito para revestimientos poliméricos ensayados en cámaras de arco de xenón. Presenta siete ciclos según sea la aplicación en que va a ser usado, como por ejemplo: revestimientos generales, pinturas de exteriores, madera, esmaltes para ambientes marinos, revestimientos para automotores, etc.

El Ciclo 1, es el usado históricamente para cualquier tipo de pinturas o revestimiento polimérico y consta de dos pasos:

- El primero, con 102 minutos de luz continua, con una irradiación de  $0.35 \text{ W/m}^2$ , temperatura de panel no aislado de  $63^\circ\text{C}$  y 50% de humedad relativa.

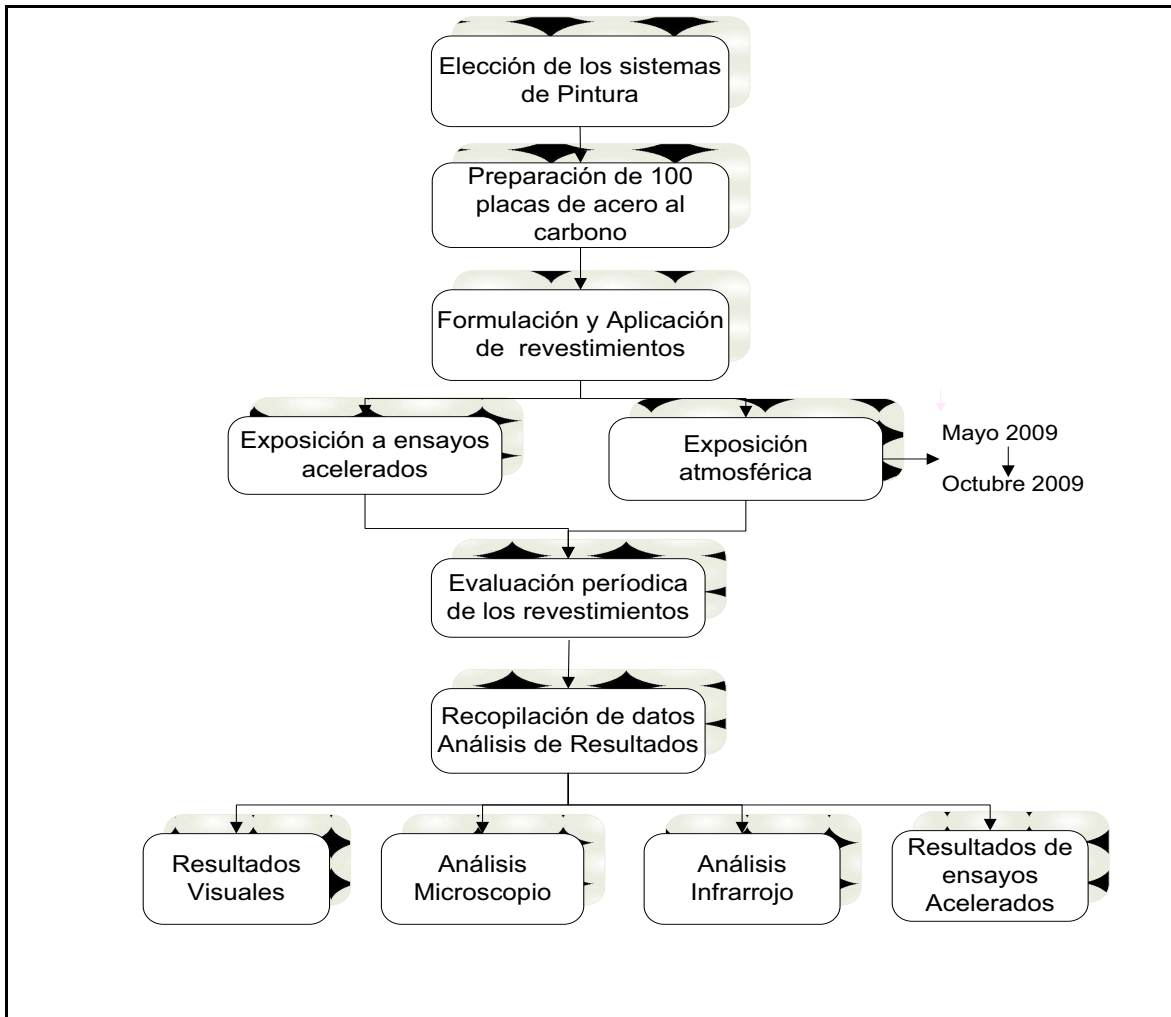
El segundo, tiene 18 minutos de luz continua (con las mismas características del paso uno), con la pulverización de agua purificada.

## 2. METODOLOGÍA

Con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos en el presente proyecto de titulación, a continuación se detalla la metodología y materiales utilizados.

La estrategia metodológica utilizada para desarrollar este proyecto se explica seguidamente y se resume en la Figura 2.1:

- Elección de los sistemas de pintura a estudiarse en coordinación con la empresa Pinturas Cóndor.
- Preparación de 100 placas de ensayo con sustrato de acero al carbono.
- Formulación y aplicación de siete sistemas de pintura, denominados: Ensayo 1, Ensayo 2, hasta el Ensayo siete.
- Exposición atmosférica de 63 placas protegidas con los revestimientos formulados, 3 placas de cada ensayo por cada estación de análisis.
- Evaluación periódica de los revestimientos mediante estándares ASTM de comparación visual.
- Retiro de las placas luego de seis meses de exposición a la atmósfera, para realizar una evaluación mediante microscopía y espectroscopía de infrarrojos.
- Exposición de dos placas por cada ensayo en la cámara de niebla salina, en una de ellas se realiza un corte en "X". Exposición de una probeta por ensayo a la cámara de arco de xenón, sometidas a los ensayos Prohesion y ASTM D6695-03B-Ciclo 1, respectivamente.
- Evaluación diaria de las placas expuestas a los ensayos acelerados mediante observación al microscopio, escala de grises y normas ASTM.
- Limpieza y secado de las placas sometidas a los ensayos acelerados.
- Almacenamiento de las placas en fundas plásticas herméticas.
- Compilación de datos y análisis de resultados.



**Figura 2.1.** Esquema de las actividades realizadas

## 2.1. MATERIALES

### 2.1.1. PLACAS

El material seleccionado como sustrato de las placas (probetas) fue acero al carbono, por ser el material metálico más empleado en las estructuras expuestas al aire libre y que se usa en la fabricación de una gran variedad de equipamiento

metálico y grandes estructuras, debido tanto a su bajo precio como a su considerable resistencia mecánica. (CIDETEC, 2004)

Las placas expuestas a la atmósfera y al ensayo acelerado en la cámara de niebla salina fueron de 150 x 100 x 0.9 mm, y las expuestas a la cámara de arco de xenón de 100 x 40 x 0.9 mm. Las placas, expuestas, tanto en las estaciones como en los ensayos acelerados, fueron placas de acero al carbono recubiertas con los siete ensayos de pintura formulados.

#### **2.1.1.1. Preparación de las Placas**

La preparación y limpieza de las placas se realizó para que exista mayor adherencia entre el sustrato (acero al carbono) y la pintura. El procedimiento se describe a continuación:

- Desengrasado de las láminas, utilizando “thinner”, para eliminar la grasa protectora del acero al carbono y facilitar el lijado.
- Lijado en dirección longitudinal con una lija de agua # 240, para mejorar la adherencia de la pintura.
- Limpieza final de las placas con alcohol isopropílico para retirar los residuos del lijado.

#### **2.1.2. REVESTIMIENTOS POLIMÉRICOS**

El interés de preparar un revestimiento que incorpore hidrosulfito de zinc en su formulación, fue comprobar el desempeño de éste nuevo pigmento; a ésta pintura, se le denominó ensayo 5. Además, se comprobó la resistencia atmosférica de dos pinturas alquídicas antioxidantes que ya están en el mercado, como son el: oxifin y antiox denominados ensayo 6 y 7, respectivamente. Para complementar el estudio de la nueva pintura (ensayo 5), se crearon adicionalmente cuatro tipos de

revestimiento, que tienen de base la misma resina, y que varían en el tipo y cantidad de pigmento utilizado. Los ensayos fueron denominados como se indica en la Tabla 2.1. Las características principales se detallan en la Tabla 2.2:

**Tabla 2.1.** Pigmento utilizado en cada ensayo preparado

Nombre del Ensayo	Pigmento Utilizado	Identificación usada a lo largo de la redacción
Ensayo 1	Dióxido de Titanio nanoparticulado, mezcla de rutilo y anatasa	TiO <sub>2</sub> nano
Ensayo 2	Dióxido de Titanio micrométrico rutilo	TiO <sub>2</sub> micro
Ensayo 3	Óxido de Zinc nanoparticulado	ZnO nano
Ensayo 4	Ninguno	Resina
Ensayo 5	Hidrosulfito de Zinc	ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Ensayo 6	Fosfato de Zinc	Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Ensayo 7	Hidrosulfito y Fosfato de Zinc	ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>

El objetivo de preparar el ensayo con TiO<sub>2</sub> nano con la misma formulación del ensayo con TiO<sub>2</sub> micro, fue establecer una comparación entre las propiedades de una pintura con pigmentos nanoparticulados y una pintura que es usada generalmente en la industria. Mientras que formular el recubrimiento sin pigmentos (resina), tuvo como principal objetivo determinar los cambios que sufre una resina al estar sometida a ensayos de campo y ensayos acelerados, mediante espectroscopía IR, sin que exista intervención de las bandas características de cargas y pigmentos.

Además, se analizará la influencia de emplear dos tipos diferentes de resina y una mezcla de estos dos, para de ésta manera ver los beneficios de cada una.

**Tabla 2.2.** Características de las formulaciones de las pinturas

Producto	Color	Tipo de Resina	% Resina	%Pigmentos	%Pigmentos Anticorrosivos
Ensayo 1 (TiO <sub>2</sub> nano)	Blanco	PIALSO 70W*	25,90	18,47	0,00
Ensayo 2 (TiO <sub>2</sub> micro)	Blanco	PIALSO 70W	25,90	18,47	0,00
Ensayo 3 (ZnO)	Incoloro	PIALSO 70W	32,50	1,53	0,00
Ensayo 4 (Resina)	Incoloro	PIALSO 70W	100,00	0,00	0,00
Ensayo 5 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Negro Mate	PIALSO 70W	15,00	51,30	0,70
Ensayo 6 (Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	Negro Mate	PIAMSO 40W**	36,00	35,08	0,85
Ensayo 7 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> +Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	Negro Mate	PIALSO 70W	18,26	44,60	3,70
		PIAMSO 40W	20,6		

\*PIALSO 70W: Resina alquídica de soya de cadena larga al 70%.

\*\* PIAMSO 40W: Resina alquídica de soya de cadena corta al 40%.

Todos los sistemas de pintura tienen el mismo tiempo de secado (10-19 min).

Se preparó un volumen de dos litros por ensayo, para lo cual se siguió la formulación proporcionada por la empresa Pinturas Cóndor. Para la preparación de las pinturas se utilizaron los equipos que se indican en la Tabla 2.2 y en las Figuras 2.2 y 2.3:

**Tabla 2.3.** Equipos utilizados para la formulación, aplicación de las pinturas y medición del espesor

Equipo	Marca	Modelo	Características
Cowles	Morehousecowles	V-12 2RS2HP	3400 RPM
Balanza de Platos	GT 410/OHAUS	-	1000 gr.
Pistola de Aplicación	Devilbiss	-	29-43 lb/plg <sup>2</sup>
Medidor de Espesor	GARNER	CO.08.029.06	-

\*La función del cowles es mezclar todos los componentes de la pintura.





**Figura 2.2.** Cowles



**Figura 2.3.** Balanza de Platos

Al terminar la elaboración de las pinturas, se realizaron pruebas de finura, para determinar el tamaño de partícula del pigmento (comprobar que los pigmentos se han disuelto completamente), para lo cual se utilizó el grindómetro que se muestra en la Figura 2.4:



**Figura 2.4.** Grindómetro

### 2.1.2.1. Aplicación de los Revestimientos

- Diluir la pintura con “thinner”, hasta una viscosidad entre 15 y 23 segundos medida en la copa Ford #4 (esta medida de viscosidad es utilizada en la industria de pinturas, y se basa en que la pintura debe vaciarse totalmente, por un agujero que tiene la copa en su parte inferior, en un tiempo entre 15 y 23 segundos. Si la pintura se vacía en este tiempo, la dilución de la pintura es correcta, caso contrario, se debe añadir más solvente o más pintura ), mostrada en la Figura 2.5:



**Figura 2.5.** Copa Ford #4

- Aplicación de la pintura utilizando una pistola de proyección a presión de 29-43 lb/plg<sup>2</sup>.
- Secado de la pintura durante una semana.
- Medición del espesor de la capa del revestimiento con el medidor de espesor seco digital, en distintos puntos de la superficie de la placa, para comprobar que la capa de pintura tenga un espesor entre de 2,5-3,0 mils (1 mils = 25,4  $\mu$ m). Este paso se cumplió para cada sistema de pintura.
- Realización de una corte en “X” en forma de X en la parte central de algunas placas.

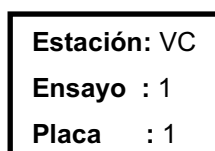
- Aplicación de masilla epóxica Rally/Duraepoxi de Borden en los bordes de cada probeta, para evitar el ataque atmosférico desde esta zona hacia el interior, y que la corrosión se produzca únicamente en la superficie de la placa.

### 2.1.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS PLACAS

Para la identificación de las placas se utilizó adhesivos, en los que constaron: las iniciales de la estación donde es expuesta la probeta (las iniciales de las estaciones se muestran en la Tabla 2.3), el ensayo al que corresponde y el número de placa, ya que se preparó tres placas de cada ensayo. Este último indica la posición de la placa en el porta placas. En la Figura 2.6, se aprecia el contenido de los membretes adhesivos.

**Tabla 2.4.** Abreviatura utilizada para los nombres de las estaciones

Estación	Abreviatura
Pinturas Cóndor	PC
Colegio San Gabriel	SG
Valle de los Chillos	VC



**Figura 2.6.** Membrete adhesivo colocado en las placas

## 2.2. ENSAYOS DE CAMPO

La exposición de los revestimientos a las distintas atmósferas en las estaciones elegidas se realizó durante un lapso de seis meses, con visitas periódicas para determinar el efecto atmosférico sobre la pintura. En cada estación se colocaron tres placas de cada ensayo formulado, dando un total de 21 placas.

### **2.2.1. PUPITRES PORTA PLACAS**

Para la exposición de los revestimientos a analizarse, las placas fueron colocadas en pupitres portaplacas construidos por Cazco-Recalde (2002) bajo las normas ASTM G7 y ASTM G50, el diseño tiene capacidad para 70 placas de dimensiones estándares (150 X 100) mm. El mueble está constituido de dos partes: una base formada de cuatro patas y un tablero donde se colocan las placas. El tablero se encuentra a 80 cm del piso y forma un ángulo de 45° respecto a la horizontal, estos dos parámetros tienen gran influencia en la degradación atmosférica.

Las placas se sujetaron por las esquinas, con pernos plásticos 8 mm de diámetro interno y de 60 mm de largo, se prefiere este material para los pernos con la finalidad de evitar la formación de pilas galvánicas. En el Anexo III se muestran fotografías de los pupitres porta-placas.

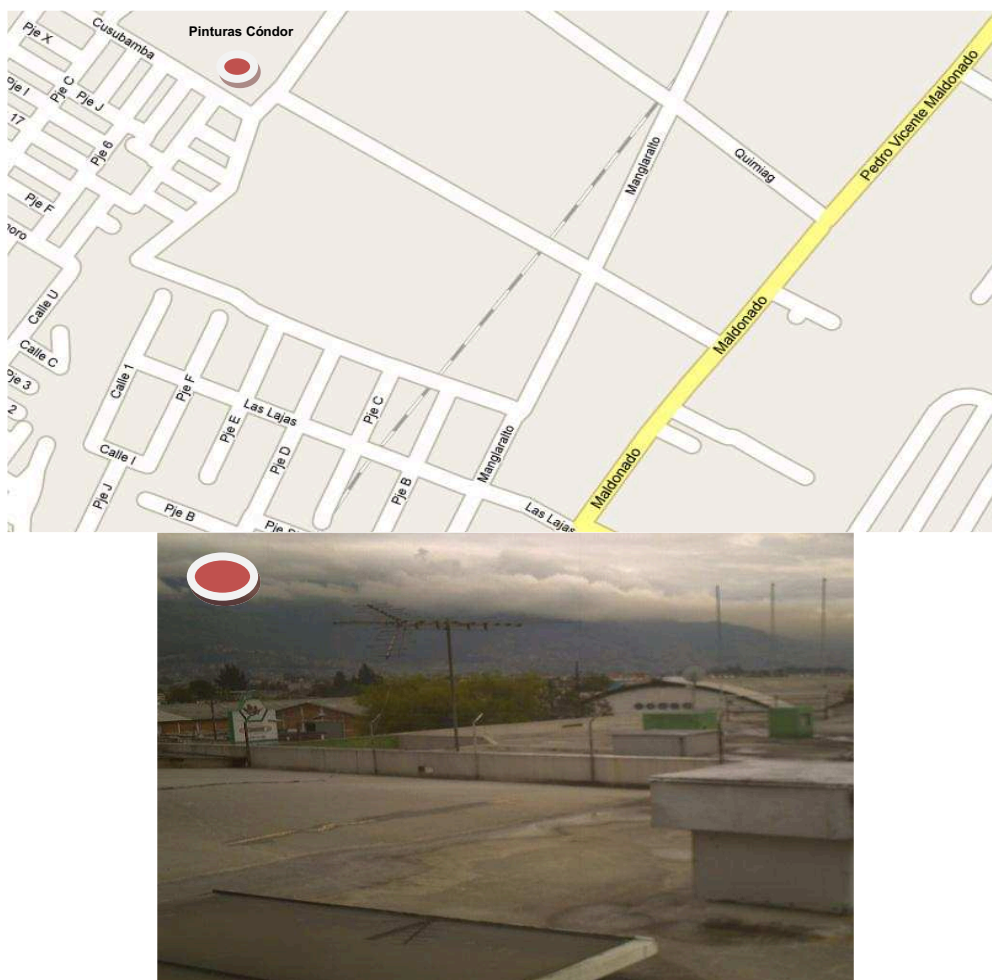
### **2.2.2. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES**

La ubicación de las estaciones fue elegida considerando el clima y la contaminación de la ciudad de Quito. Las tres estaciones seleccionadas están en la capital. La descripción de cada sitio de ensayo se detalla a continuación:

#### **2.2.2.1. Estación Pinturas Cóndor**

Ubicada al sur de la ciudad de Quito, en el sector Unión Popular, en la calle Cusubamba entre Manglar Alto y Moromoro. El mueble portaprobetas se colocó sobre el comedor de la empresa Pinturas Cóndor.

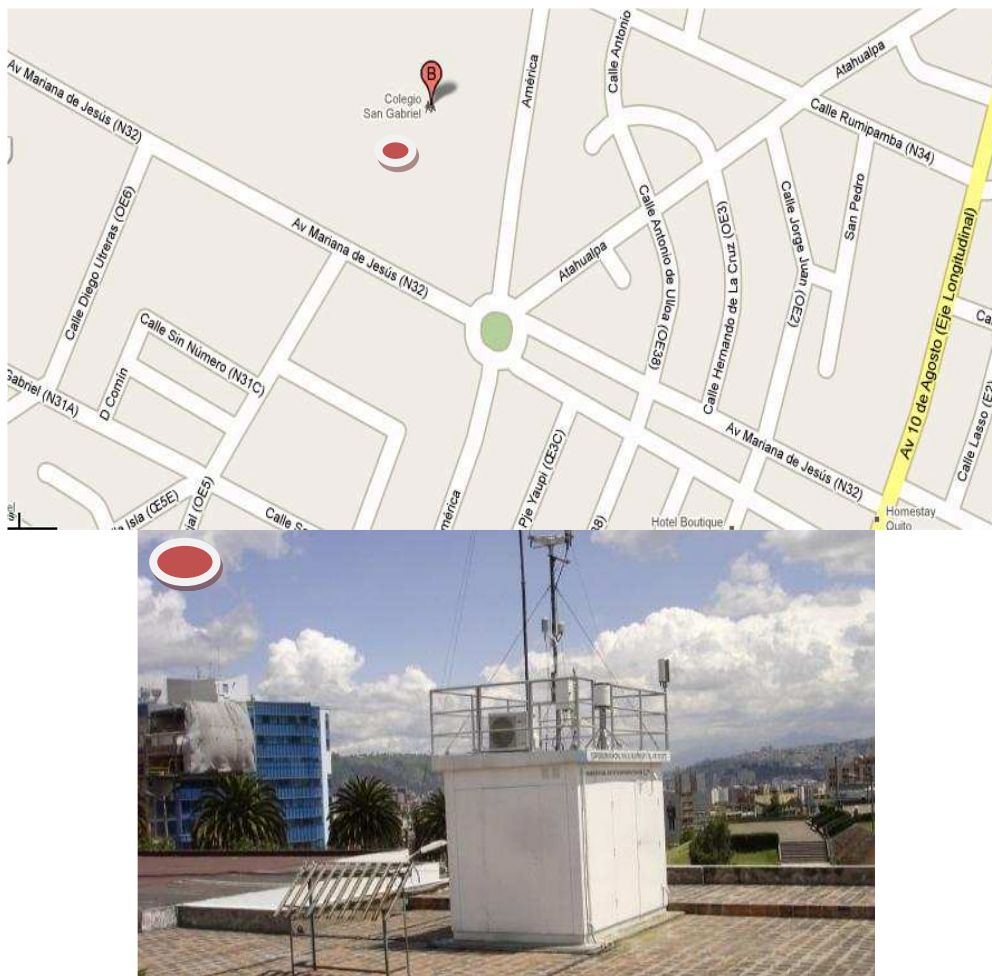
El sector es predominantemente industrial y con alta circulación de vehículos pesados por lo que existe alta contaminación en fuentes fijas. En la Figura 2.7, se indica la localización de la estación.



**Figura 2.7.** Estación Pinturas Cóndor

#### 2.2.2.2. Estación Colegio San Gabriel

Ubicada en la terraza del colegio San Gabriel, en el sector conocido con el mismo nombre. El sector es urbano, localizado en una de las principales avenidas de la ciudad, Avenida América, donde la principal fuente de contaminación es el producto de los gases emitidos por los automotores debido al alto flujo de vehículos livianos y pesados especialmente en horas pico. Asimismo existe circulación del sistema de metro vía. En la Figura 2.8, se indica la localización de la estación:



**Figura 2.8.** Estación Colegio San Gabriel

### 2.2.2.3. Estación Valle de los Chillos

Ubicada en la terraza del Andinatel agencia San Rafael, sector San Rafael del Valle de los Chillos, en la Avenida Ilaló s/n y Río Pastaza. El sector aledaño es comercial y de alto tráfico liviano y pesado, especialmente en horas pico. En la Figura 2.9, se indica la localización de esta estación.





**Figura 2.9.** Estación Valle de los Chillos

### **2.3. ENSAYOS ACELERADOS EN LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

Las placas utilizadas en este ensayo tuvieron las mismas características físicas de las placas expuestas en campo. Se expusieron dos placas de cada tipo de pintura, en la primera se analizaron los efectos de humedad, temperatura y calor y en la segunda, además se determinó la adherencia que tiene la pintura sobre el acero al carbono, con la norma ASTM D714-09.

El ensayo realizado en la cámara de niebla salina fue el ensayo cíclico Prohesion basado en el estándar ASTM G85-09 (Dilute electrolyte cyclic fog/dry test), ya que

simula una atmósfera más cercana a la realidad respecto al estándar ASTM B117, como se indicó en el apartado 1.3. El tiempo de exposición fue de 600 horas, con una supervisión diaria de las placas.

Las condiciones de exposición de las placas en la cámara de niebla salina se indican en la Tabla 2.5, mientras que los pasos y parámetros del ensayo Prohesion se indican en la Tabla 2.6:

**Tabla 2.5.** Condiciones de Exposición en la Cámara Salina

Condiciones	Detalle
Ciclo	Prohesion
Tiempo de Exposición	600 horas
Solución Salina	0.05% de NaCl y 0.35 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

**Tabla 2.6.** Pasos y parámetros del estándar ASTM G85-02

Pasos	Función	Parámetros			
		Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	Flujo de deposición (mL/h)	Presión Spray (psi)
1	Niebla Salina	25	1	1-2	8
2	Secado Forzado	35	1	-	-
3	Fin del Ciclo, Repetir paso 1	25	1	1-2	8

La cámara salina Q-Fog modelo CCT-600 utilizada, es de propiedad del Centro de Investigación Aplicada a Polímeros de la Escuela Politécnica Nacional.

## 2.4. ENSAYOS ACELERADOS EN LA CÁMARA DE ARCO DE XENÓN

Este ensayo se realizó para estudiar los efectos producidos por los rayos ultravioleta mediante la norma ASTM D6695-03b-Ciclo 1.

Las placas para este ensayo fueron de 100x40x0,9 mm; se expuso una placa por cada sistema de pintura durante 300 horas, la inspección de las pinturas se realizó cada 24 horas.



El equipo utilizado para esta simulación es la Cámara de Arco de Xenón Q-Sun, modelo Xe-1-S, con filtro UV Daylight Q y sensor UV de 340 nm.

Los pasos y parámetros del estándar ASTM D6695-03b Ciclo 1, se detallan en la Tabla 2.7:

**Tabla 2.7.** Pasos y parámetros del estándar ASTM D6695-03b, Ciclo 1

Pasos	Función	Parámetros				
		Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Temperatura de Aire en la Cámara (°C)	Humedad (%)	Tiempo (min)
1	Luz	0,35	63	48	30	102
2	Luz + Spray	0,35	63	48	30	18
3	Fin del Ciclo, Repetir paso 1	0,35	63	48	30	102

Por recomendación del fabricante del Q-Sun, las placas sometidas a este ensayo fueron reubicadas diariamente para que exista compensación por la variación de la irradiación y la temperatura en la cámara.

## 2.5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PINTURAS

La evaluación del comportamiento de los sistemas de pinturas expuestos en campo y a los ensayos acelerados se realizó a nivel macroscópico utilizando estándares ASTM de apreciación visual, y a nivel microscópico mediante observación al microscopio y con espectros de infrarrojo.

### 2.5.1. EVALUACIÓN MACROSCÓPICA

La evaluación visual de las placas expuestas a la atmósfera de las diferentes estaciones se realizó periódicamente durante los seis meses de experimentación.

Para los ensayos acelerados esta evaluación se realizó todos los días excepto los fines de semana.

Los estándares ASTM permiten una comparación entre la probeta analizada y las figuras patrón anexadas a los modelos, mediante una valoración determinada, según sea el grado y tipo de afección en la probeta. Los estándares ASTM que se utilizaron son descritos a continuación:

### 2.5.1.1. ASTM D-610 “Método de prueba para evaluar el grado de corrosión en superficies de acero pintadas”

Este estándar evalúa el grado de corrosión en superficies de acero pintadas. La cantidad de material corroído, debajo o a través de una película de pintura, es un factor importante para determinar si un sistema de recubrimiento debe ser reparado o reemplazado. Este método proporciona un medio estandarizado para cuantificar la cantidad y distribución de la corrosión visible.

El grado de corrosión se evalúa mediante una escala de 10 a 0, basándose en el porcentaje de falla visible en la superficie. La especificación de la escala se indica a continuación:

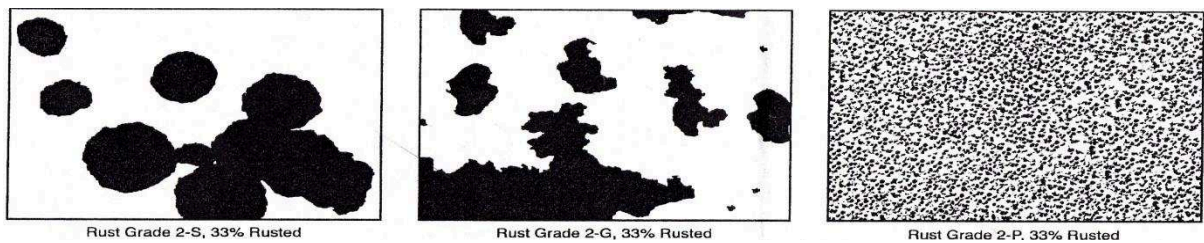
**Tabla 2.8.** Escala y especificación del grado de corrosión

Escala	Especificación
10	No existe corrosión o es menor al 0,01% de la superficie corroída
9	Corrosión Insignificante, menor al 0,03% de superficie corroída
8	Presencia de pocos puntos de corrosión aislados, menos del 0,10% de superficie corroída
7	Menor al 0,30% de superficie corroída
6	Presencia extensa de puntos de corrosión, pero menor al 1,00% de superficie corroída
5	Corrosión Extendida en el 3,00% de superficie corroída
4	Corrosión Extendida en el 10,00% de superficie corroída
3	Aproximadamente una sexta parte de la superficie corroída
2	Aproximadamente una tercera parte de la superficie corroída
1	Aproximadamente la mitad de la superficie corroída
0	Aproximadamente el 100% de la superficie corroída

La distribución de la corrosión visible se clasifica según su porcentaje y tipo, este último se define mediante una letra que sigue al valor del grado de corrosión de la probeta, de la siguiente manera:

- S = mancha de herrumbre (spot rust)
- G = herrumbre generalizada (general rust)
- P = puntos de corrosión (pinpoint rust)
- H = herrumbre híbrida (hybrid rust)

En la Figura 2.10 se observa la distribución de la corrosión según esta norma para un grado de corrosión 2.



**Figura 2.10.** Distribución de la corrosión según el estándar ASTM D610-01. Grado 2=33% de Corrosión, (ASTM, 2001)

#### 2.5.1.2. ASTM D-660 “Método de prueba para evaluar el grado de cuarteamiento en pinturas expuestas al exterior”

Este estándar evalúa el grado de cuarteamiento de un sistema de pintura expuesto al exterior. El cuarteamiento consiste en la ruptura superficial de la película de pintura que no penetra la superficie del metal subyacente.

### 2.5.1.3. ASTM D-661 “Método de prueba para evaluar el grado de agrietamiento en pinturas expuestas al exterior”

Este método de ensayo valora el agrietamiento que sufre una pintura. El agrietamiento consiste en una rotura que puede producirse, o no, a partir del cuarteamiento.

Tanto para este estándar como para el ASTM D-660, la evaluación realiza una comparación entre la pintura analizada y fotografías patrón, mediante la escala de la Tabla 2.9:

**Tabla 2.9.** Escala y especificación del cuarteamiento y agrietamiento de una pintura

Escala	Especificación
2	Muy alto
4	Alto
6	Medio
8	Bajo

### 2.5.1.4. ASTM D-662 “Método de prueba para evaluar el grado de erosión en pinturas expuestas al exterior”

Este método de ensayo evalúa el grado de erosión de las pinturas de exteriores comparando estándares fotográficos con el sistema de pintura estudiado. La erosión se manifiesta en las capas de pintura por el desgaste de ésta al exponer el sustrato.

La escala utilizada para determinar la severidad de este fenómeno es la misma que para el agrietamiento y cuarteamiento.

### 2.5.1.5. ASTM D-714 “Método de prueba para evaluar el grado de cuarteamiento en pinturas expuestas al exterior”

Este método de prueba emplea como referencia fotografías estándar para evaluar el grado de ampollamiento que podría desarrollarse cuando un sistema de pintura es expuesto a condiciones que podrían provocar este fenómeno, estimando el tamaño y la densidad de las ampollas para determinar la severidad del daño que estas pueden causar sobre el revestimiento.

El tamaño de las ampollas ha sido seleccionado para cuatro tamaños de afección en una escala numérica desde 10 a 0; la especificación de la escala se indica en la Tabla 2.10:

**Tabla 2.10.** Escala del tamaño de las ampollas

Escala	Especificación
10	Ausencia total de ampollas
8	Tamaño más pequeño de ampollas que pueden ser perceptibles para el ojo humano
6,4 y 2	Representan progresivamente tamaños mayores de ampollas
0	Ampollamiento total

La frecuencia de las ampollas (cantidad de ampollas en toda el área de la placa), ha sido seleccionada para cada tamaño de ampolla, eligiéndose cuatro frecuencias estándares de referencia, designadas de la siguiente manera:

**Tabla 2.11.** Frecuencia de ampollaje en sistemas de pintura

Frecuencia	Concisión
Denso	D
Medio Denso	MD
Medio	M
Poco	F

Se debe reportar el ampollamiento como un número que indica el tamaño de las ampollas, seguido de un símbolo (letra) que indica la frecuencia.

### 2.5.1.6. ASTM D-772 “Método de prueba para evaluar el grado de descamación en pinturas expuestas al exterior”

Este método de ensayo evalúa el grado de descamación que sufre una pintura de exterior por comparación con fotografías estándar. La descamación es un fenómeno manifestado en la película de pintura por el aislamiento del sustrato con la pintura. La descamación precede generalmente al cuarteamiento, agrietamiento o ampollaje.

### 2.5.1.7. Escala de Grises

La escala de grises se empleó para determinar el cambio de color que sufrieron las pinturas expuestas al ensayo acelerado en la cámara de arco de xenón.

Esta escala consta de nueve pares de pequeños rectángulos de color gris, cada par tiene un grado de diferencia de color o contraste.

Con esta escala se evaluó la diferencia de color entre la pintura ensayada y la pintura virgen (blanco), mediante la diferencia representada según la escala mostrada en la Tabla 2.12:

**Tabla 2.12.** Escala de grises

Valoración de Solidez	Diferencia de Color	Tolerancia
5	0,0	+0,2
4-5	0,8	±0,2
4	1,7	±0,3
3-4	2,5	±0,3
3	3,4	±0,4
2-3	4,8	±0,5
2	6,8	±0,6
1-2	9,6	±0,7
1	13,6	±1,0

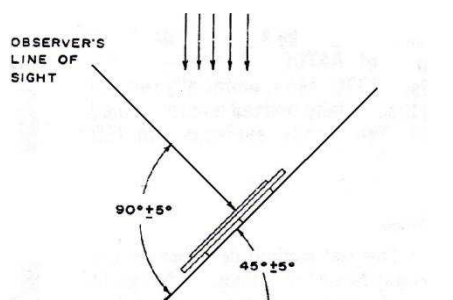
Además de existir un cambio de color o contraste, la muestra expuesta puede presentar amarillamiento, enrojecimiento y otros cambios bruscos de color. Estos

cambios se reportan mediante una letra junto al valor de la escala de valoración de la solidez. Las abreviaturas utilizadas se muestran en la Tabla 2.13:

**Tabla 2.13.** Abreviaturas para los cambios de colores más comunes

Fenómeno	Abreviatura
Amarillamiento	Y
Enrojecimiento	R
Azulado	BI

Para establecer la comparación visual, se colocó la placa degradada junto al blanco en el mismo plano y con la misma orientación ( $45^\circ$ ) y finalmente se acerca las dos placas hacia la escala. Este procedimiento se observa en la Figura 2.11, (ISO 105-AO2, 1992):



**Figura 2.11.** Ángulos de iluminación y observación para determinar el cambio de color (ISO 105-AO2, 1992)

## 2.5.2. EVALUACIÓN MICROSCÓPICA

Para la evaluación microscópica se utilizó el microscopio Thomas Cientific 1230CM con el sistema de iluminación Fiber Lite MI-150 Dolan Jenner Industries, de propiedad del Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP).

El microscopio permitió observar la corrosión alcanzada en los ensayos de campo y los ensayos acelerados con un aumento de 10X.

### 2.5.3. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS

Se analizaron por este método los sistemas de pinturas expuestos al ensayo acelerado realizado en la cámara de arco de xenón, los expuestos durante seis meses en las diferentes estaciones, y se compararon con los espectros de los blancos.

El estudio se realizó siguiendo el estándar ASTM D 2621-87(2005). Esta norma permite la caracterización cualitativa o identificación de vehículos sólidos de la pintura mediante espectroscopía infrarroja. En la norma se encuentran los espectros de varios tipos de resinas alquídicas, donde se observan las bandas de sus principales grupos funcionales y éstos se utilizan para poder interpretar los espectros de las pinturas a analizarse.

Los espectros fueron tomados en el Espectrofotómetro Perkin Elmer Spectrum One perteneciente al CIAP. El poco contacto de las muestras con el cristal del espectrofotómetro, debido a la rigidez del sustrato (acero al carbono) donde se aplicó la pintura, provocó excesivo ruido en las bandas de los espectros, sobre todo en las pinturas opacas (ensayos  $ZnS_2O_4$ ,  $Zn_3PO_4$ ,  $ZnS_2O_4 + Zn_3PO_4$ ). Por lo que, los únicos espectros que se pudieron distinguir y analizar fueron todas las placas de los ensayos  $TiO_2$  nano,  $TiO_2$  micro, ZnO y resina.

Para lograr tomar los espectros de los ensayos se cortó, con una cizalla perteneciente al taller mecánico de la Escuela Politécnica Nacional, las placas recubiertas con los revestimientos a una medida de 11 X 610 mm. Posteriormente se cortaron los bordes de estas nuevas placas con una tijera para eliminar las rebabas, y finalmente se prensaron las placas para que quedaran totalmente horizontales, en una prensa hidráulica de propiedad del taller de Máquinas y Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. De ésta manera se mejoró el contacto de la placa con el cristal del Espectrofotómetro Perkin Elmer del CIAP, mostrado en la Figura 2.12.





**Figura 2.12.** Espectrofotómetro Perkin Elmer

Si no se hubiese realizado el procedimiento anterior, el contacto de las placas con el cristal del espectrofotómetro hubiese sido mínimo y los espectros habrían resultado demasiado ruidosos. Para la resina no fue necesario realizar el proceso detallado debido a que la pintura se desprendió de la probeta de acero al carbono con facilidad.

Finalmente se corrieron los espectros del ensayo siete y se interpretaron los resultados obtenidos. Para evitar errores cualitativos y cuantitativos en los espectros resultantes se realizaron las siguientes correcciones mediante el software Spectrum 2005 Versión 5.3 de Perkin Elmer:

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

(Perkin Elmer software Spectrum Versión 5.3, 2005 )

#### **2.5.4. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA**

La evaluación de los sistemas degradados mediante microscopía electrónica no fue necesaria, debido a que la corrosión de los sistemas de mayor relevancia se pudo determinar únicamente con las evaluaciones anteriores, y hacer este análisis hubiese sido un gasto alto y para este caso, no necesario.

#### **2.6. CORRELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LOS ENSAYOS ACELERADOS**

La correlación entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados se establecieron mediante la comparación de los resultados obtenidos en:

- Evaluación macroscópica aplicando estándares ASTM de apreciación visual.
- Evaluación microscópica utilizando el microscopio Thomas Cientific 1230CM con el sistema de iluminación Fiber Lite MI-150 Dolan Jenner Industries.
- Evaluación de los espectros obtenidos en el infrarrojo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan inicialmente se refieren a la influencia de los contaminantes atmosféricos y los parámetros meteorológicos, sobre los revestimientos poliméricos, con lo que se determina cuál es la estación que mayor deterioro produce a los sistemas de pintura. Posteriormente, se presentan los resultados de los análisis macro y microscópicos, de las placas expuestas durante un mes y seis meses.

Este estudio permitió establecer una comparación entre cada sistema de pintura y cada estación, para así determinar las ventajas que tiene un revestimiento sobre otro y de esta manera conocer si el uso de nano partículas provee mejores cualidades a las pinturas.

A continuación se muestran los efectos macroscópicos y microscópicos de las placas sometidas a los ensayos acelerados, estableciendo una comparación con los resultados obtenidos en los ensayos de campo.

Posteriormente, se indican los resultados de espectroscopía de infrarrojos de los ensayos  $\text{TiO}_2$  nano,  $\text{TiO}_2$  micro,  $\text{ZnO}$  y resina. Estos resultados se analizan cualitativamente, realizando comparaciones entre la pintura sin exposición, las expuestas en las diferentes estaciones y las expuestas a los ensayos acelerados.

Finalmente, se establece una comparación entre los resultados obtenidos de los sistemas de pintura expuestos en cada estación de ensayo, con los obtenidos en los ensayos acelerados de la cámara salina y la cámara de arco de xenón.

### **3.1. RESULTADOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

Para determinar la relación entre el deterioro de cada sistema de pintura y la contaminación atmosférica se analizaron los datos de SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y PM10; recolectados por Corpaire durante el tiempo de exposición (mayo – octubre, 2009). En las estaciones Valle de los Chillos y San Gabriel (Belisario), se cuenta con los datos de monitorización de las estaciones ubicadas en el mismo sitio de ensayo; pero en la estación Pinturas Cóndor se analizarán los datos de las estaciones más cercanas, Guamaní y El Camal, debido a que no existe monitorización en esta localidad.

El uso de dichos datos proporciona únicamente valores aproximados sobre las condiciones atmosféricas de esta estación. Sin embargo, al recopilar información de años anteriores, se puede estimar el grado de contaminación de cada sector. (Aldás y Valle, 2007)

#### **3.1.1. ANÁLISIS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN**

##### **3.1.1.1. Estación Pinturas Cóndor**

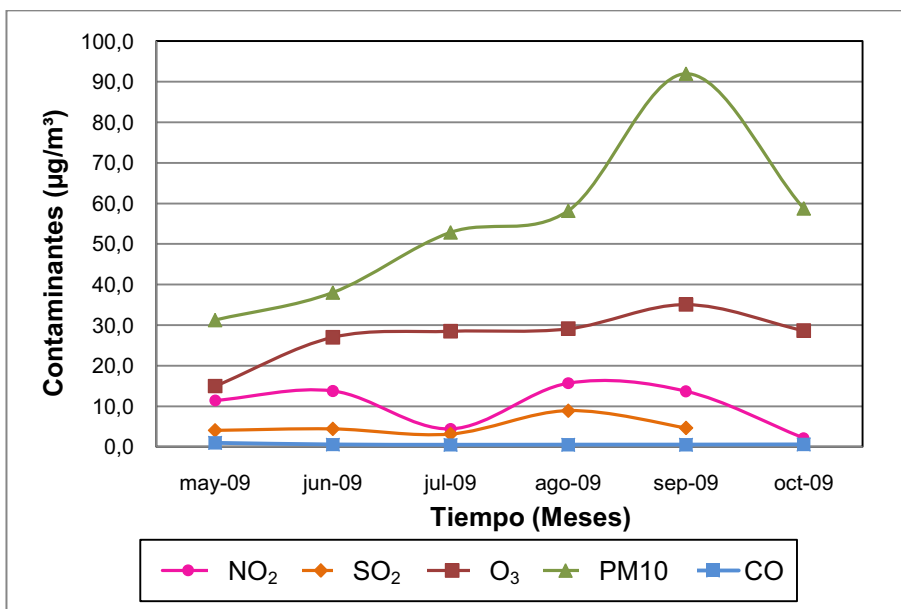
En la Figura 3.1, se observa que los valores de los contaminantes presentan un incremento considerable en el cuarto y quinto mes (agosto y septiembre), debido quizá al incremento del flujo vehicular por vacaciones y el comienzo de un nuevo año lectivo, respectivamente, y un decremento en el último mes por la finalización de estos eventos.

El incremento considerable de PM10 en el mes de septiembre es causado por la reducción de lluvia, que fomentó la generación de emisiones importantes por

incendios forestales. En esta estación la generación de PM es la fuente industrial. (Corpaire, 2009)

La tendencia del  $\text{NO}_2$  es la misma que la del  $\text{SO}_2$ , debido a que estos contaminantes provienen de las mismas fuentes, motores de combustión interna, gases industriales, etc.

A partir de agosto, se registró un incremento de  $\text{O}_3$ , alcanzando en septiembre el valor medio mensual más alto, que se explica en parte por los mayores niveles de radiación solar. (Corpaire, 2009)



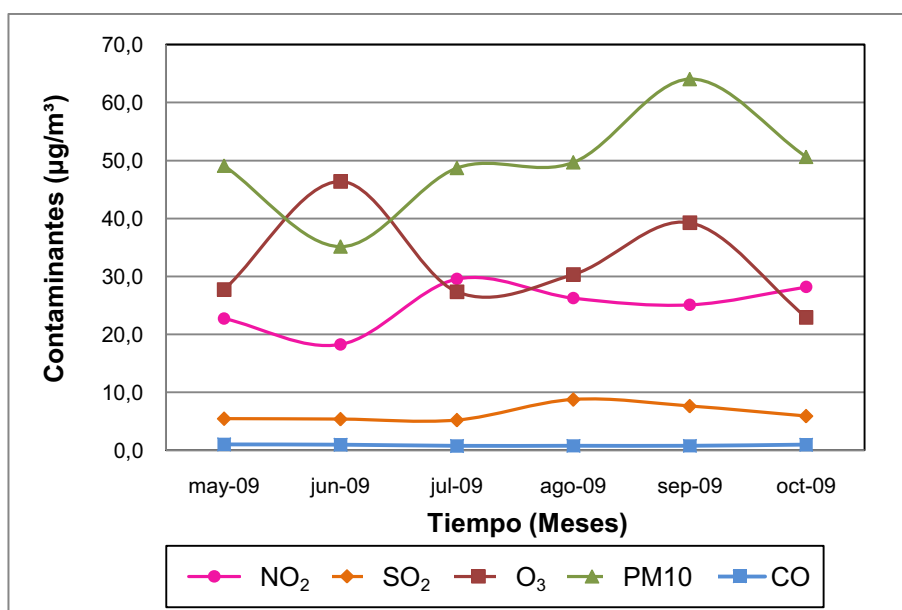
**Figura 3.1.** Cantidad de contaminantes en la estación Pinturas Córdor

### 3.1.1.2. Estación San Gabriel

Como se observa en la Figura 3.2, los contaminantes que predominan en esta estación son el material particulado y el ozono, seguidos del dióxido de nitrógeno y en cantidades muy pequeñas el SO<sub>2</sub> y el CO. El incremento de PM10 en el mes de septiembre es causado quizá por los vientos de verano y la ausencia de lluvia. El principal componente en todas las fuentes es el polvo de ciudad. El segundo factor en importancia es el tráfico vehicular, ligeramente mayor en esta estación.

El pequeño decremento de NO<sub>2</sub> en los meses de agosto y septiembre y del SO<sub>2</sub> en septiembre es provocado por la disminución del tránsito, ya que en estos meses hay vacaciones en escuelas y colegios, y el tránsito por esta zona disminuye.

Al igual que en la estación Pinturas Cóndor, a partir de agosto existe un incremento de ozono que llega a un valor máximo en septiembre, debido a que son meses de verano donde existe menor nubosidad e incrementa la radiación solar. (Corpaire, 2009)



**Figura 3.2.** Cantidad de contaminantes en la estación San Gabriel

### 3.1.1.3. Estación Valle de los Chillos

De acuerdo con la Figura 3.3, el incremento de dióxido de azufre en el mes de agosto se produce quizá por el incremento del tránsito vehicular, debido a que en temporada de vacaciones este sector es muy visitado por tener variedad de balnearios. Se produce un decremento en el mes de septiembre y un incremento en el mes de octubre por el aumento de tráfico vehicular por entrada a clases.

Para las tres estaciones se produce un incremento de de PM10 en el mes de septiembre, debido a la ausencia de lluvias por ser un mes de verano. El incremento del material particulado en esta estación, tiene una contribución importante por el desgaste de frenos y llantas, a más de las emisiones propias del tráfico vehicular. En esta estación existe un mayor incremento de ozono en el mes de septiembre, debido a que en esta zona existe mayor incidencia de radiación solar. (Corpaire, 2009)

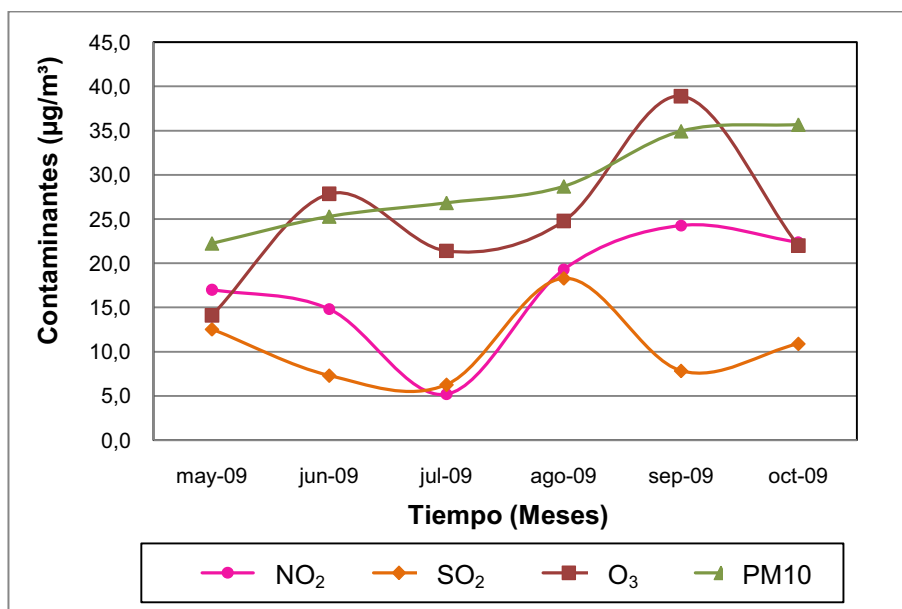


Figura 3.3. Cantidad de contaminantes en la estación Valle de los Chillos

### 3.1.2. COMPARACIÓN ENTRE ESTACIONES

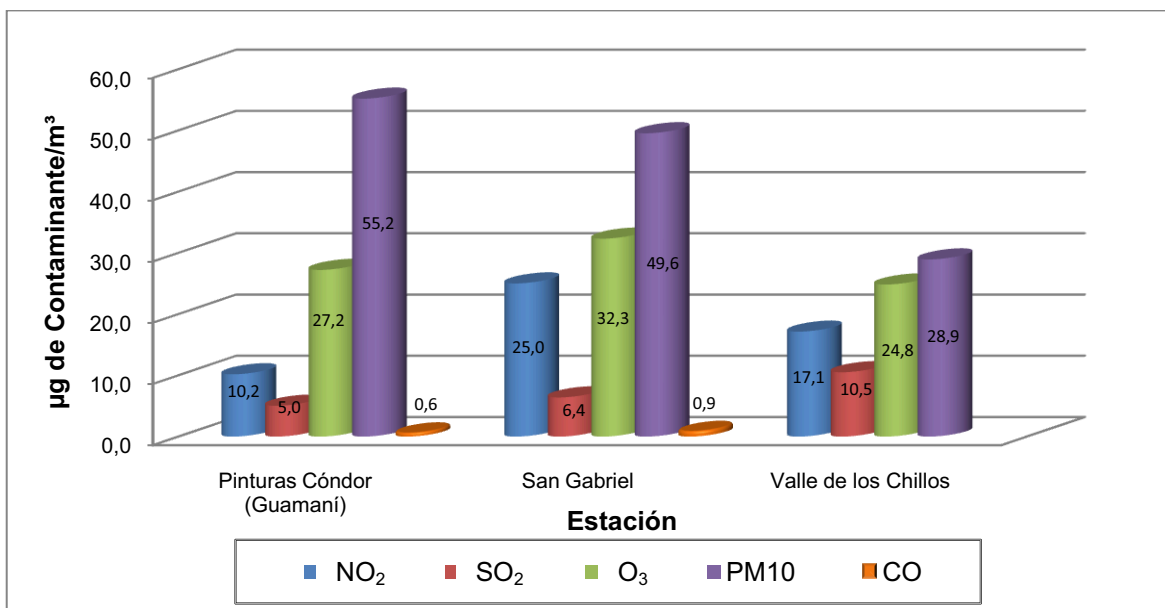
En la Figura 3.4 se presentan, para cada estación, gráficos de valores promedios para los diferentes contaminantes, durante los seis meses de exposición de los revestimientos.

Como era de esperarse, los valores promedios de material particulado (PM10) durante el tiempo de exposición, en la estación de monitorización CORPAIRE localizada en el sector Guamaní son los más elevados, debido a que es un sector altamente industrial con elevado flujo de fuentes móviles. Estos datos hacen que esta estación sea bastante corrosiva.

En el colegio San Gabriel existe presencia elevada de ozono y dióxido de nitrógeno, éste último es el resultado de la emisión gaseosa de motores de combustión interna. Característica notable de este sector, sobre todo en horas pico. Estos contaminantes no contribuyen al fenómeno corrosivo tanto como el SO<sub>2</sub>, lo que provoca que esta estación sea medianamente agresiva, y la menos agresiva de las tres estaciones, en el período de estudio.

La estación Valle de los Chillos presenta menor cantidad de contaminantes que las otras dos estaciones, excepto en el SO<sub>2</sub>. El incremento de dióxido de azufre puede deberse a la cercanía de la estación al Triángulo (sector San Rafael), lugar muy transitado por transporte liviano y pesado durante todo el día. Mientras mayor es la contaminación atmosférica con SO<sub>2</sub>, principal contaminante corrosivo después de los cloruros, mayor es la velocidad de corrosión; con esto se señala que esta estación es la más agresiva de las tres estaciones analizadas.





**Figura 3.4.** Cantidad de contaminantes presentes en las diferentes estaciones (PM10= material particulado)

Como las cantidades de CO son mínimas en las estaciones Pinturas Cóndor (Guamaní) y Colegio San Gabriel, y para Valle de los Chillos no existen datos de CO, no se puede determinar la influencia de este contaminante sobre la corrosión de los sistemas de pintura.

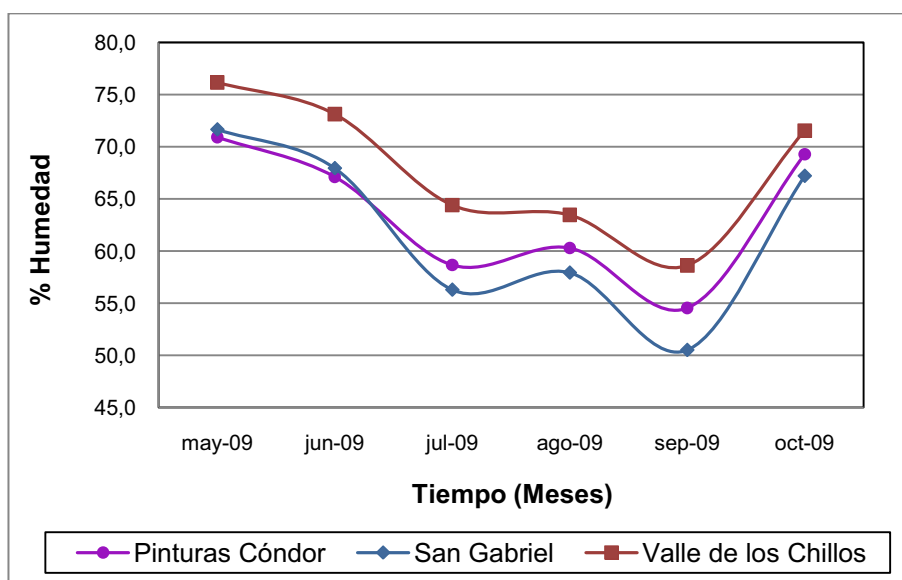
### 3.2. RESULTADOS DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

Los parámetros meteorológicos analizados en cada una de las estaciones son: porcentaje de humedad, precipitación, radiación solar y temperatura. De igual manera que con la información de contaminación atmosférica, los datos meteorológicos proporcionados por Corpaire no están completos, y para la estación Pinturas Cóndor se consideraron los datos de la estación El Camal.

### 3.2.1. ANÁLISIS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN

#### 3.2.1.1. Humedad Relativa

Como se indica en la Figura 3.5, la humedad relativa en todas las zonas presenta valores menores en los meses julio, agosto y septiembre, debido a que son meses de verano y valores mucho mayores en los meses invernales: mayo, junio y octubre.

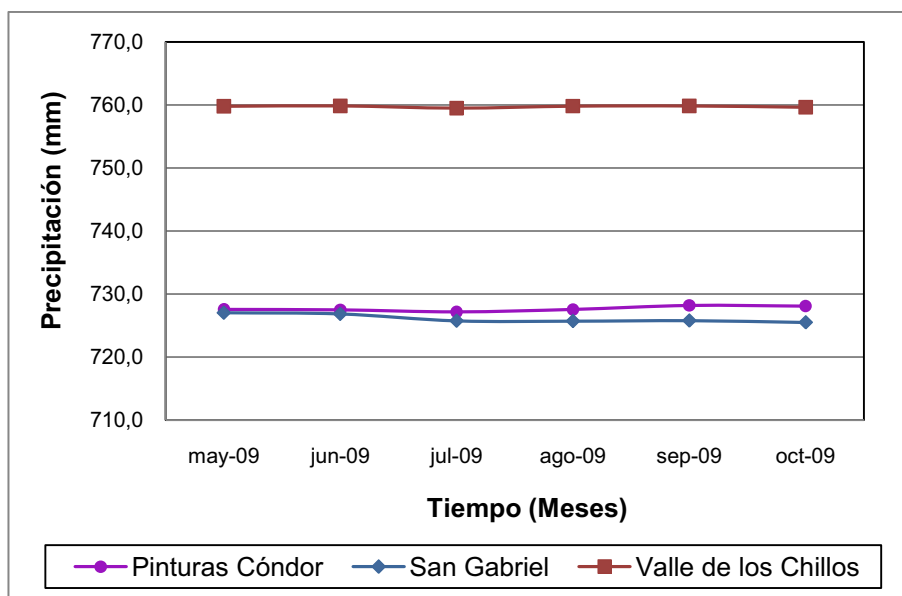


**Figura 3.5.** Porcentaje de Humedad Relativa en cada mes de exposición

#### 3.2.1.2. Precipitación

Respecto a la cuantificación de la precipitación, como se observa en la Figura 3.6, permanece prácticamente constante a lo largo del tiempo de exposición, estableciéndose una notable diferencia entre los valores del Valle de los Chillos y los valores de las otras dos estaciones que resultan ser muy parecidos. Durante todo el año 2009 hubo un descenso de lluvia en todas las estaciones con respecto

al valor promedio 2005-2008. La única excepción se registró en Los Chillos, estación que presentó un pequeño incremento. (Corpaire, 2009)

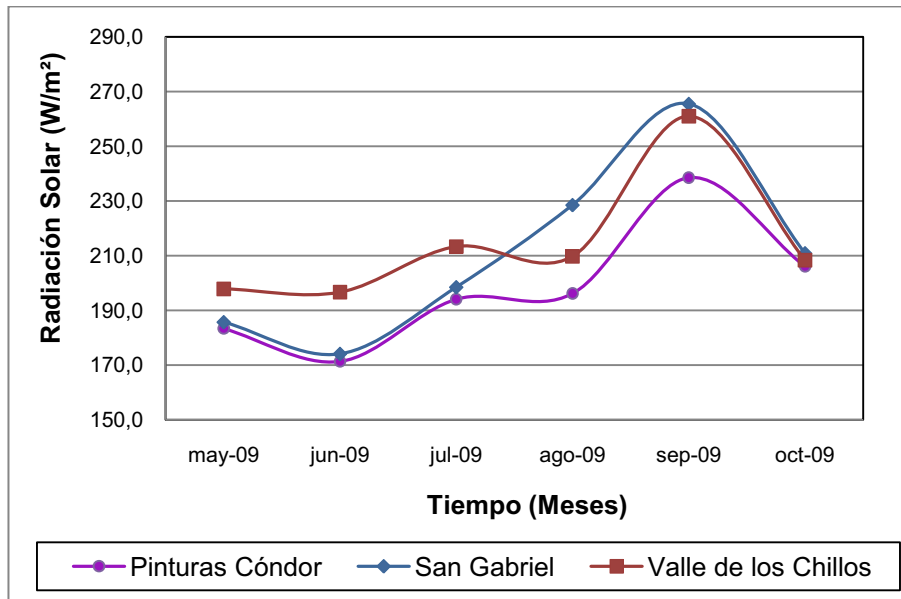


**Figura 3.6.** Precipitación en cada mes de exposición

Las lluvias y su distribución temporal incide en la variabilidad de las concentraciones de material particulado y contaminantes gaseosos. En general la lluvia reduce el tiempo de permanencias de los contaminantes del aire. (Corpaire, 2009)

### 3.2.1.3. Radiación Solar

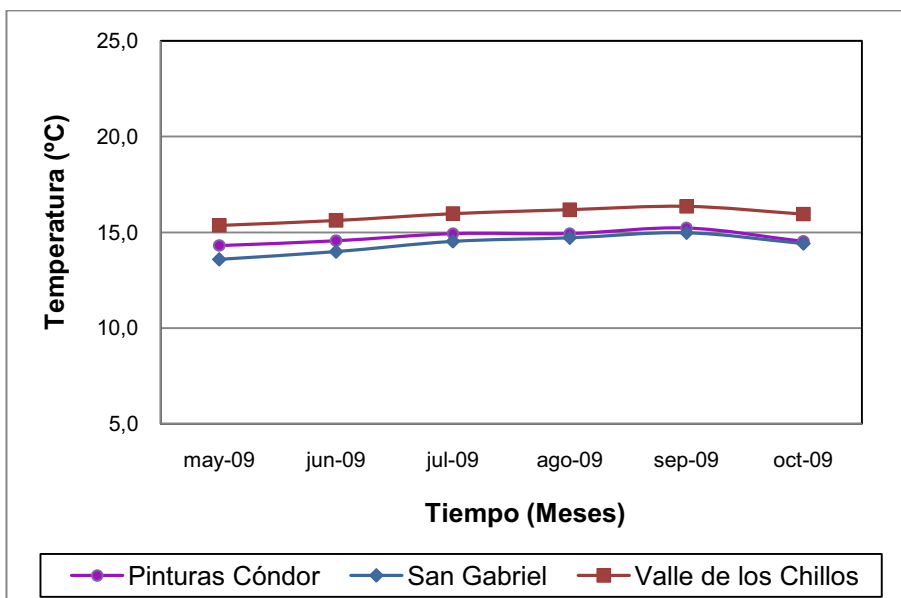
De la información recolectada de radiación solar en la Figura 3.7, se observa que las tres estaciones tienen una tendencia muy parecida, es decir se presenta un incremento en los meses de verano y un decremento en los meses de invierno. Esto se debe a que en los meses de verano existen más días claros, es decir, hay presencia de pocas nubes en el cielo, que permiten el paso de mayor cantidad de radiación UV. Además, en verano se produce una disminución del espesor de la capa de ozono, encargada de absorber los rayos UV; en invierno, pasa todo lo contrario. (Davis y Sims, 1986)



**Figura 3.7.** Radiación Solar en cada mes de exposición

#### 3.2.1.4. Temperatura

Como se muestra, en la Figura 3.8, la temperatura de las tres estaciones sigue la misma tendencia, la diferencia radica en el valor de la temperatura.

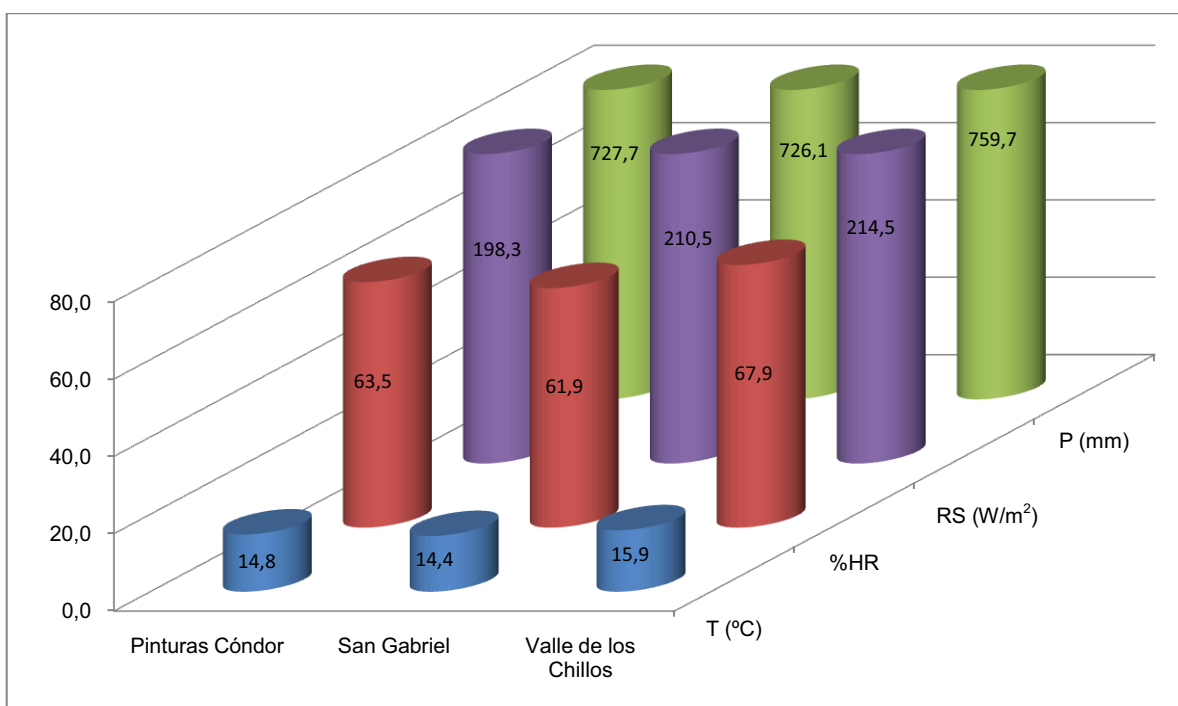


**Figura 3.8.** Temperatura en cada mes de exposición

La diferencia de temperaturas entre las tres estaciones está ligada directamente con la altitud. Respecto a este parámetro, la estación más alta es San Gabriel, seguida de Pinturas Cóndor y la más baja el Valle de los Chillos. Es clara la relación inversa entre estas dos variables. Los días de mayor temperatura y radiación solar contribuyen a la generación de ozono troposférico, pero también favorecen el movimiento y dispersión de los contaminantes por el incremento de la velocidad del viento durante el día. (Corpaire, 2009)

### 3.2.2. COMPARACIÓN ENTRE ESTACIONES

En la Figura 3.9 se presenta un resumen del promedio de cada parámetro meteorológico, durante los seis meses de exposición, para las tres estaciones de ensayo.



**Figura 3.9.** Cantidad de contaminantes presentes en las diferentes estaciones

Con los datos de la Figura 3.9 se indica que la estación Valle de los Chillos es la que presenta los valores más elevados de todos los fenómenos analizados. No obstante, las diferencias no son marcadas.

La estación San Gabriel presenta valores más bajos en porcentaje de humedad, temperatura y precipitación que las otras dos estaciones, pero valores intermedios de radiación solar, con valores muy cercanos a la radiación del Valle de los Chillos. Pero la presencia de altos niveles de ozono evita que este parámetro tenga una influencia considerable sobre los revestimientos, debido a que el ozono absorbe la radiación UV, (Rabek, 1995).

Mientras que la estación Pinturas Cóndor (El Camal) presenta los menores valores de radiación solar, de las tres zonas estudiadas, ya que se caracteriza por ser un lugar nublado; como se mencionó anteriormente, las nubes evitan el paso de los rayos UV.

Si existiese más radiación en la zona de Pinturas Cóndor, esta estación sería mucho más agresiva, ya que la combinación de material particulado, (Pinturas Cóndor tiene la mayor cantidad de material particulado) con valores más altos de radiación UV, produciría un incremento potencial en la degradación del revestimiento. (Rabek, 1995)

Por lo mencionado anteriormente, al ser la estación Valle de los Chillos la que mayor precipitación (lluvias) posee, sería la que menos contaminantes posee en el aire, y estos contaminantes se habrían depositado sobre las placas, pero, luego de depositarse, la lluvia puede haber producido un efecto de lavado. Además de la alta radiación UV y de la humedad de esta zona, también influiría la presencia de  $\text{SO}_2$ . La estación San Gabriel en cambio al tener la menor cantidad de lluvias, sería la que menor cantidad de contaminantes depositados sobre las placas tendría.

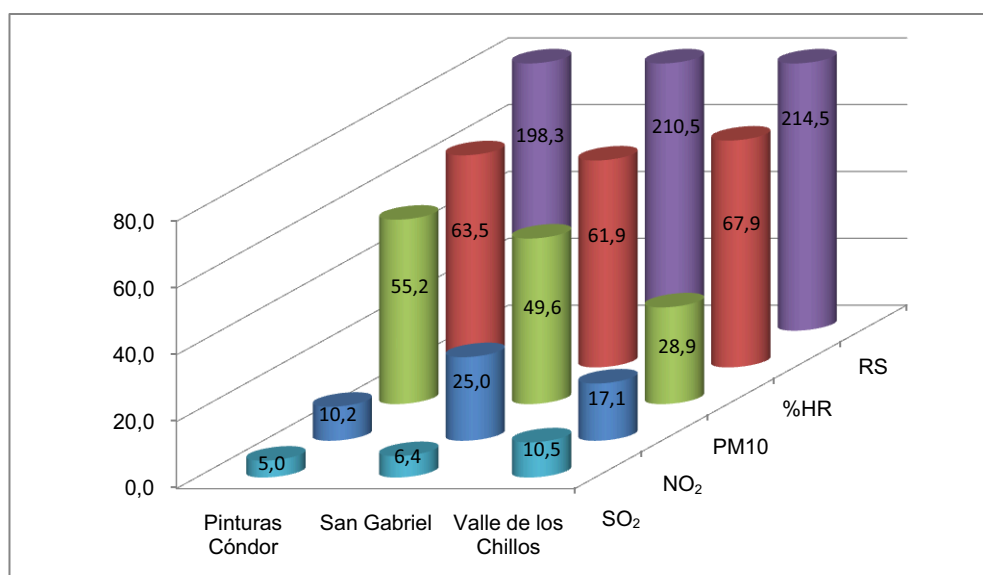
Con estos resultados, se podría establecer que la zona menos perjudicial en cuanto a sus parámetros meteorológicos analizados es la estación San Gabriel,

seguida de Pinturas Cóndor (El Camal), y la más dañina la estación Valle de los Chillos.

### 3.2.3. PARÁMETROS AMBIENTALES MÁS INFLUYENTES

Al realizar un análisis de la influencia de los parámetros ambientales, Figura 3.10, se pudo determinar la agresividad de cada una de las estaciones de ensayo.

Estableciéndose que la degradación es mayor en la estación Valle de los Chillos, ya que presenta el porcentaje más alto de humedad relativa y los valores más altos de  $\text{SO}_2$  y radiación solar, seguida por la estación Pinturas Cóndor donde la corrosión se ocasiona principalmente por la alta humedad y la presencia de gran cantidad de material particulado. Finalmente, la estación menos agresiva es la de San Gabriel, donde la corrosión se origina principalmente por la radiación solar y por la presencia de  $\text{NO}_2$ . La radiación, como se mencionó anteriormente, no influye considerablemente por el ozono, y el dióxido de nitrógeno tampoco, porque no hay mucha precipitación.



**Figura 3.10.** Parámetros más influyentes en la degradación de los revestimientos

Los datos completos de los parámetros meteorológicos y de los contaminantes proporcionados por la Corpaire, se encuentran en el Anexo I.

### 3.3. EVALUACIÓN DEL DETERIORO DE LOS SISTEMAS DE PINTURA

Para analizar el deterioro de cada sistema de pintura, como se mencionó anteriormente, estaba previsto utilizar estándares de apreciación visual; más, los únicos que se pudieron emplear fueron el estándar ASTM D 610 y el ISO 105-A2, debido a que las pinturas presentaron únicamente corrosión y pérdida de color.

La cuantificación de la corrosión mediante estos estándares se muestra en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3, y con más detalle en el Anexo I. Además, esto está ilustrado y sustentado mediante gráficos y fotografías de cada probeta, en las Figuras 3.11, a 3.19. Los valores indicados para el mes cero representan las fallas iniciales de los revestimientos.

**Tabla 3.1.** Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D610 para la estación Pinturas Cóndor

Sistema de Pintura	Tiempo de Exposición													
	Mes 0		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
Ensayo 1	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,67	9,67	9,33	9,67
Ensayo 2	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,67	10,00	9,33	9,67
Ensayo 3	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	9,33	9,67	8,33	9,00	8,00	8,67	6,67	7,67
Ensayo 4	9,00	9,33	7,00	7,33	5,33	6,00	4,67	4,67	3,67	3,67	2,67	3,00	1,67	2,67
Ensayo 5	10,00	10,00	8,67	9,00	7,67	7,67	7,00	6,67	6,00	5,67	5,00	5,33	4,33	4,33
Ensayo 6	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	9,33	9,00	8,67	8,00	8,00	7,67	7,33	7,33
Ensayo 7	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,00	9,00	8,67	8,00	8,33	7,67	8,00



**Tabla 3.2.** Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D610 para la estación San Gabriel

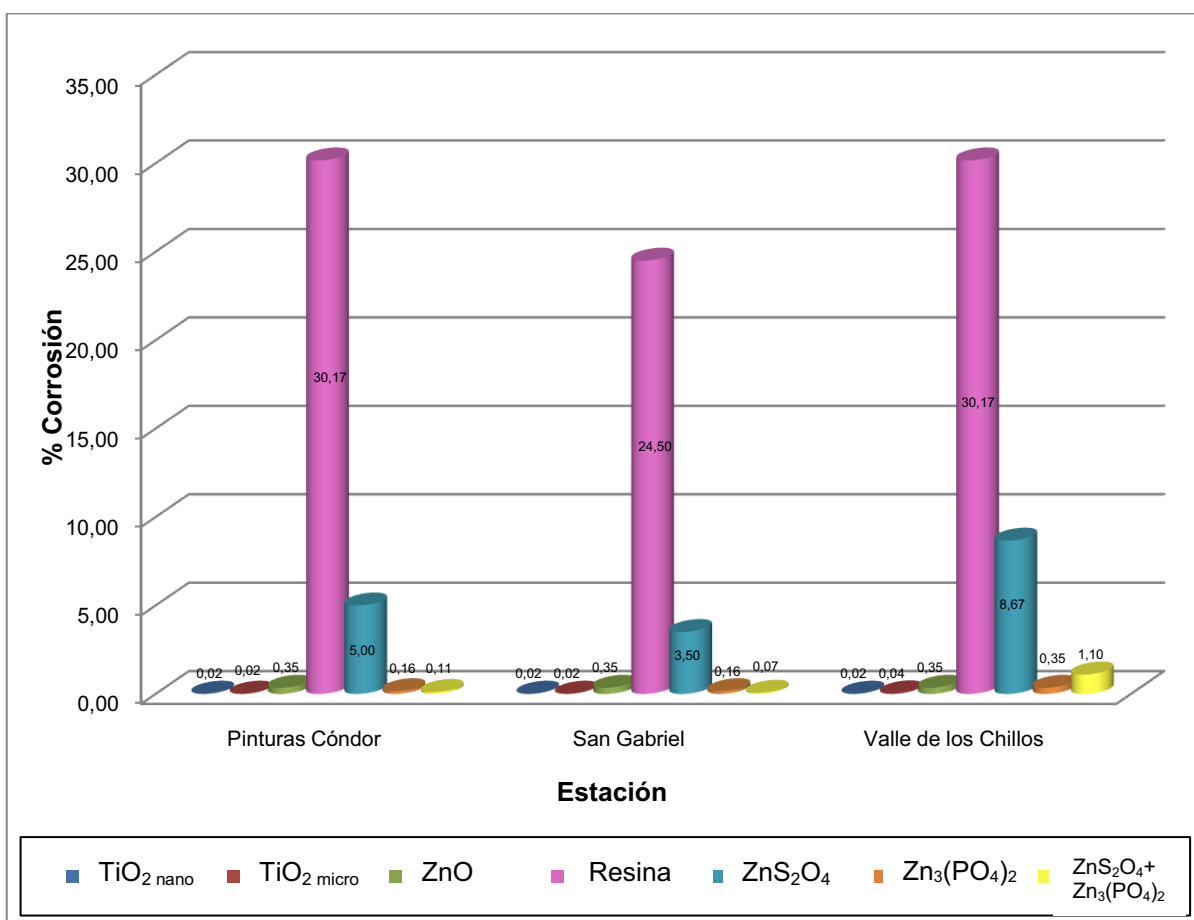
Sistema de Pintura	Tiempo de Exposición														
	Mes 0		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		
	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	
Ensayo 1	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,33	9,67
Ensayo 2	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,67
Ensayo 3	10,00	10,00	10,00	10,00	8,67	9,67	8,67	9,67	8,00	9,67	7,67	8,67	6,67	7,67	
Ensayo 4	9,67	9,33	7,33	7,67	5,33	6,67	5,33	6,33	4,33	6,00	3,00	5,33	2,00	4,67	
Ensayo 5	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	7,67	7,67	7,33	7,00	5,67	5,67	4,67	5,00	
Ensayo 6	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,00	9,00	8,33	8,67	8,00	8,33	7,33	7,67	
Ensayo 7	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,00	9,33	8,33	8,67	8,00	8,33	

**Tabla 3.3.** Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D610 para la estación Valle de los Chillos

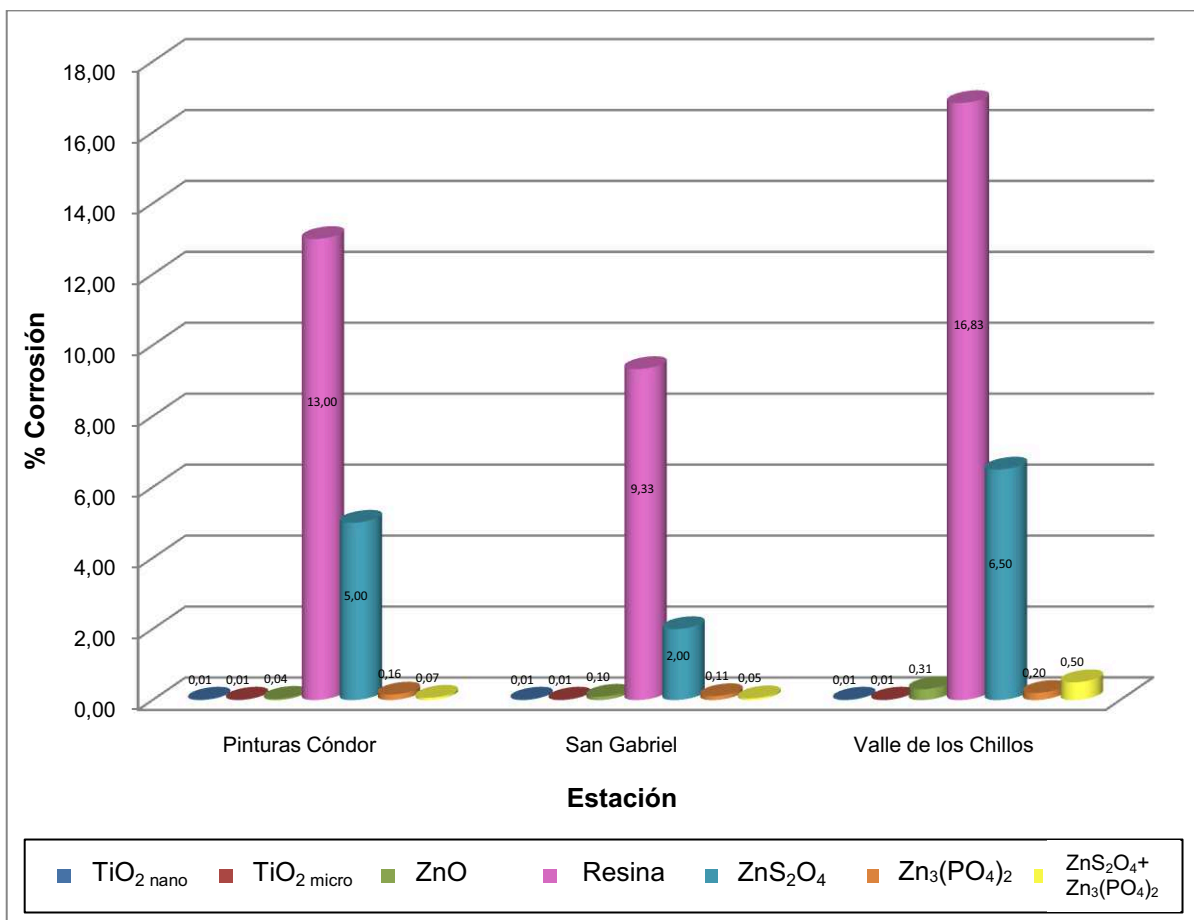
Sistema de Pintura	Tiempo de Exposición														
	Mes 0		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		
	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	
Ensayo 1	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,33	9,67	9,00	9,67
Ensayo 2	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,67	8,67	9,67	8,67	9,67	
Ensayo 3	10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,67	8,67	9,33	7,67	7,67	7,00	7,67	6,33	6,67	
Ensayo 4	8,33	9,33	6,67	7,67	5,33	6,33	3,00	4,33	2,33	4,33	2,00	3,33	1,33	2,33	
Ensayo 5	10,00	10,00	8,33	8,67	7,33	7,67	6,00	6,33	5,00	5,00	4,67	5,00	3,67	4,00	
Ensayo 6	10,00	10,00	9,67	10,00	9,00	9,33	8,33	8,33	8,00	7,67	7,33	7,33	6,67	7,00	
Ensayo 7	10,00	10,00	10,00	10,00	9,00	9,67	8,33	8,67	7,67	7,67	6,67	7,00	5,67	6,33	

### 3.3.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE PINTURA

En las Figuras 3.11, y 3.12 se observa que el sistema que más se corroe en las tres estaciones, tanto en el lado expuesto como en el lado no expuesto, es el ensayo 4 (resina), debido a que en su formulación no existe ningún tipo de pigmento o carga que inhiba el ataque corrosivo; mientras que los sistemas de pintura que mayor protección anticorrosiva proveen son los ensayos 1 y 2 ( $\text{TiO}_2$  nano y  $\text{TiO}_2$  micro) que presentan porcentajes de corrosión muy aproximados en las tres localidades.

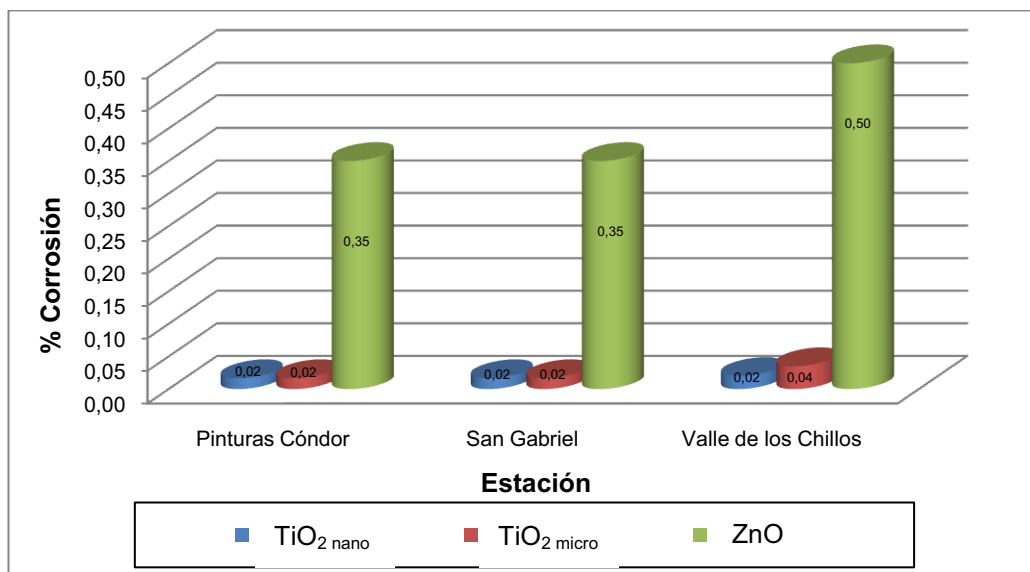


**Figura 3.11.** Evaluación comparativa del lado expuesto (LA) de todos los sistemas de pintura a los seis meses de exposición

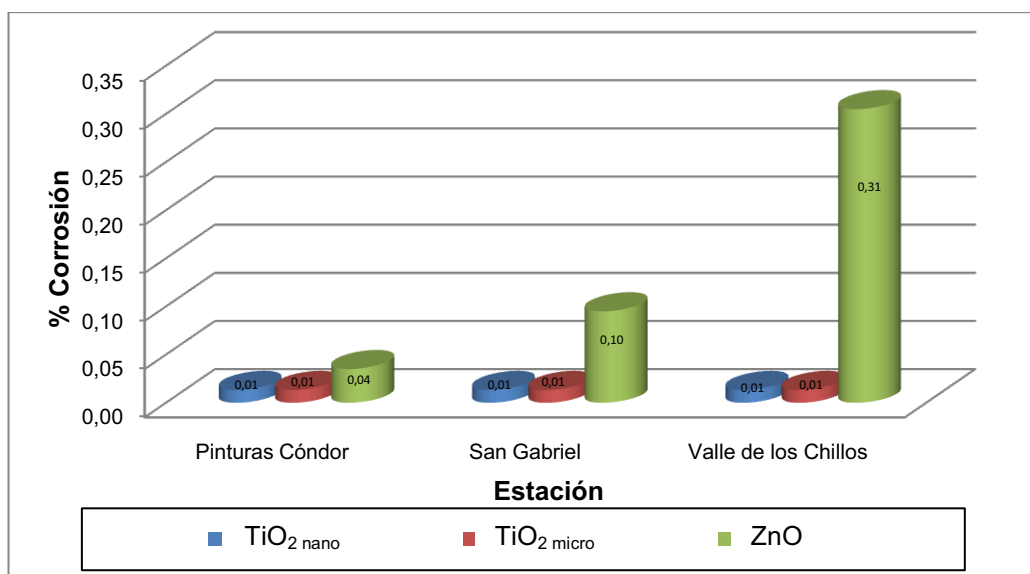


**Figura 3.12.** Evaluación comparativa del lado no expuesto (LP) de todos los sistemas de pintura a los seis meses de exposición

Para poder visualizar con mayor claridad la protección de los sistemas de pintura al sustrato, se dividieron los sistemas de pintura en dos grupos. En el primero, los ensayos TiO<sub>2</sub> nano, TiO<sub>2</sub> micro y ZnO y, en el segundo, los ensayos ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. La división se realizó de acuerdo con las características similares que presentaron los revestimientos después de la exposición. Por ejemplo, el primer grupo presenta porcentajes bajos de corrosión y amarillamiento, mientras que los del segundo grupo evidencian pérdida de color y mismo tipo de corrosión. En las Figuras 3.13 a 3.16, se presentan gráficos más desglosados de los sistemas de pintura:



**Figura 3.13.** Evaluación comparativa del lado anterior de los ensayos TiO<sub>2</sub> nano, TiO<sub>2</sub> micro y ZnO a los seis meses de exposición



**Figura 3.14.** Evaluación comparativa del lado posterior de los ensayos TiO<sub>2</sub> nano, TiO<sub>2</sub> micro y ZnO a los seis meses de exposición

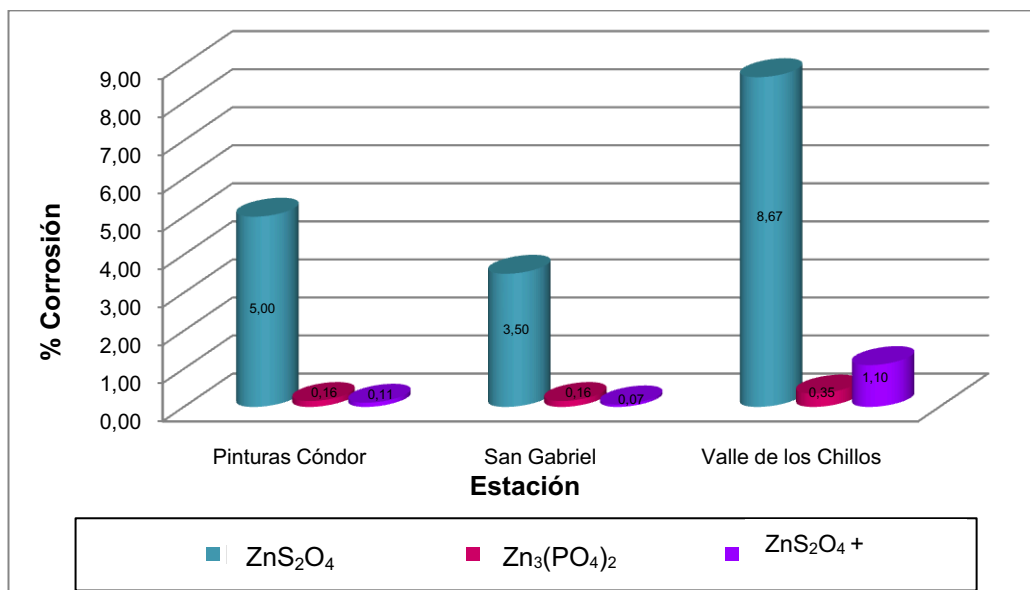
Los resultados obtenidos en el presente proyecto de titulación son similares a los resultados obtenidos por Norman y Radhakrishnan, detallados en el subcapítulo 1.1.6.1, a pesar de la gran diferencia en la formulación en los revestimientos, se observa que las nanopartículas proporcionan mayor protección al sustrato.

Las Figuras 3.13 y 3.14 nos indican que el ensayo con ZnO es el que presenta mayor porcentaje de corrosión, y que los ensayos TiO<sub>2</sub> nano y TiO<sub>2</sub> micro proveen la misma protección al sustrato metálico, excepto en la estación Valle de los Chillos, donde la corrosión del TiO<sub>2</sub> micro es ligeramente mayor a la del TiO<sub>2</sub> nano. Los resultados ligeramente favorables del TiO<sub>2</sub> nano respecto al TiO<sub>2</sub> micro, se deben a que las nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, al ser una mezcla de rutilo con anatasa, es más fotoactivo que el TiO<sub>2</sub> de tamaño común. Además, el uso de nano anatasa conjuntamente con rutilo, mejora la limpieza de la superficie de la pintura (Norman *et al*, 2004). La protección del TiO<sub>2</sub> nano sería mayor si éste pigmento fuese de clase rutilo, ya que el TiO<sub>2</sub> rutilo provee mejores propiedades a la pintura. (Caprari, 2003)

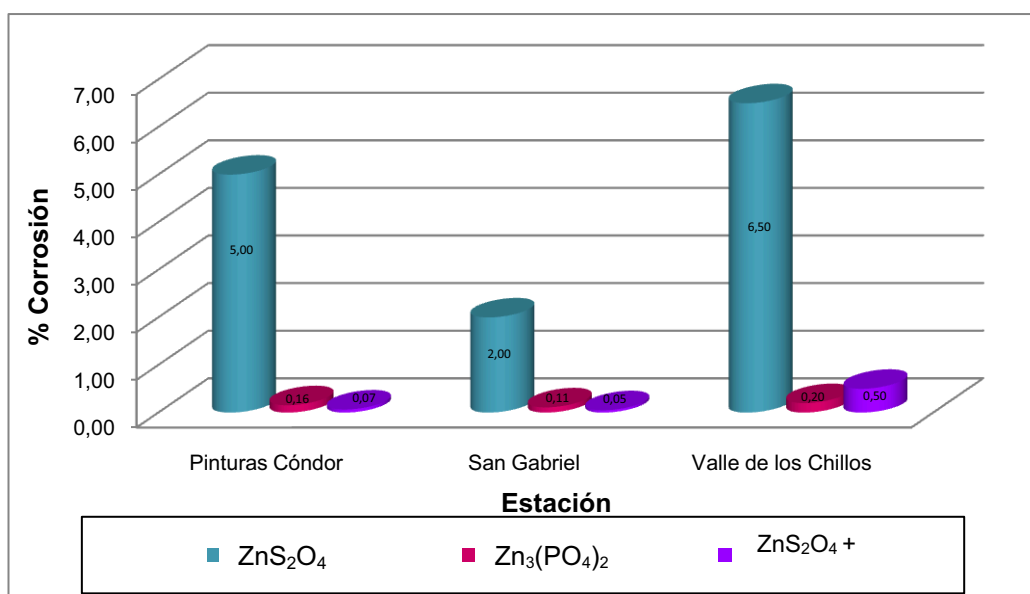
Además, si el TiO<sub>2</sub> nano, es aplicado correctamente, es capaz de proporcionarle a la pintura protección UV, mejor dispersión, incremento en la barrera de difusión y protección contra la corrosión en ambientes agresivos. (Norman *et al*, 2004 y Radhakrishnan *et al*, 2007)

Por lo tanto, como se mencionó anteriormente, los ensayos TiO<sub>2</sub> nano y TiO<sub>2</sub> micro, poseen mejores características de protección anticorrosiva. No obstante, el uso de nanopartículas en la formulación empleada, no presentaría mayores ventajas debido a que el dióxido de titanio nano muestra prácticamente las mismas propiedades del dióxido de titanio micro.

Es preciso enfatizar que en el ensayo 3 (ZnO) la cantidad de pigmento en su formulación es muy baja, en comparación con el porcentaje de TiO<sub>2</sub> nano y TiO<sub>2</sub> micro (solamente 1,53% de óxido de zinc nanoparticulado); proveen mayor protección que los ensayos 5, 6 y 7 (hidrosulfito de zinc, fosfato de zinc, hidrosulfito y fosfato de zinc, respectivamente), sin embargo, que estos si tienen en su formulación pigmentos anticorrosivos, a pesar de este hecho, el ZnO provee mayor protección anticorrosiva que éstos últimos. Estos resultados se presentan en las Figuras 3.15 y 3.16.



**Figura 3.15.** Evaluación comparativa del lado anterior de los ensayos 5, 6 y 7 a los seis meses de exposición



**Figura 3.16.** Evaluación comparativa del lado posterior de los ensayos 5, 6 y 7 a los seis meses de exposición

En las Figuras 3.15 y 3.16 se visualiza que, entre los ensayos ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, el más vulnerable al ataque atmosférico es el que posee ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Los otros dos ensayos presentan porcentajes de corrosión muy bajos, especialmente el ensayo ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> debido quizá a que contiene un 3,7% de pigmentos anticorrosivos. A esto le beneficia también la mezcla de las resinas de cadena corta y larga (Holmberg, 2006). Para éste caso, las cantidades

de resina corta y larga utilizadas, son muy aproximadas, 20,6% y 18,6% (total 39,2% de resina, que es un porcentaje alto) respectivamente; lo que produce que la resina resultante tenga propiedades intermedias entre las propiedades de cada resina. Por lo que mejora la resistencia química, la flexibilidad del film y la velocidad de secado respecto a los ensayos 5 ( $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ ) y 6 ( $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ ). En el ensayo 7 ( $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + \text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ ), además, de la protección brindada por el fosfato de zinc, está la protección del hidrosulfito de zinc que, al descomponerse en agua deja libre al zinc que se pega a la superficie del acero y crea una película de zinc con alta conductividad eléctrica capaz de sacrificarse anódicamente para proteger al sustrato. (Quiminet, 2006)

La protección de los pigmentos utilizados en el ensayos 6 ( $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ ) está basada en la acción inhibidora del fosfato de zinc, que podría paulatinamente fosfatar la superficie del acero al carbono, transformándola en pasiva gracias a la formación de hidróxido de zinc, y a liberación de iones fosfato que reaccionan con el agua de la lluvia formando ácido fosfórico. Cuando este producto reacciona con el acero forma una capa mixta de fosfato de hierro y zinc, de solubilidad muy baja e igual a  $3,0 \times 10^{-17}$ . Además, en las características de este sistema de pintura, influyen las propiedades de la resina corta (buena resistencia química) y el mayor porcentaje de resina (36%), que le provee a la pintura mejores propiedades que el ensayo 5 ( $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ ). (Amirudin, et al, 1994; Buxbaum y Pfaff, 2005, Caprari 2003).

En el ensayo 5 ( $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ ), el hidrosulfito de zinc, debería tener la misma acción protectora que en el ensayo 7 ( $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + \text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ ), pero dicha acción se ve limitada por la influencia del exceso de cargas que posee este sistema de pintura en su formulación, que tiene un valor del 51,3%. Además, se debe considerar que en la fórmula del ensayo con  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ , se utiliza únicamente una bajo porcentaje de resina de cadena larga, que posee baja resistencia química, y no una mezcla de resinas como en el ensayo 7.

### 3.3.2. COMPARACIÓN ENTRE ESTACIONES DE ENSAYO

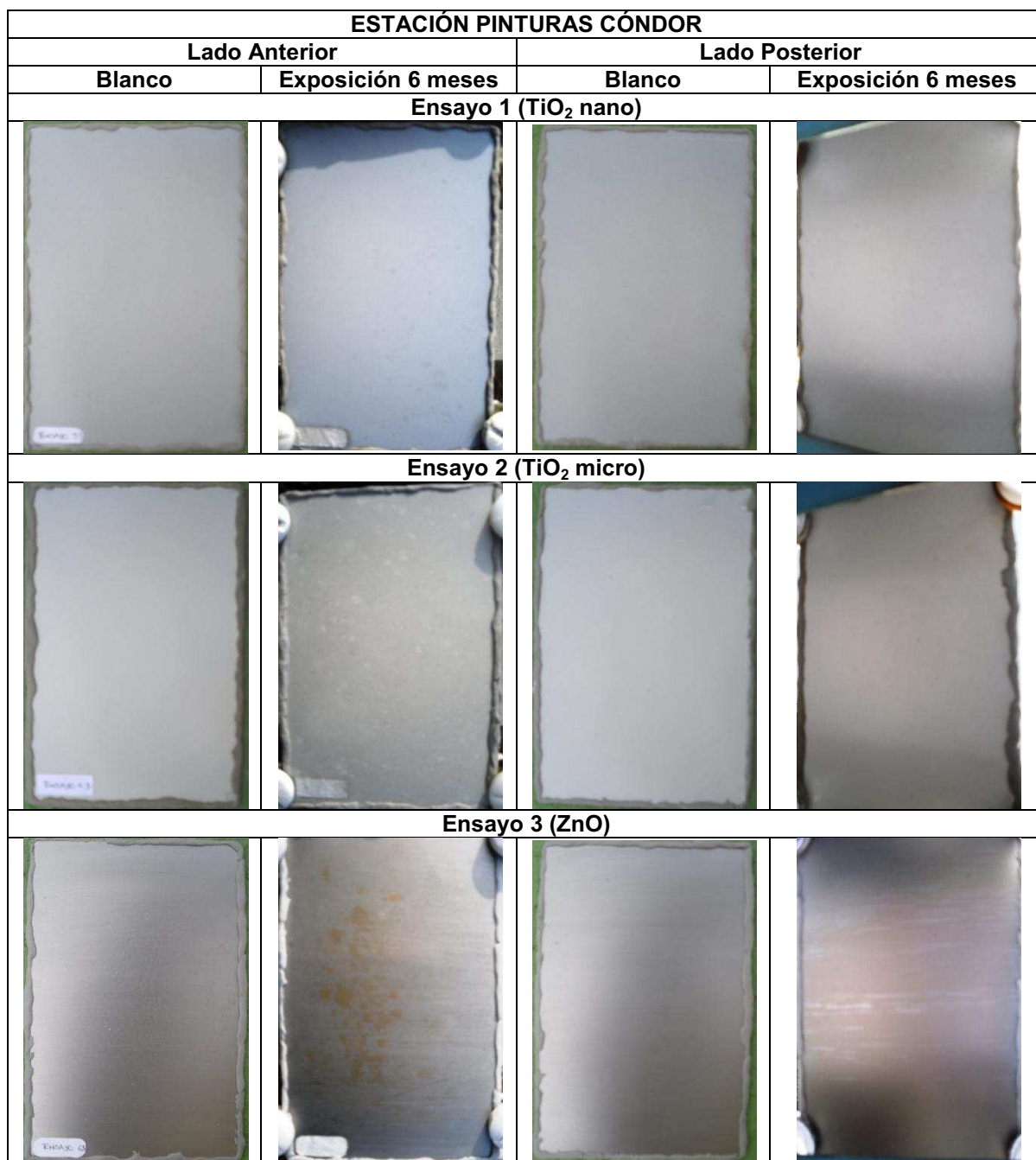
De los resultados, se comprobó que la atmósfera más agresiva es la de la estación Valle de los Chillos con porcentajes de corrosión, para la mayoría de ensayos, mucho mayores que las otras dos estaciones. Por ejemplo, para el lado expuesto del ensayo 3 (ZnO) la corrosión en la estación Pinturas Cóndor y en San Gabriel es 0,35% mientras que en el Valle de los Chillos el porcentaje es 0,50%. Por el contrario, la atmósfera menos agresiva es la zona del Colegio San Gabriel. A pesar de que, tiene el segundo valor más alto de radiación ultravioleta, es preciso considerar lo que menciona Rabek en el capítulo 1, ésta radiación puede ser absorbida por el ozono presente en alta concentración en la atmósfera (Rabek, 1995). Adicionalmente, ésta estación registra una menor temperatura y más bajo porcentaje de humedad, por ello, la degradación de los revestimientos es menor.

La atmósfera de la estación Valle de los Chillos es más agresiva debido a que presenta parámetros meteorológicos promedios, con valores mayores, que las otras dos estaciones como son: una temperatura de 15,9 °C que supera en poco más de 1 °C a las otras dos estaciones; humedad relativa del 67,9% que provocaría tiempos de humectación más prolongados para los revestimientos. Además, presenta el valor más alto de precipitación (759,7 mm) y de radiación solar (214,5 W/m<sup>2</sup>) que, quizá es el hecho que conjuntamente con la humedad, más ha afectado a las pinturas y es la zona con mayor contenido de SO<sub>2</sub>. Esta aseveración, posteriormente, se comprobará con los resultados de espectroscopía de infrarrojos.

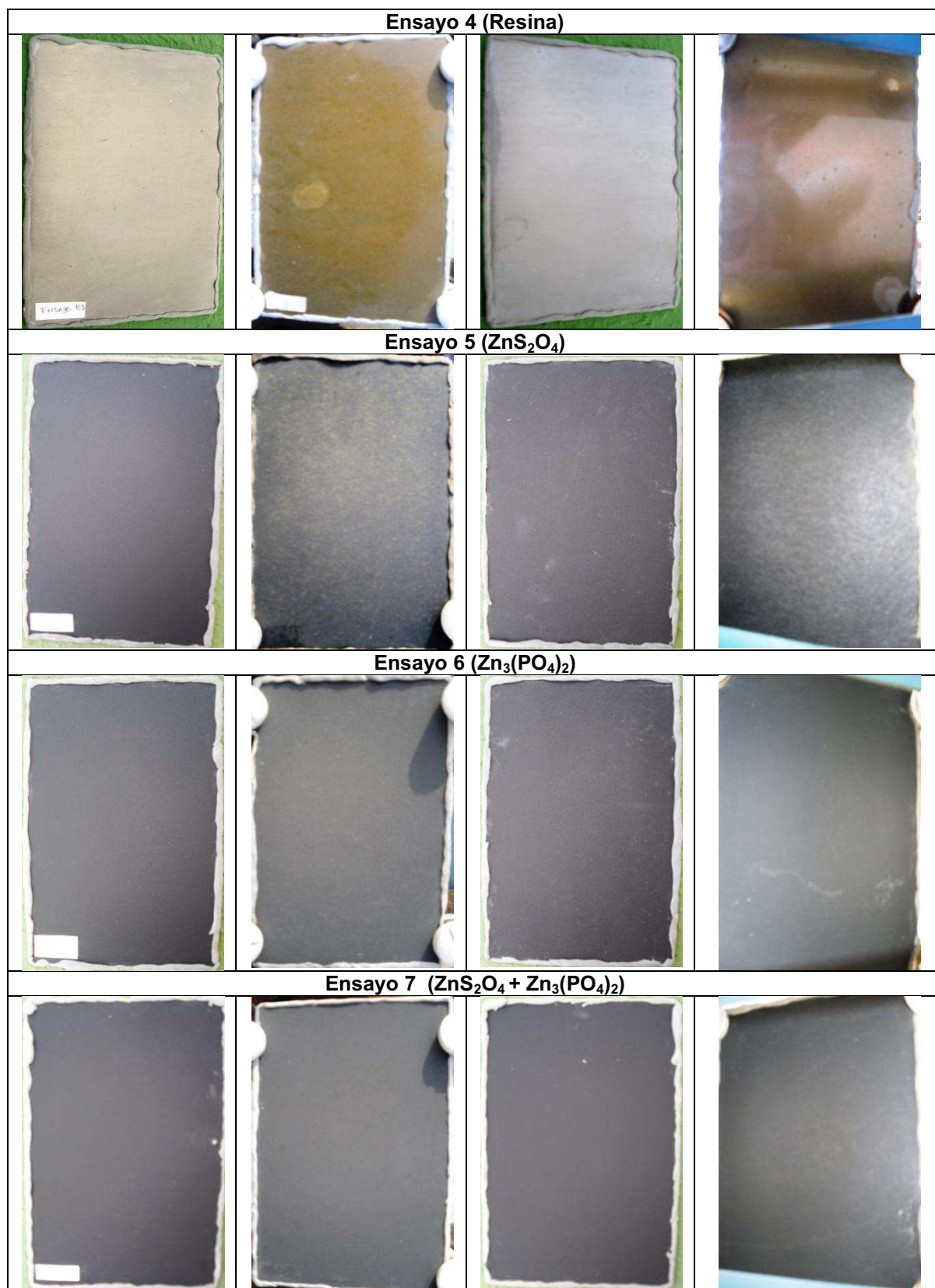
En las Figuras 3.11 a la 3.16, se observa que, en todas las estaciones, el lado anterior de todos los ensayos presenta mayor corrosión que el lado posterior de los mismos, por lo que se puede decir que la radiación ultravioleta combinada con el porcentaje de humedad y la deposición de SO<sub>2</sub>, provoca mayor alteración a las pinturas ensayadas. (Massey, 2000)



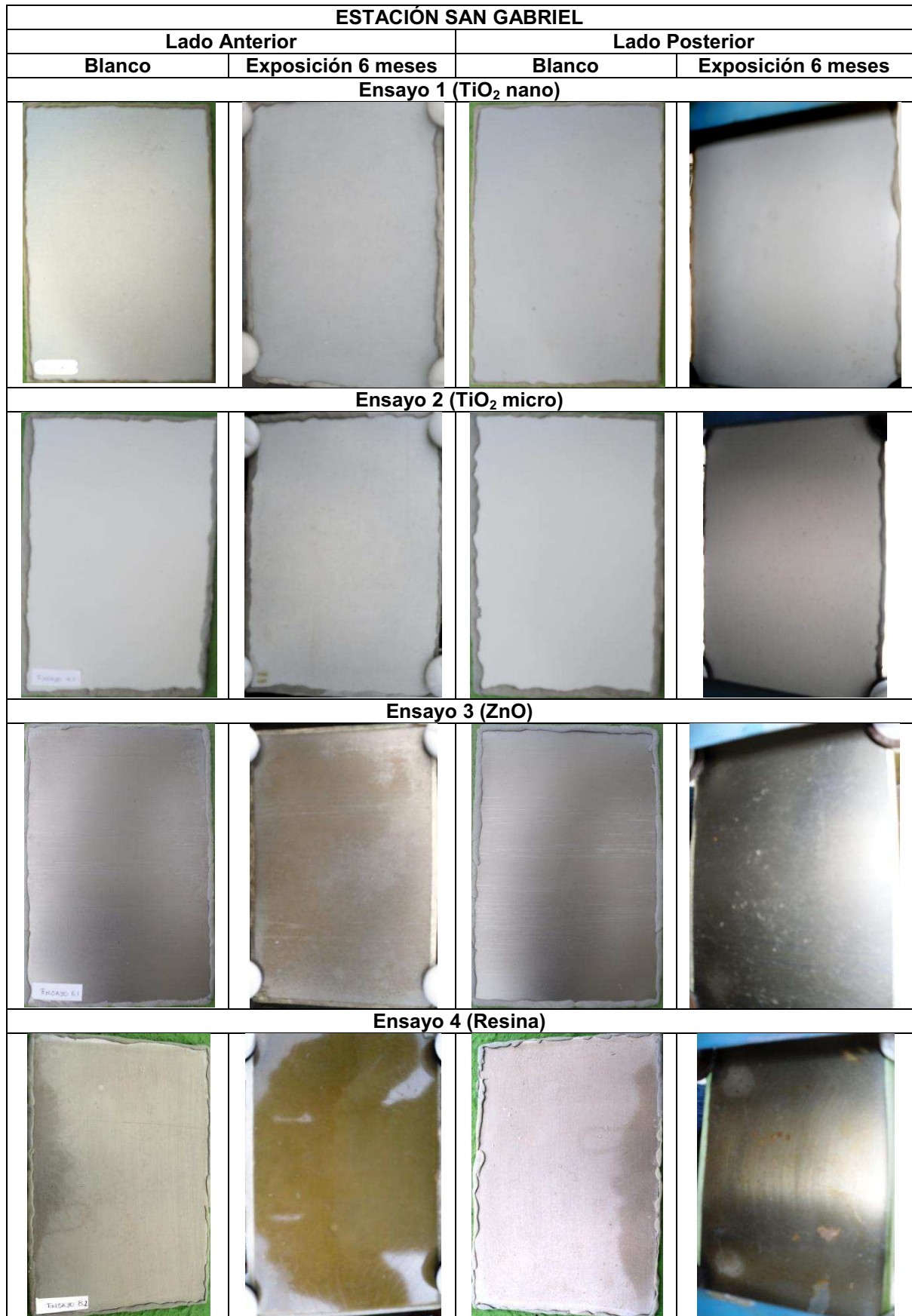
Las Figuras 3.17, 3.18, y 3.19 permiten realizar una comparación visual de la corrosión y pérdida de color de todos los revestimientos, entre la pintura degradada (seis meses de exposición), y un blanco (pintura no expuesta) tanto para el lado expuesto como para el lado no expuesto.



**Figura 3.17.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación Pinturas Cóndor

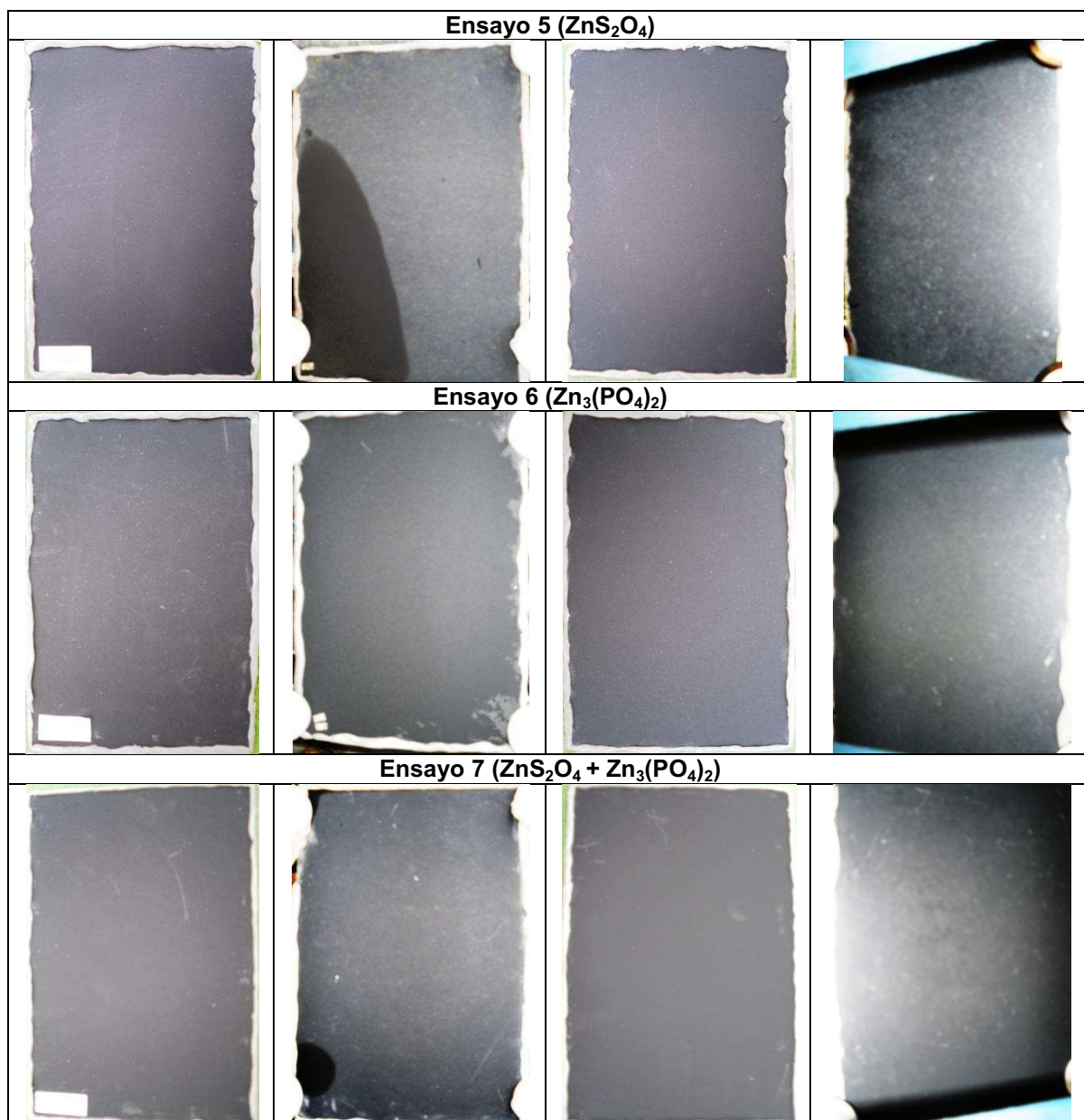


**Figura 3.17. Continuación.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación Pinturas Cóndor

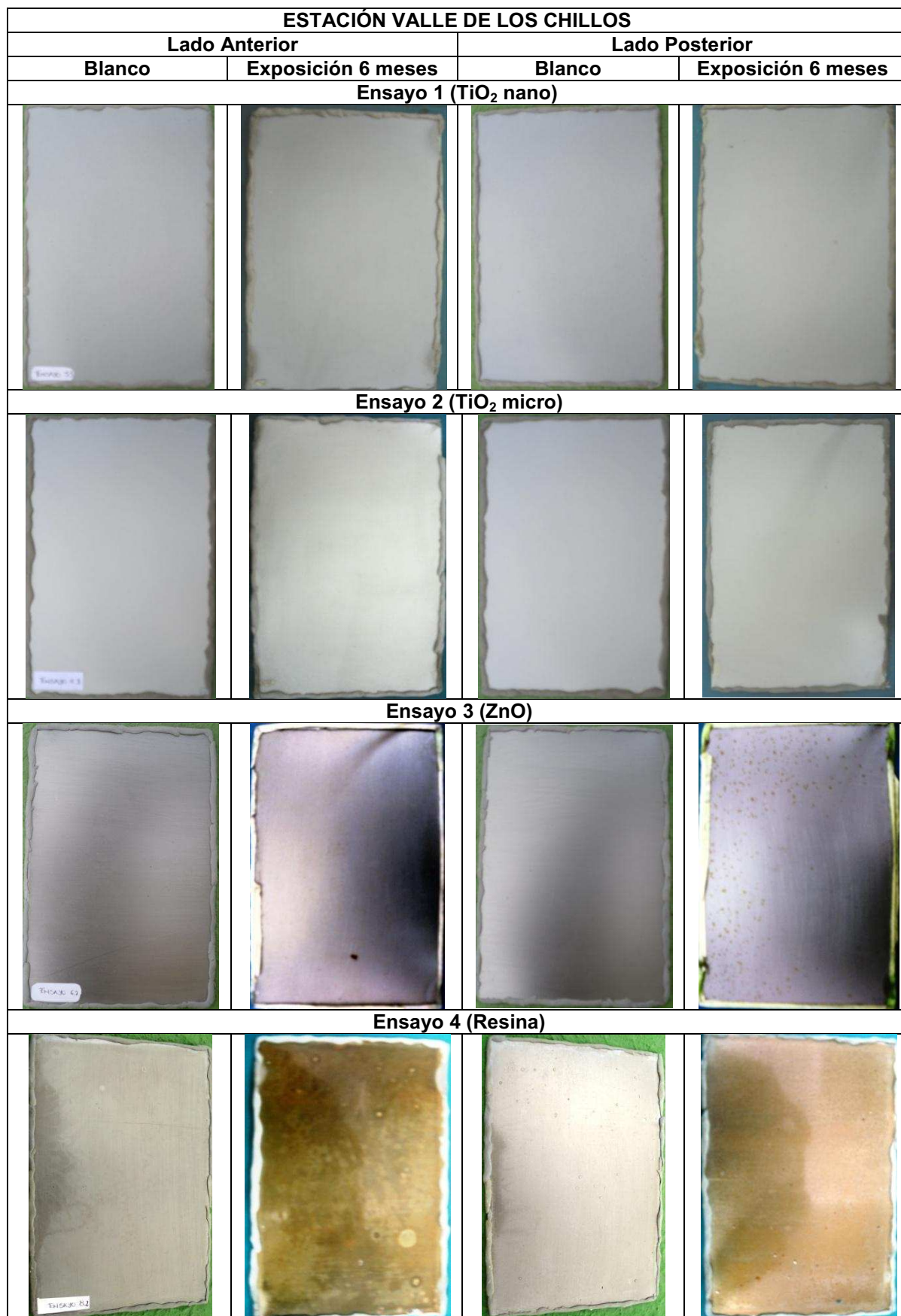


**Figura 3.18.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación San Gabriel

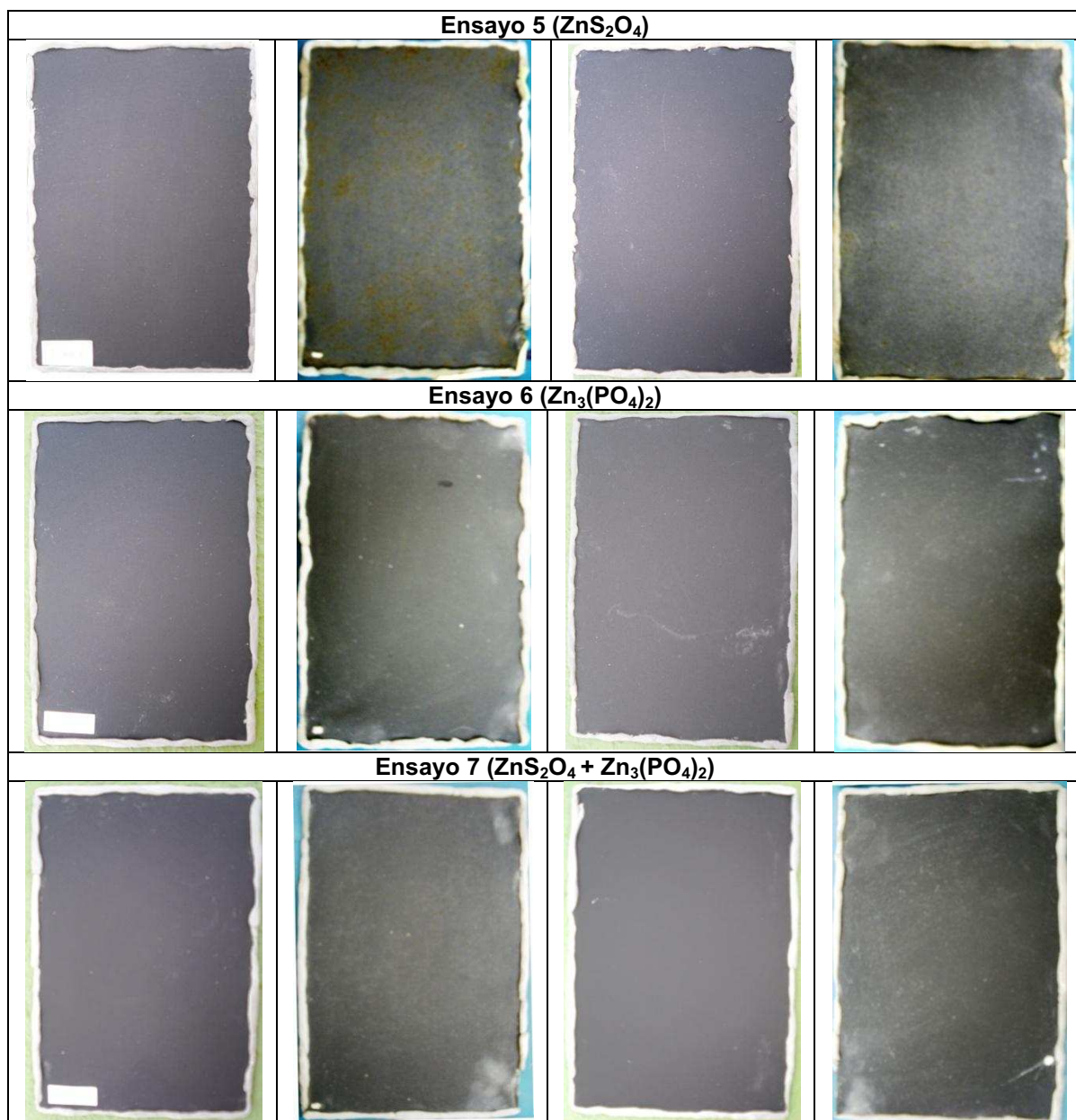




**Figura 3.18. Continuación.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación San Gabriel



**Figura 3.19.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación Valle de los Chillos



**Figura 3.19. Continuación.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas de 6 meses de exposición de la estación Valle de los Chillos

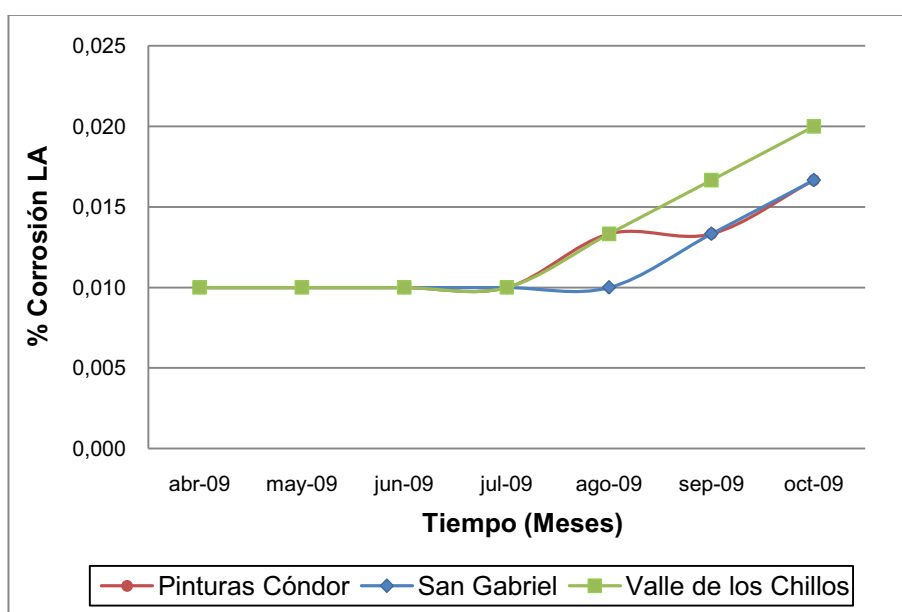
En las Figuras 3.17, 3.18, y 3.19, se aprecia que los ensayo  $\text{TiO}_2$  nano y  $\text{TiO}_2$  micro, presentan un ligero cambio de color que casi no es perceptible, mientras que los ensayos  $\text{ZnO}$  y resina, muestran amarillamiento, que es causada por los rayos ultravioleta de la luz solar. (Hare, 2001)

Lo contrario sucede en los ensayos  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$  y  $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + \text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ , donde la pérdida de color es mucho más notable, especialmente en el ensayo 5

( $ZnS_2O_4$ ). Esta diferencia radica en que estos ensayos contienen mayor cantidad de pigmentos y cargas que por acción de la atmósfera migran a la superficie provocando un color blanquecino en la superficie que se aprecia como pérdida de color.

### 3.3.3. EVOLUCIÓN DEL DETERIORO DEL SISTEMA DE PINTURAS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

En las Figuras 3.20 a 3.23, se muestra cómo fue incrementando el porcentaje de corrosión en función del tiempo de exposición, en el lado anterior y lado posterior de todos los ensayos, y en cada una de las estaciones.

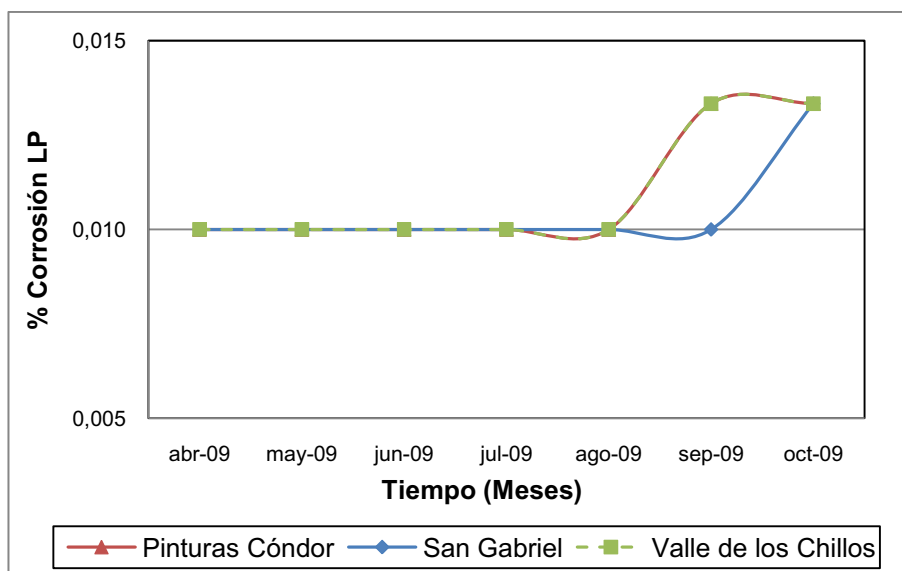


**Figura 3.20.** Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 1 ( $TiO_2$  nano)

En la Figura 3.20 se observa que el lado anterior (lado expuesto) del  $TiO_2$  nano, empieza a corroerse en las estaciones Pinturas Cóndor y Valle de los Chillos después del tercer mes de exposición y en la estación San Gabriel a partir del cuarto mes de exposición, con un porcentaje a los seis meses de exposición de 0,017 para las Estaciones Cóndor y San Gabriel y 0,02 para el Valle de los

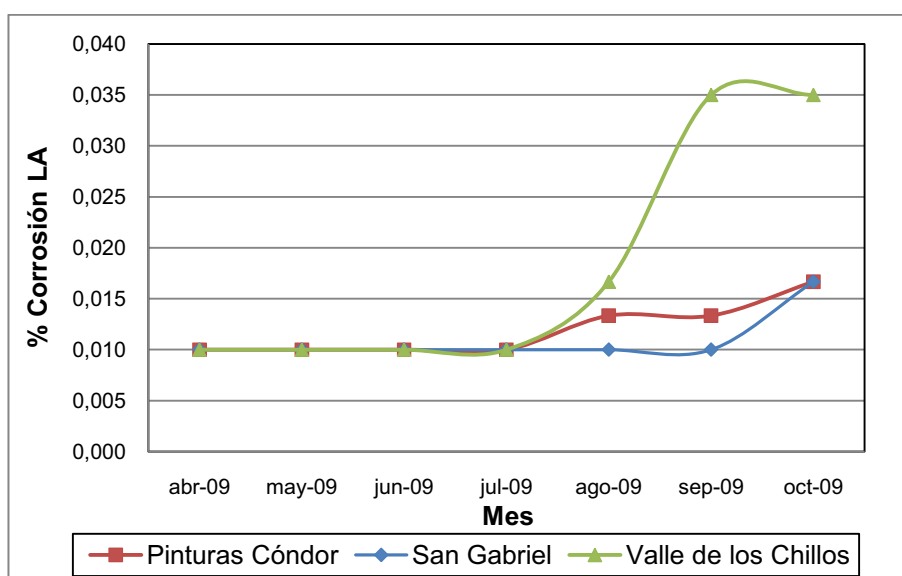


Chillos. Esto ocurre por lo anteriormente mencionado sobre la agresividad de cada atmósfera.



**Figura 3.21.** Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 1 ( $\text{TiO}_2$  nano)

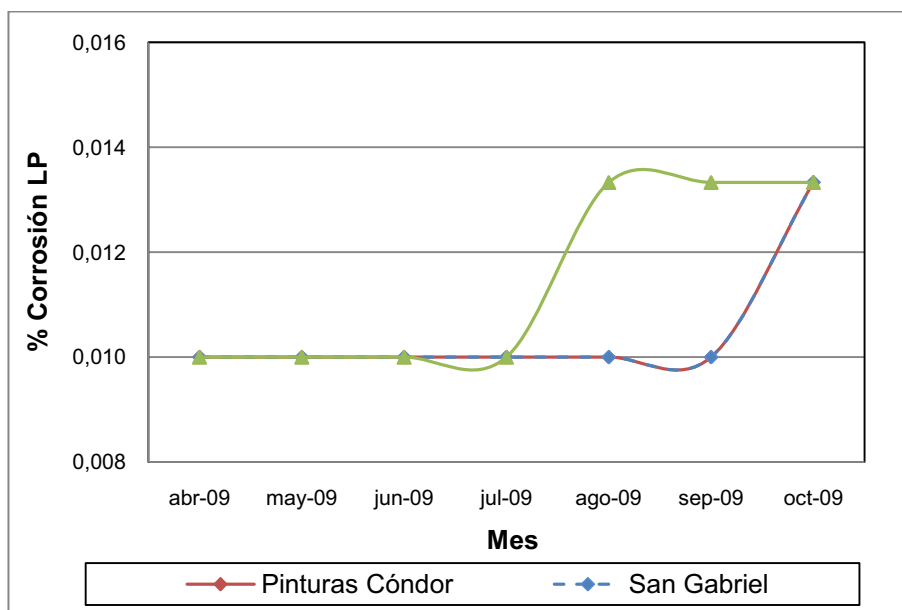
La Figura 3.21 indica que el lado posterior (lado no expuesto) del ensayo  $\text{TiO}_2$  nano, empieza a corroerse al quinto mes, igual que el lado expuesto, en las tres estaciones.



**Figura 3.22.** Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 2 ( $\text{TiO}_2$  micro)



En la Figura 3.22 se observa que el lado anterior del ensayo  $\text{TiO}_2$  micro, en las estaciones Valle de los Chillos y Pinturas C3ndor empieza a corroerse en el cuarto mes de exposici3n, y en la estaci3n San Gabriel en el quinto mes; con porcentajes finales de corrosi3n de 0,035, 0,017 y 0,017, respectivamente, a los seis meses de exposici3n.

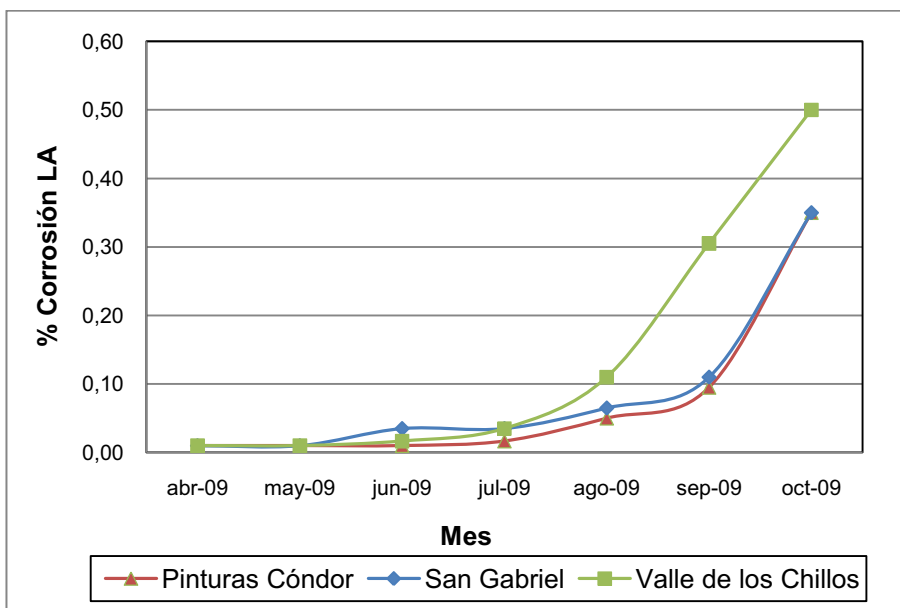


**Figura 3.23.** Porcentaje de corrosi3n del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 2 ( $\text{TiO}_2$  micro)

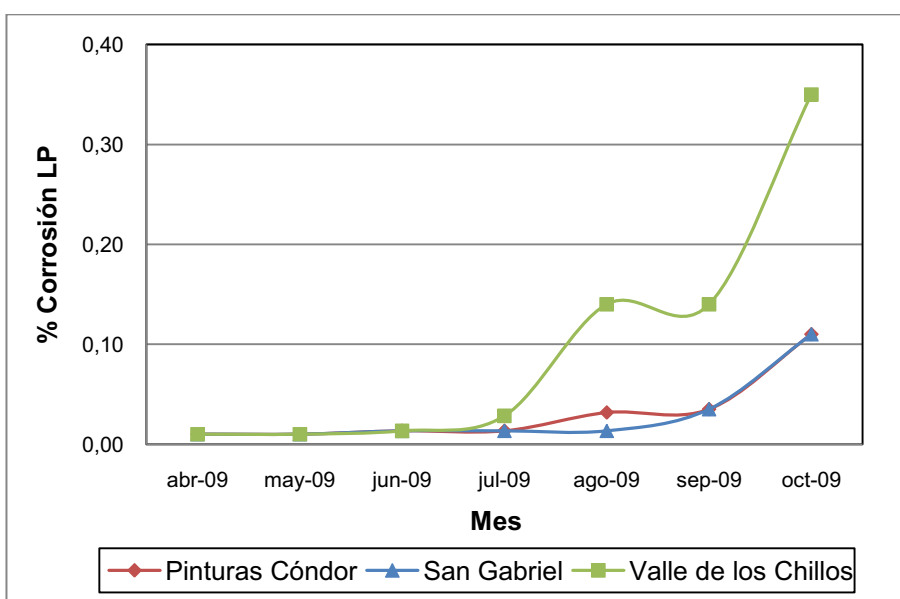
La Figura 3.23, indica que el lado posterior del ensayo  $\text{TiO}_2$  micro empieza a degradarse al mismo tiempo de exposici3n que el lado anterior, con un porcentaje a los seis meses de corrosi3n igual a 0,013. Al igual que el ensayo  $\text{TiO}_2$  nano, este revestimiento presenta porcentajes muy bajos de corrosi3n tanto en el lado anterior como en el lado posterior. Como se mencion3 anteriormente, el di3xido de titanio nanoparticulado en la formulaci3n utilizada en este estudio le otorga a la pintura propiedades muy similares que el di3xido de titanio micronizado.

En la estaci3n Valle de los Chillos, el lado anterior de la probeta recubierta con el  $\text{TiO}_2$  micro se degrada m3s que el lado posterior; en cambio el  $\text{TiO}_2$  nano resiste m3s. En este caso, el  $\text{TiO}_2$  nanoparticulado ofrece mayor protecci3n.

Las Figuras 3.24, y 3.25 indican el comportamiento del lado expuesto y no expuesto del ensayo ZnO, respectivamente. Este sistema de pintura empieza a deteriorarse mucho antes y alcanza mayores porcentajes de corrosión que los ensayos anteriores, pero como se mencionó anteriormente, presenta mejores propiedades que los ensayos  $ZnS_2O_4$ ,  $Zn_3(PO_4)_2$  y  $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ , a pesar de que estos contienen en su formulación pigmentos anticorrosivos.

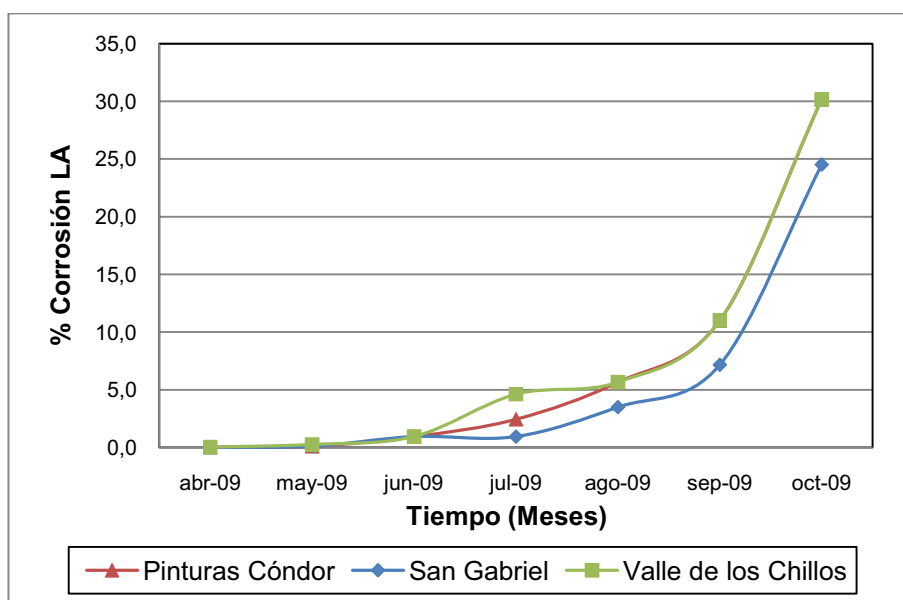


**Figura 3.24.** Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 3 (ZnO)



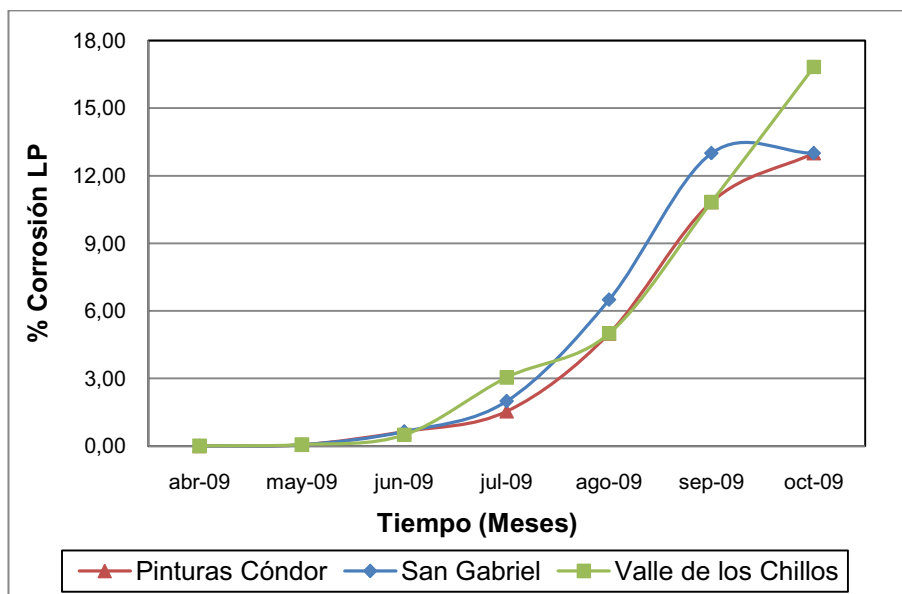
**Figura 3.25.** Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 3 (ZnO)

En las Figuras 3.26, y 3.27 se observa que la resina es la que más rápido empieza a degradarse, desde el primer mes de exposición con porcentajes de corrosión que van incrementando con el transcurso del tiempo, siendo este revestimiento el que mayor porcentaje de corrosión posee a los seis meses de exposición en las tres estaciones, tanto en el lado anterior como en el posterior. La reacción de ésta pintura expuesta a la atmósfera, ya se esperaba, pero como se mencionó en el capítulo anterior, el objetivo de preparar este revestimiento no fue determinar su protección al sustrato sino, mediante espectroscopía de infrarrojos observar los cambios que sufre la resina sin intervención de pigmentos o cargas.



**Figura 3.26.** Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 4 (Resina)

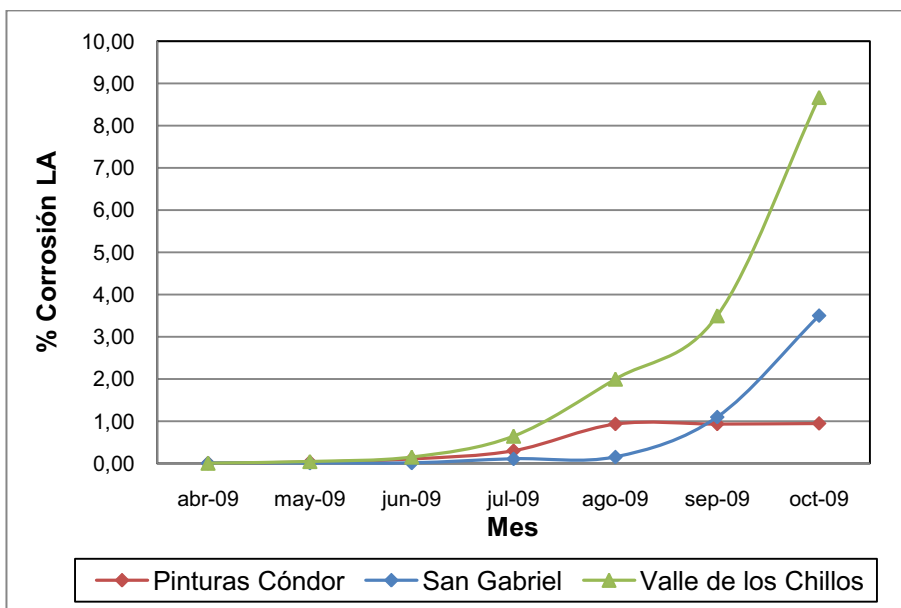
La Figura 3.26 indica el comportamiento del lado expuesto del ensayo 4 (resina), en la estación Pinturas Cóndor y Valle de los Chillos a los seis meses de exposición se alcanza un porcentaje de corrosión del 30,17%; mientras que en la estación San Gabriel se tiene menor porcentaje de corrosión, 24,5%, en dicho período, por lo indicado en el subcapítulo 3.2.2, en el análisis de los contaminantes y parámetros meteorológicos.



**Figura 3.27.** Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 4 (Resina)

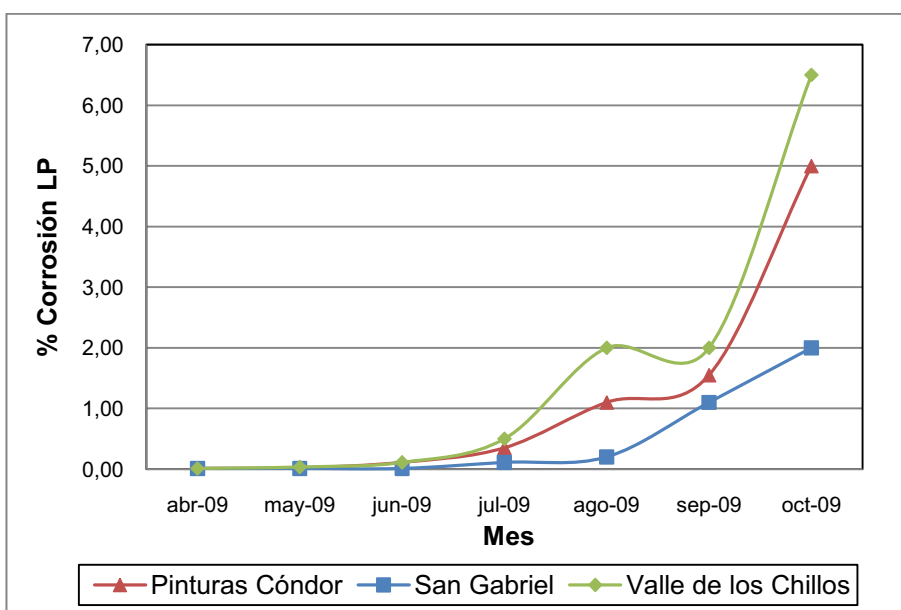
La Figura 3.27 indica el porcentaje final de corrosión del lado no expuesto en función del tiempo para la resina, donde a los seis meses de exposición se presenta que en la estación Pinturas Cónдор se tiene el 13,00%, en San Gabriel 9,33%, y en el Valle de los Chillos el 16,83% de corrosión. En esta figura la probeta expuesta en el colegio San Gabriel presenta mayor corrosión, debido quizá a que el mueble porta-placas se cayó, y las placas sufrieron daños, sobre todo en su parte posterior.

Las Figuras 3.28, y 3.29 indican que el ensayo  $ZnS_2O_4$  es el sistema de pintura más corroído después de la resina, alcanzando porcentaje considerables de corrosión en el lado anterior y posterior.



**Figura 3.28.** Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 5 ( $ZnS_2O_4$ )

En la Figura 3.28 se observa que la estación que más afecta al ensayo con  $ZnS_2O_4$ , es la del Valle de los Chillos donde el porcentaje de corrosión es de 8,67% a los seis meses de exposición, seguida de la estación Pinturas Cóndor con 5,00% y finalmente la estación San Gabriel con 3,5%. Lo cual coincide con los casos anteriores.

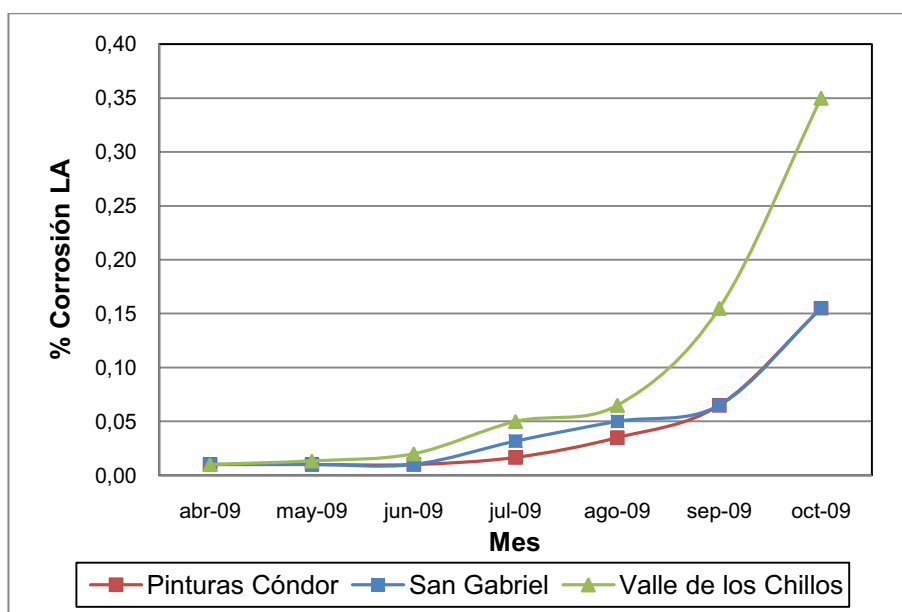


**Figura 3.29.** Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 5 ( $ZnS_2O_4$ )

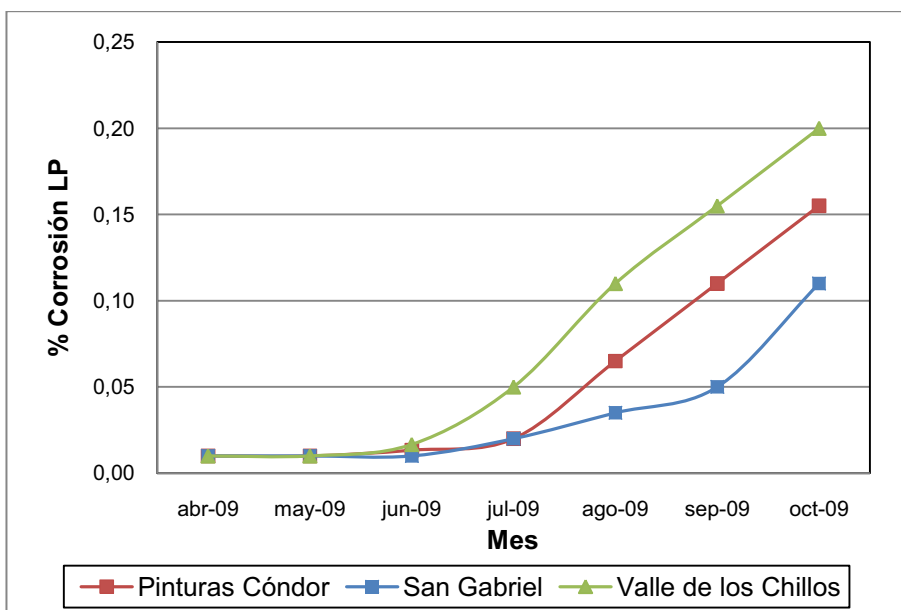
En la Figura 3.29 se observa que el deterioro del lado no expuesto es ligeramente menor que el del lado expuesto. Las estaciones afectan a este lado, de la misma forma que al lado no expuesto.

Al comparar las Figuras 3.30, 3.31, 3.32, y 3.33, se observa que, el comportamiento de los sistemas 6 ( $Zn_3(PO_4)_2$ ) y 7 ( $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ ) es similar. Su degradación empieza a partir del segundo mes de exposición; el porcentaje de corrosión del ensayo  $Zn_3(PO_4)_2$ , es ligeramente mayor al del ensayo  $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ , excepto en la estación Valle de los Chillos, tanto en el lado expuesto como en el no expuesto. Estos niveles de corrosión son bajos, por lo que se dice que los dos sistemas proveen buena protección al sustrato metálico.

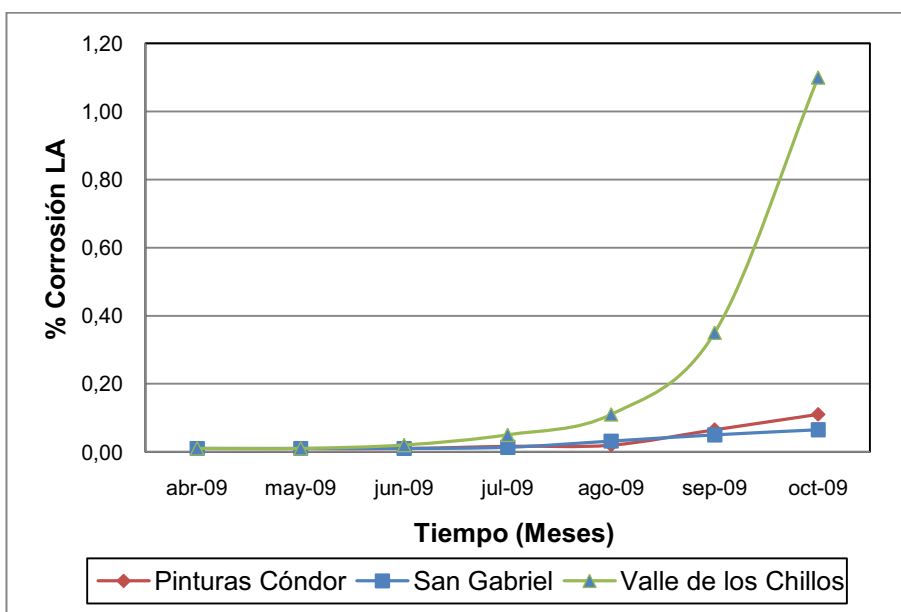
La estación que más afecta a estos sistemas es la del Valle de los Chillos, seguida por Pinturas Cóndor y finalmente San Gabriel.



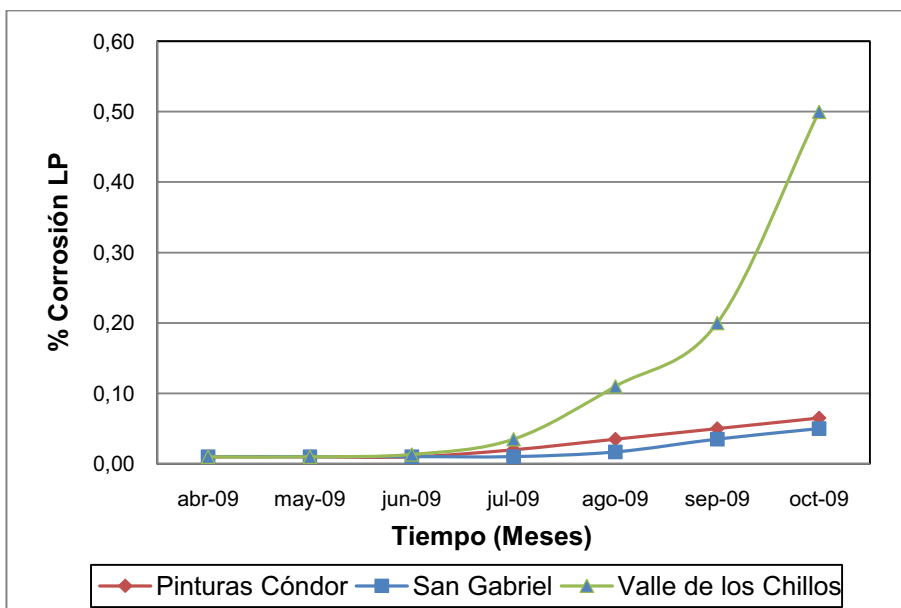
**Figura 3.30.** Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 6 ( $Zn_3(PO_4)_2$ )



**Figura 3.31.** Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 6 ( $Zn_3(PO_4)_2$ )



**Figura 3.32.** Porcentaje de corrosión del lado expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 7 ( $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ )



**Figura 3.33.** Porcentaje de corrosión del lado no expuesto vs Tiempo (Meses) para el ensayo 7 ( $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ )

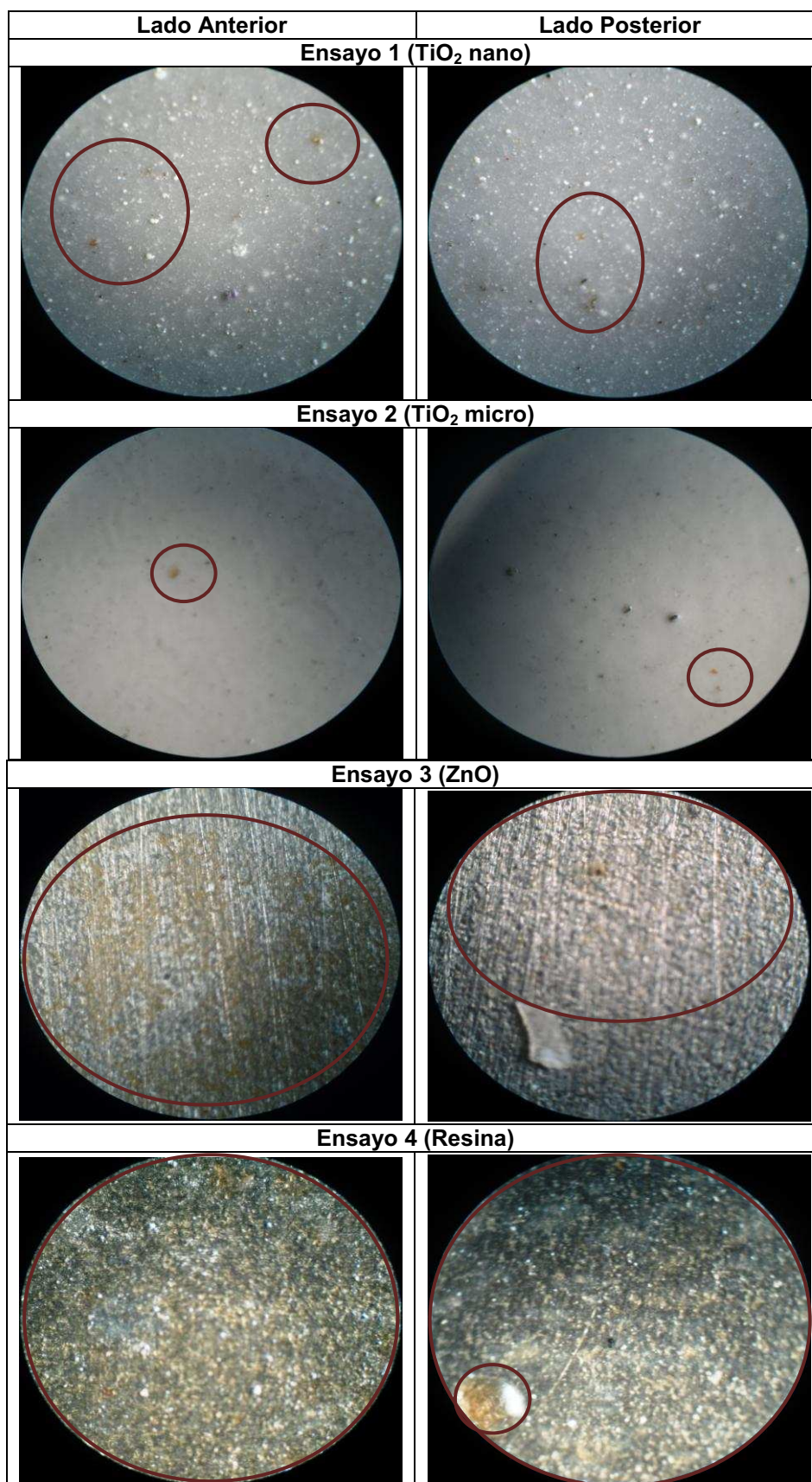
### 3.4. RESULTADOS MICROSCÓPICOS

La evaluación de las placas a nivel microscópico fue realizada en las pinturas expuestas durante seis meses. Éste análisis permitió reafirmar que el deterioro de los sistemas de pintura fue por corrosión y pérdida de color.

En las Figuras 3.34, 3.35, y 3.36 se aprecia una vista de 10 aumentos en el microscopio óptico, en las fotografías se nota el color característico de la herrumbre, estas zonas, están resaltadas con una circunferencia de color rojo.

Para la resina, existe también una fotografía de la mala adherencia que presenta ésta pintura por el sustrato, esto se observa en la Figura 3.37.



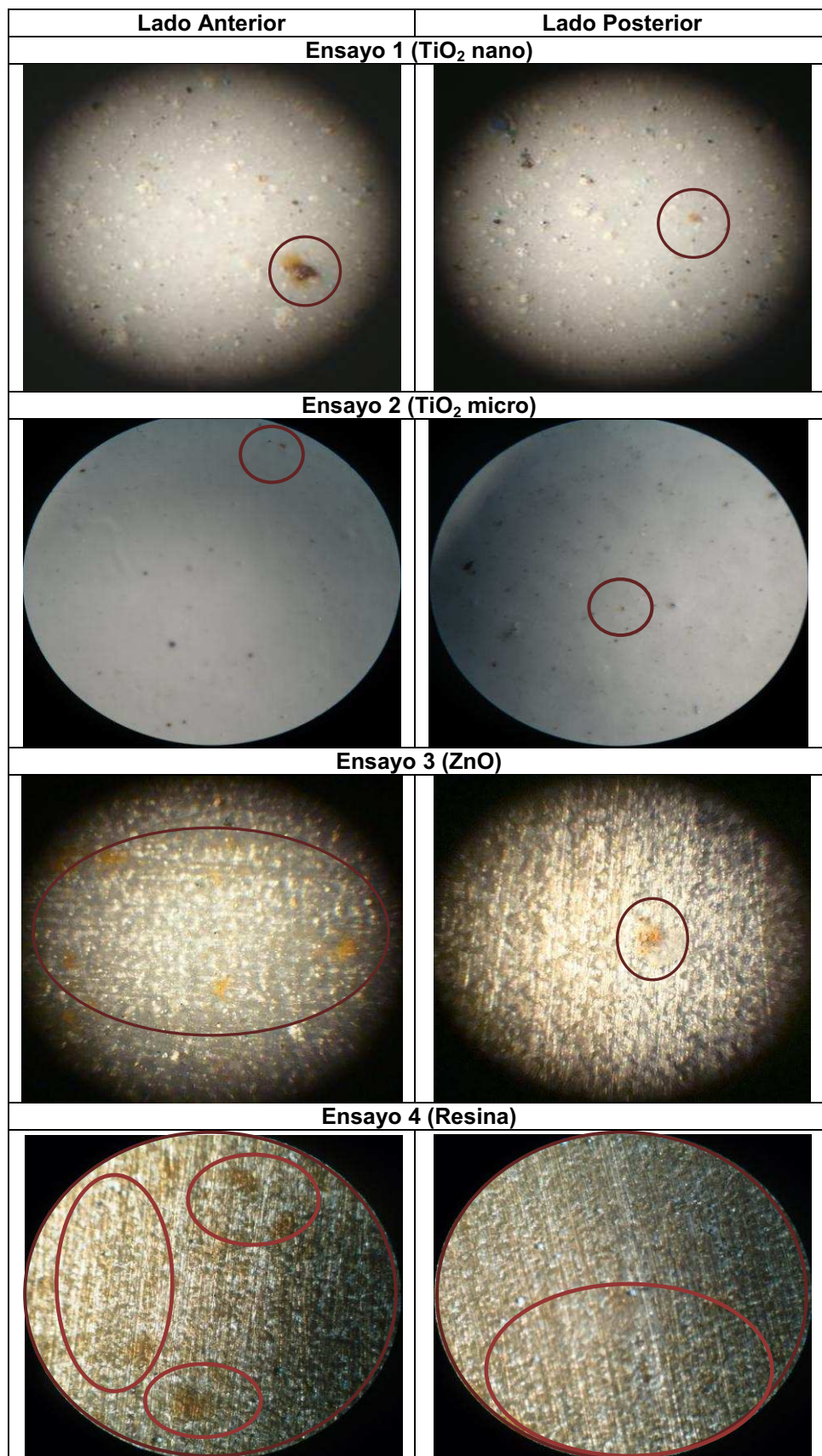


**Figura 3.34.** Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación Pinturas Cóndor

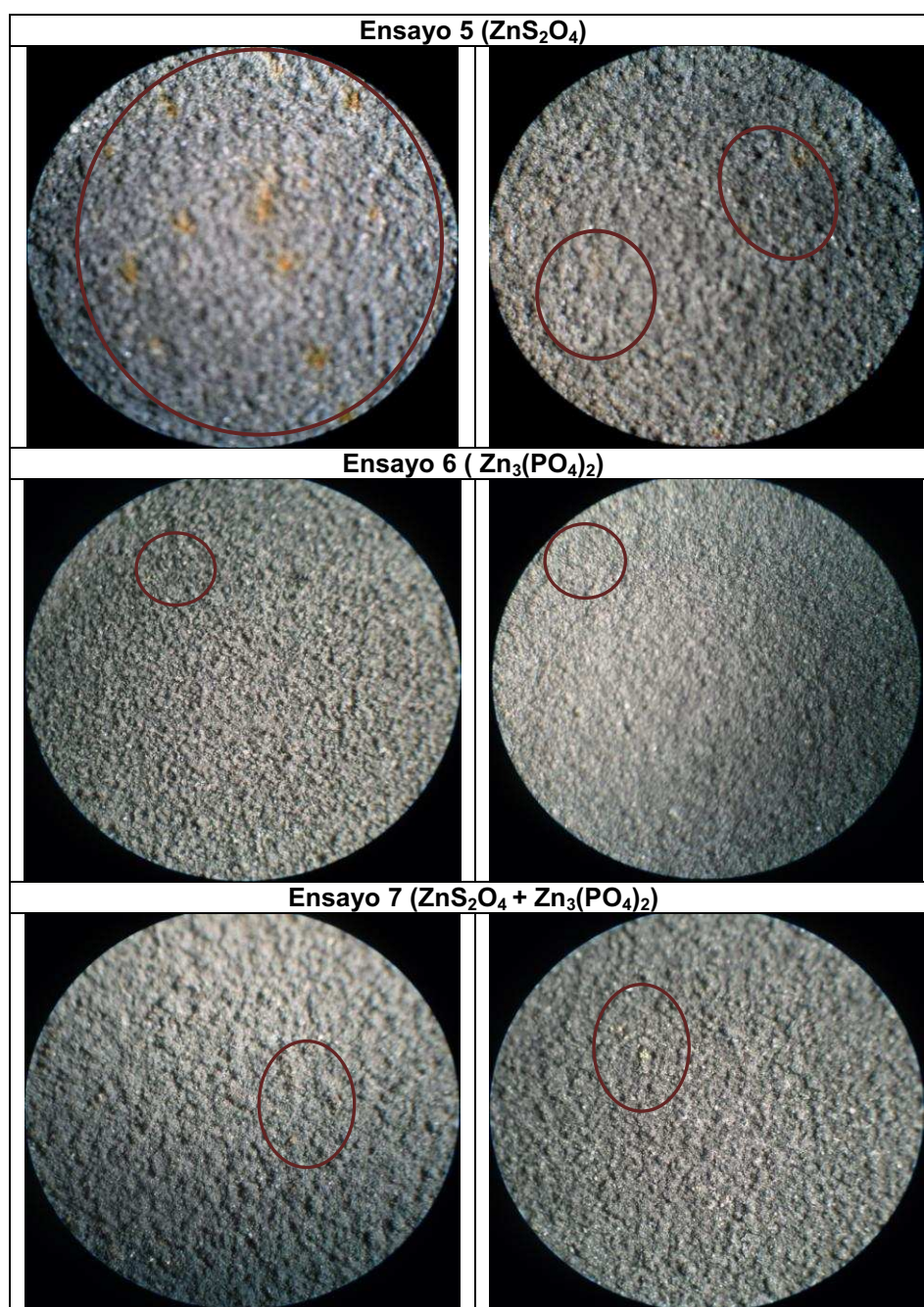


**Figura 3.34. Continuación.** Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación Pinturas Córdor



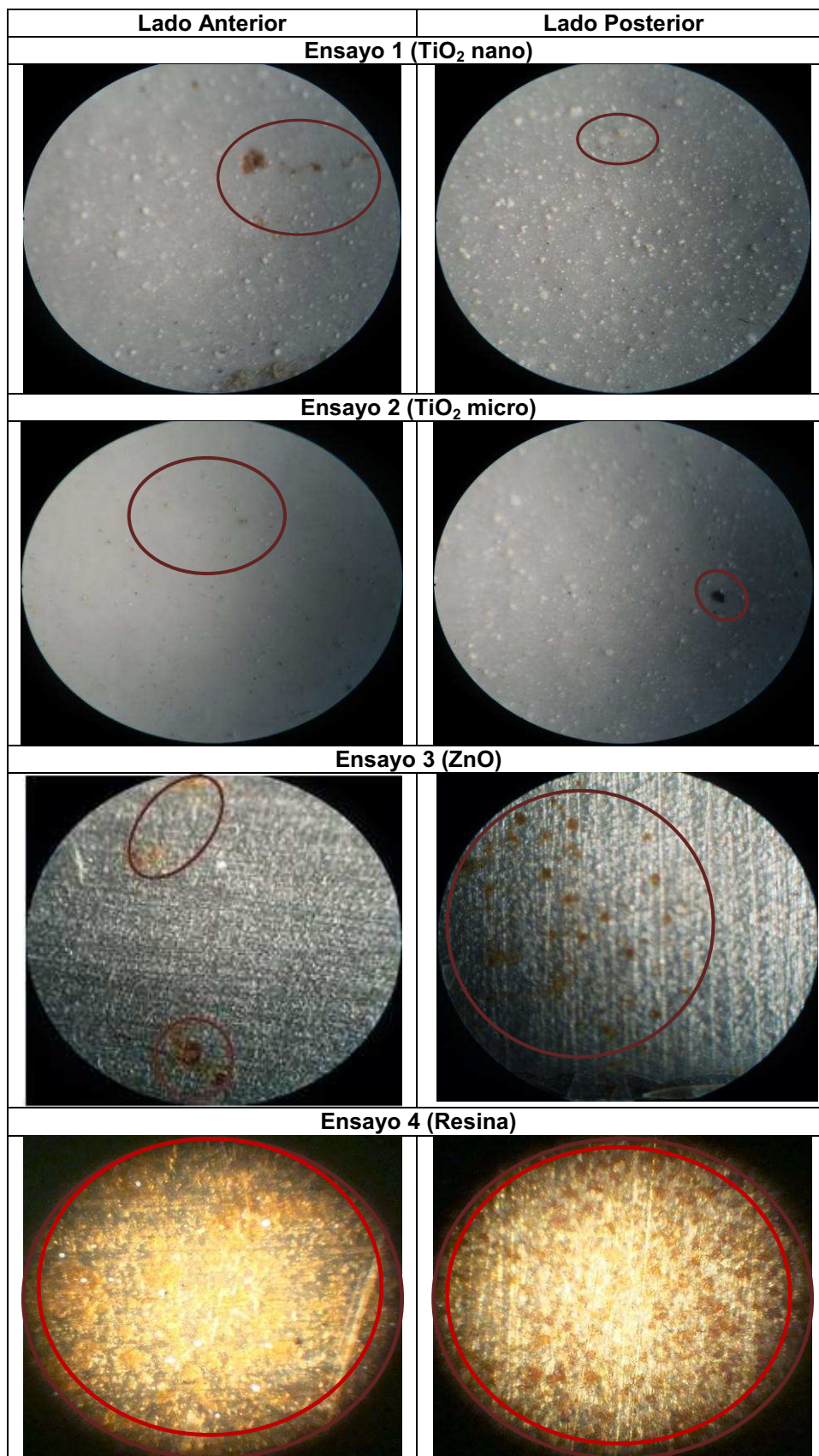


**Figura 3.35.** Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación San Gabriel

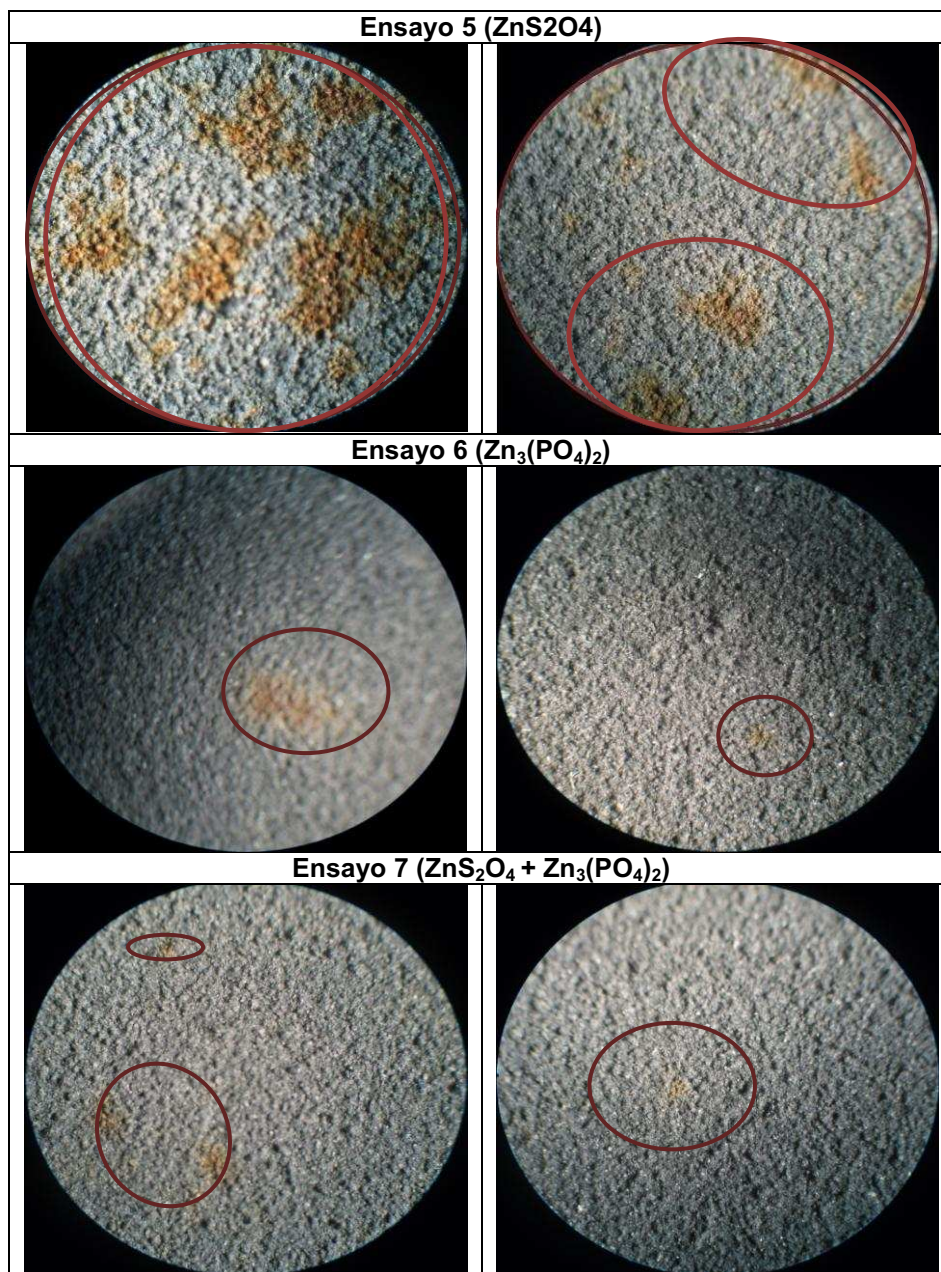


**Figura 3.35. Continuación.** Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación San Gabriel

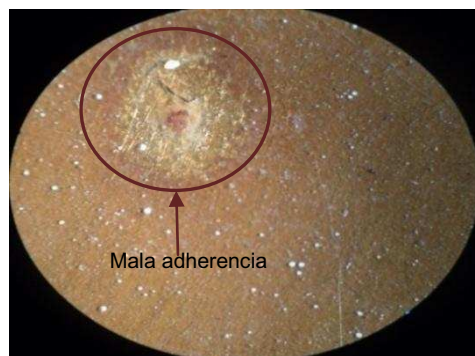




**Figura 3.36.** Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación Valle de los Chillos



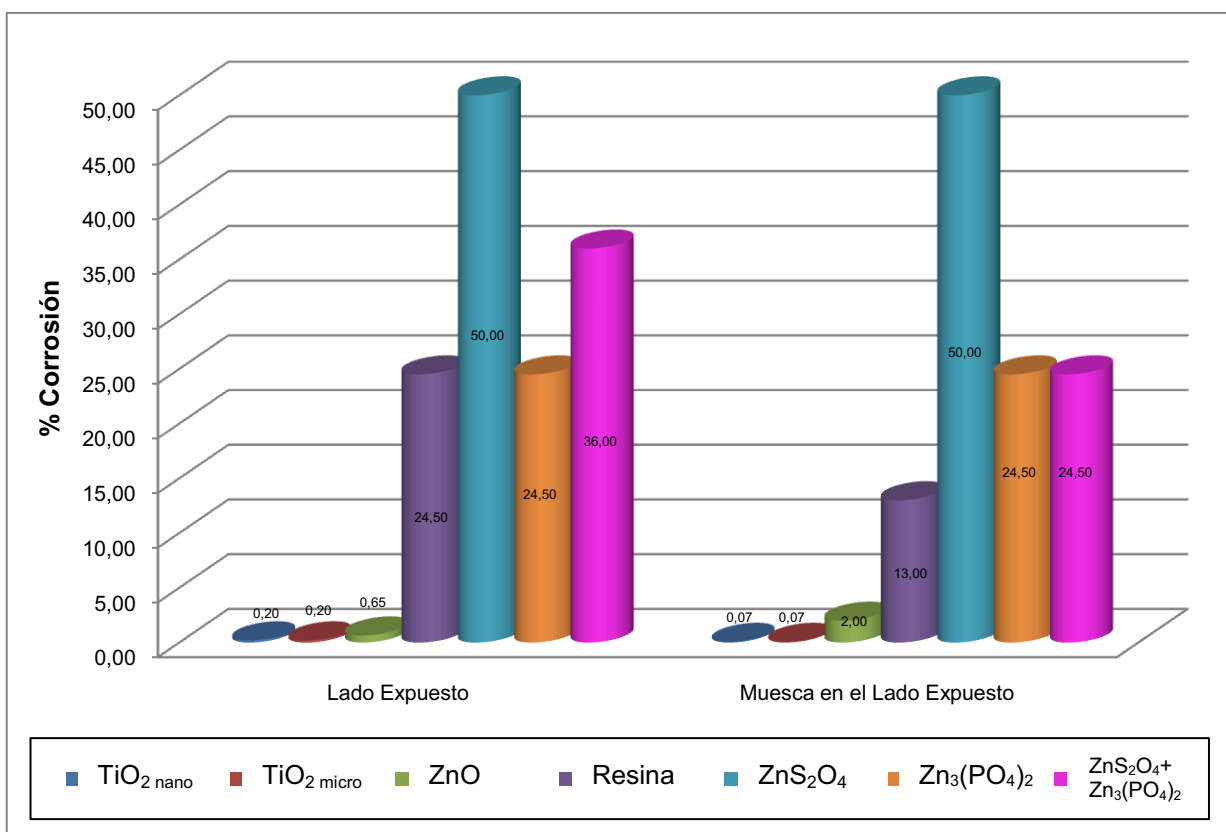
**Figura 3.36. Continuación.** Fotografías microscópicas de las fallas en los sistemas de pintura estación Valle de los Chillos



**Figura 3.37.** Vista microscópica de una ampolla de la Resina

### 3.5. RESULTADOS DE LAS PLACAS EXPUESTAS EN LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA

El ensayo en la cámara de niebla salina se realizó hasta un total de 600 horas. La Figura 3.38 indica que los revestimientos poliméricos que mayor protección anticorrosiva presentan, tanto la probeta sin corte en "X", como la probeta con corte en "X", al ser sometidos al ensayo acelerado Prohesion durante 600 horas en la Cámara de Niebla Salina, son el ensayo  $\text{TiO}_2$  nano y el ensayo  $\text{TiO}_2$  micro, ya que presentan un porcentaje de corrosión del orden de 0,20% en 600 horas de exposición.

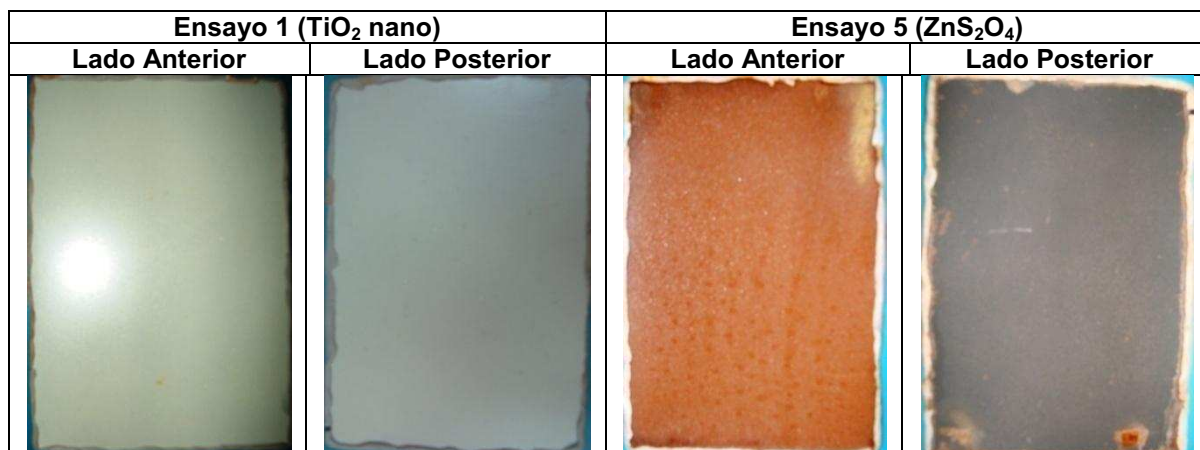


**Figura 3.38.** Evaluación del porcentaje de Corrosión de los revestimientos expuestos al ensayo Prohesion durante 600 horas

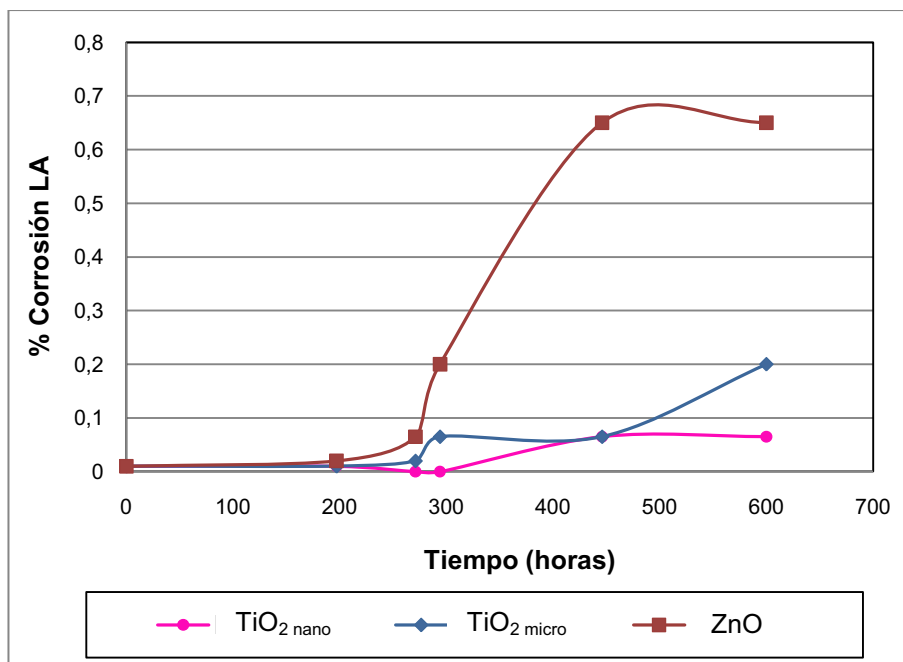
Como se muestra en la Figura 3.39, el lado posterior de los ensayos  $\text{TiO}_2$  nano y  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  no presentaron ni el mismo grado de corrosión ni un grado de corrosión parecido, que el lado anterior. Lo mismo sucedió con los sistemas de pintura



restantes, debido a que quizá la niebla salina no tiene un contacto directo sobre este lado por la inclinación que presentan los portamuestras; por lo que hacer un análisis de éste lado de la probeta no es conveniente ya que los resultados no corresponden con lo que sucedió en la intemperie.

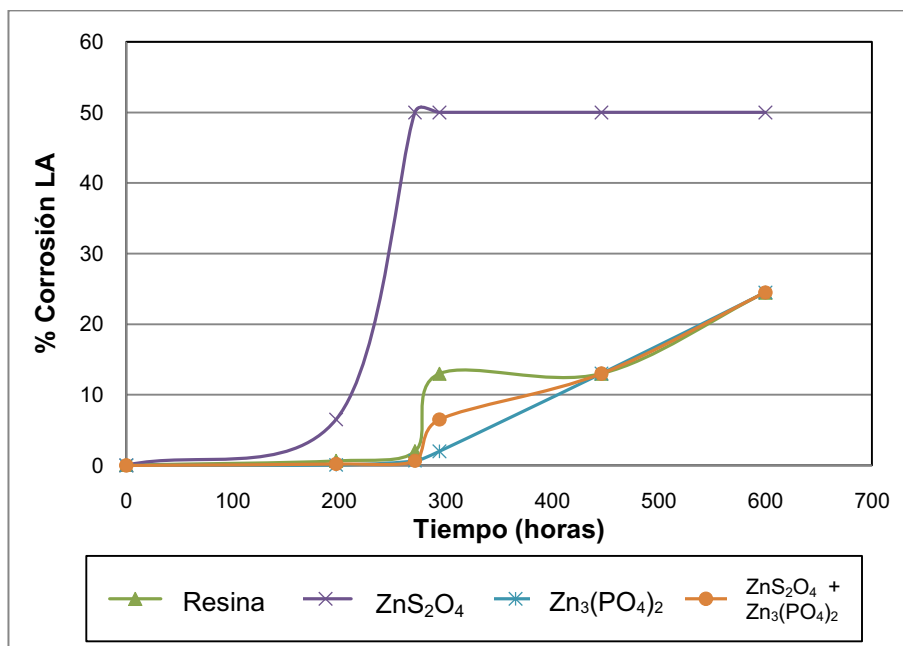


**Figura 3.39.** Comparación entre el lado expuesto y el lado no expuesto del  $\text{TiO}_2$  nano y el  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$



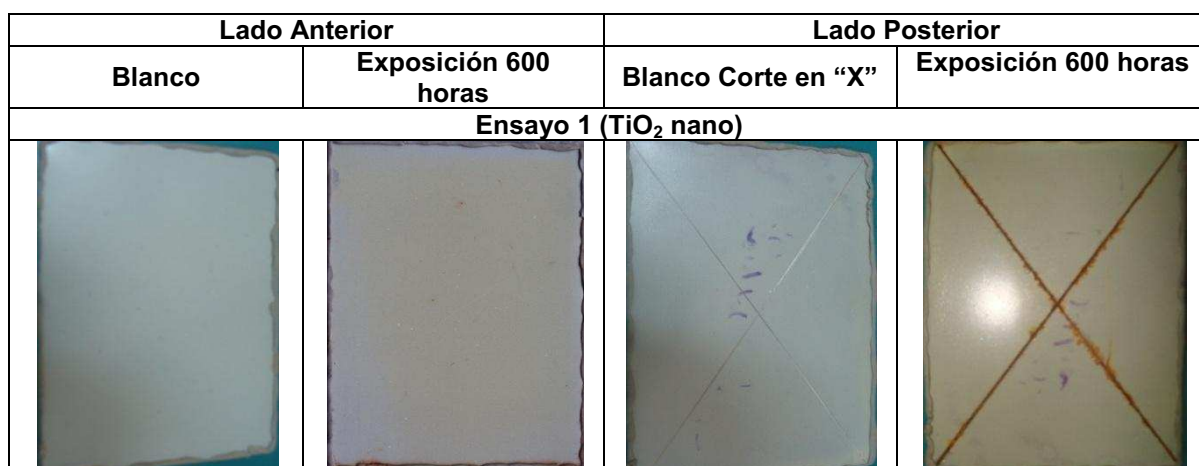
**Figura 3.40.** Porcentaje de Corrosión del lado expuesto de los ensayos  $\text{TiO}_2$  nano,  $\text{TiO}_2$  micro y ZnO vs Tiempo de Exposición al ensayo Prohesion





**Figura 3.41.** Porcentaje de Corrosión del lado expuesto de los ensayos Resina, ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> vs Tiempo de Exposición al ensayo Prohesion

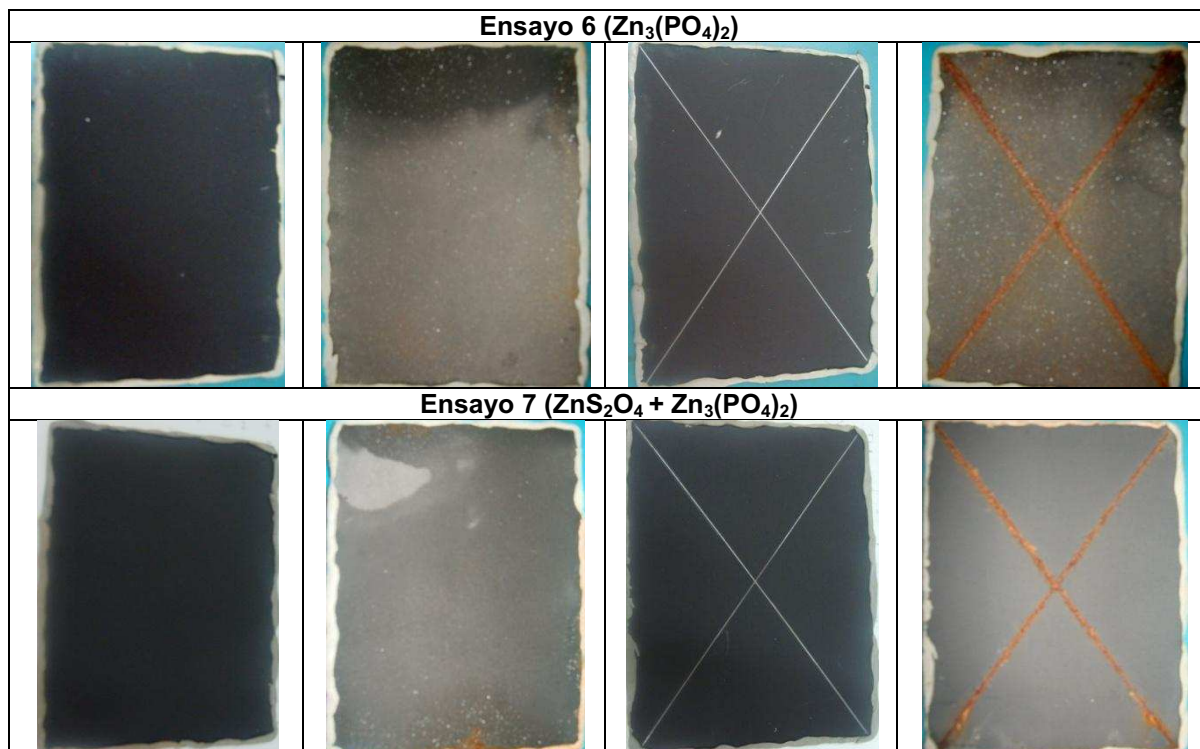
Las Figuras 3.40 y 3.41 indican cómo va incrementando el porcentaje de corrosión en función de las horas de exposición al ensayo Prohesion (Norma ASTM G85-02 A5) realizado en la Cámara Salina Q-FOG, durante 600 horas. Allí se comprueba que la mínima corrosión la alcanzan los ensayos TiO<sub>2</sub> nano y micro, seguidos del ensayo ZnO, ensayo ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> con un porcentaje de corrosión muy parecido al ensayo Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, ensayo resina y finalmente el ensayo ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> que es el que menor protección provee al acero al carbono.



**Figura 3.42.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas expuestas al ensayo Prohesion durante 600 horas



**Figura 3.42. Continuación.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas expuestas al ensayo Prohesion durante 600 horas



**Figura 3.42. Continuación.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas expuestas al ensayo Prohesion durante 600 horas

En la Figura 3.42 se observan los cambios que han sufrido los revestimientos al ser sometidos al ensayo Prohesion durante 600 horas, se evidencia que los principales problemas son corrosión y pérdida de color.

Los ensayos  $\text{TiO}_2$  nano y micro presentan un ligero amarillamiento con poquísimos y pequeños puntos de corrosión, el ensayo  $\text{ZnO}$  tiene un comportamiento similar, pero con una falla mayor a los anteriores. El ensayo resina presenta un amarillamiento mucho más notorio.

El ensayo  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  presenta un cambio de color, de negro (color inicial), al color característico de la herrumbre, sobre toda el área de la probeta, es decir, toda la superficie se encuentra totalmente corroída, por lo que esta pintura no soportó la acción de la cámara salina. Como observa en la Figura 3.41., la vida útil de la pintura (fallo del 20% del área de exposición, porcentaje en el cual se establece el tiempo de vida útil de un revestimiento) terminó a las 230 horas de exposición. El

TiO<sub>2</sub> micro tiene un porcentaje de corrosión aproximado al de campo a las 280 horas de corrosión, y la resina se corroe más en campo, alcanzando una corrosión cercana a la de la cámara salina a los 5 meses de exposición aproximadamente. Los ensayos Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, presentan casi el mismo grado de corrosión, y pérdida de color debido a la migración de los pigmentos que poseen estos revestimientos, alcanzaron un grado de corrosión aproximado al de campo a las 300 horas de exposición al ensayo acelerado.

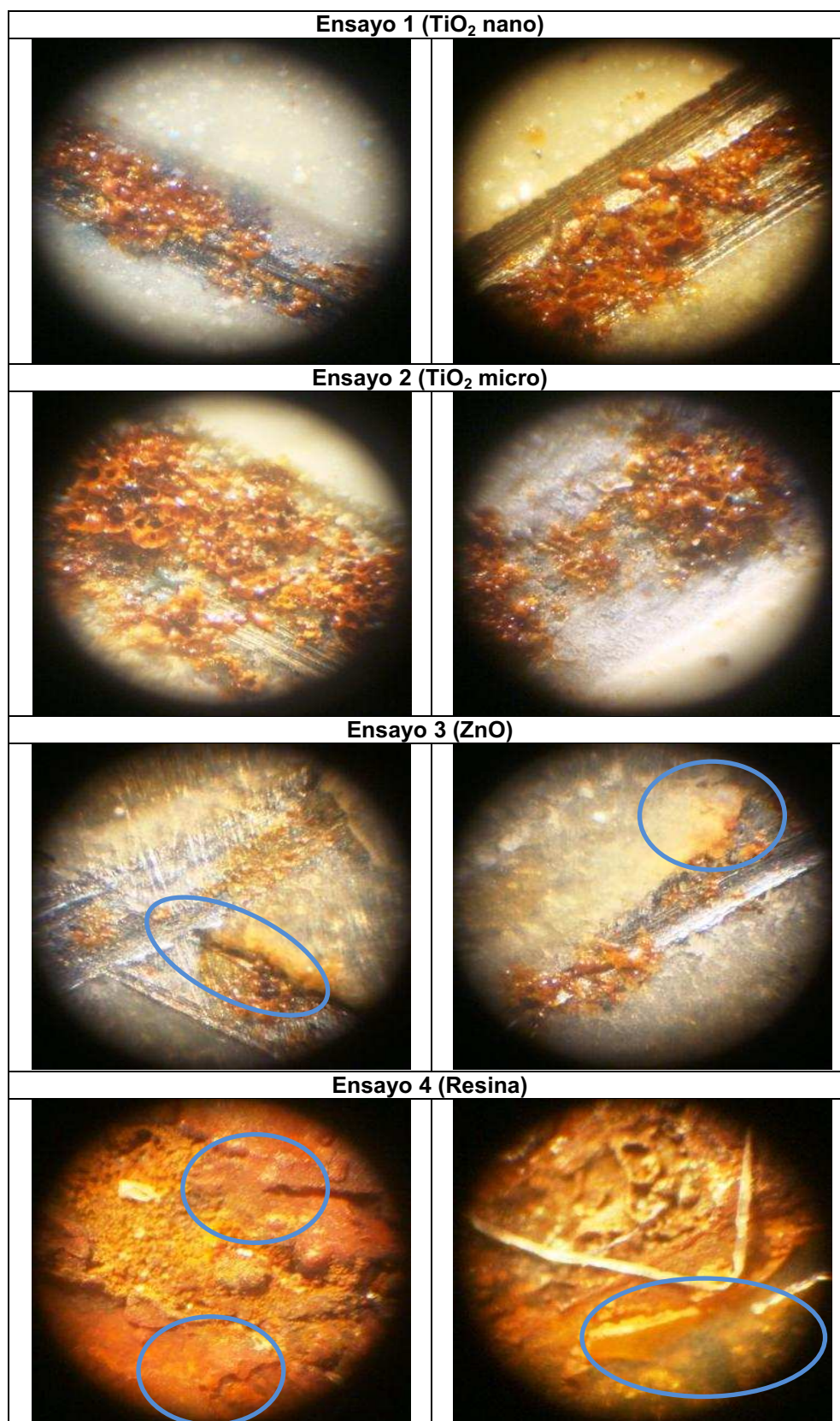
El porcentaje de corrosión de los revestimientos sometidos al ensayo “Prohesion”, se muestra en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4.** Cuantificación del porcentaje de corrosión mediante el Estándar ASTM D 610 para las placas sometidas al Ensayo “Prohesion”

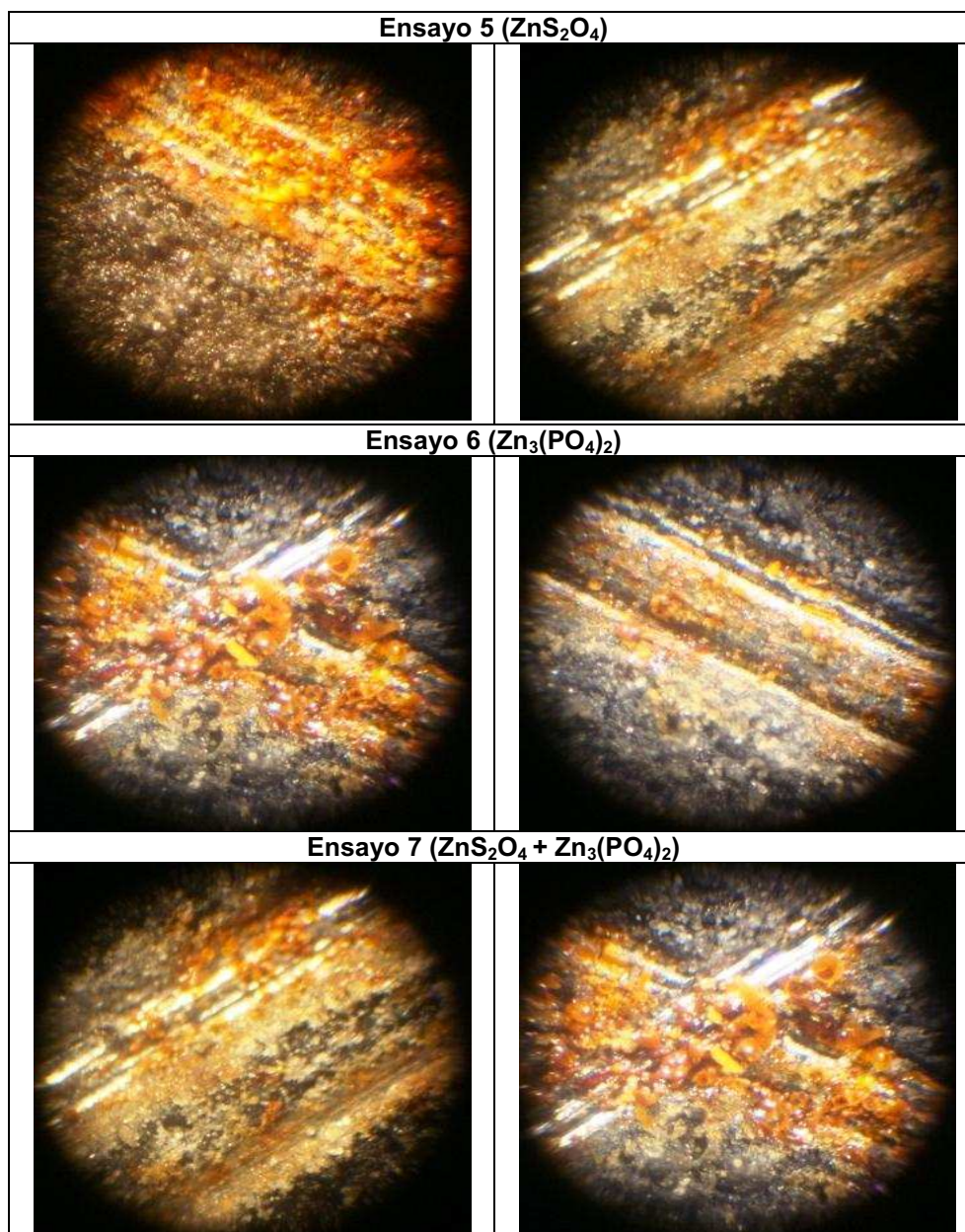
Sistema de Pintura	No. de Placa	Tiempo de Exposición (horas)					
		0	197	271	294	446	600
		Lado Anterior					
Ensayo 1 (TiO <sub>2</sub> nano)	1	10	10	8	8	8	7
	Corte en “X”	10	10	9	8	8	8
Ensayo 2 (TiO <sub>2</sub> micro)	1	10	10	9	8	8	7
	Corte en “X”	10	10	9	8	8	8
Ensayo 3 (ZnO)	1	10	9	8	7	6	6
	Corte en “X”	10	8	8	7	6	5
Ensayo 4 (Resina)	1	8	6	5	3	3	2
	Corte en “X”	9	7	6	6	4	3
Ensayo 5 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	1	10	4	0	0	0	0
	Corte en “X”	10	4	0	0	0	0
Ensayo 6 (Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	1	10	8	6	5	3	2
	Corte en “X”	10	8	6	4	3	2
Ensayo 7 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> +Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	1	10	7	6	4	3	2
	Corte en “X”	10	8	7	6	4	2

Las placas con corte en “X” permiten determinar la afinidad que presenta la pintura al sustrato, para lo cual fue necesario el uso del microscopio, debido a que a simple vista todos los sistemas presentaron corrosión únicamente en la corte en “X” y no hay indicios visuales de delaminación o corrosión a partir del corte. La vista al microscopio del corte en “X” se muestra en la Figura 3.43.





**Figura 3.43.** Fotografías Microscópicas del Corte en “X” de los revestimientos sometidos al ensayo “Prohesion” durante 600 horas



**Figura 3.43. Continuación.** Fotografías Microscópicas del Corte en “X” de los revestimientos sometidos al ensayo “Prohesion” durante 600 horas

Como se indica en la Figura 3.43, los ensayos ZnO y resina, son los únicos que tienen pequeños problemas de avance de la corrosión debajo del recubrimiento.

### 3.6. RESULTADOS DE LAS PLACAS EXPUESTAS EN LA CÁMARA DE ARCO DE XENÓN

En la Figura 3.44 se observa que la degradación que sufrieron las pinturas al estar sometidas al ensayo ASTM D6695-03b-Ciclo 1, provocó cambio de color en todos los sistemas de pintura.

Adicionalmente, existió evidencia de amarillamiento en los ensayos TiO<sub>2</sub> nano y TiO<sub>2</sub> micro. En los ensayos ZnO y resina, además del amarillamiento se observan manchas de corrosión. Mientras que, la radiación UV, causó la decoloración de los ensayos ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

La evaluación del cambio de color de las placas sometidas a este ensayo, mediante la escala de grises, se presenta en la Tabla 3.5, y se complementa mediante las fotografías mostradas en la Figura 3.44.

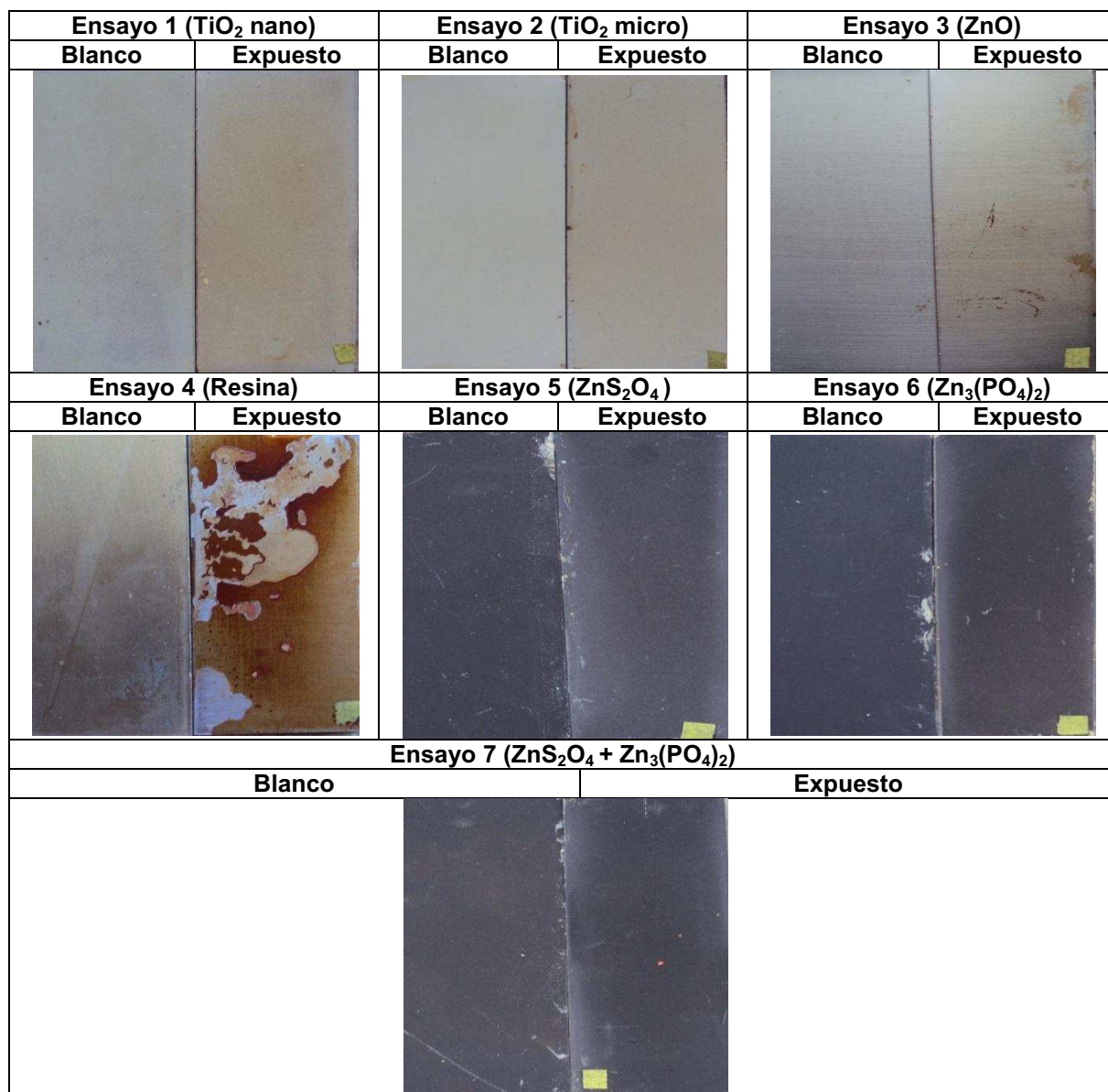
**Tabla 3.5.** Resultados de la Evaluación con Escala de Grises de las placas expuestas en la Cámara de Arco de Xenón durante 300 horas

Nombre del Ensayo	Valoración de Solidez	Observaciones
Ensayo 1 (TiO <sub>2</sub> nano)	2	
Ensayo 2 (TiO <sub>2</sub> micro)	3-4	Y
Ensayo 3 (ZnO)	4-5	
Ensayo 4 (Resina)	2-3	Y
Ensayo 5 (ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	3-4	
Ensayo 6 (Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	4-5	
Ensayo 7 (ZnS <sub>2</sub> O + Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	4-5	

\*Y= amarillamiento de la pintura

Con este ensayo se comprobó que uno de los factores que más afecta a los ensayos TiO<sub>2</sub> nano, TiO<sub>2</sub> micro, ZnO y resina es la radiación ultravioleta, ya que produce el mismo cambio que las estaciones de ensayo. Los ensayos ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> tienen un cambio de color más notorio que los otros ensayos debido a su formulación que tiene un alto porcentaje de pigmentos que migran a la superficie produciendo una apariencia blanquecina.







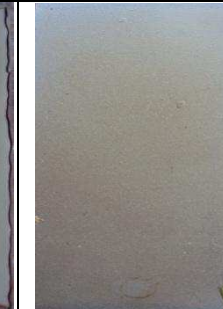


**Figura 3.44.** Fotografías Comparativas entre los blancos y las placas expuestas al ensayo ASTM D6695-03b-Ciclo 1, durante 300 horas



### 3.7. COMPARACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LOS ENSAYOS ACELERADOS

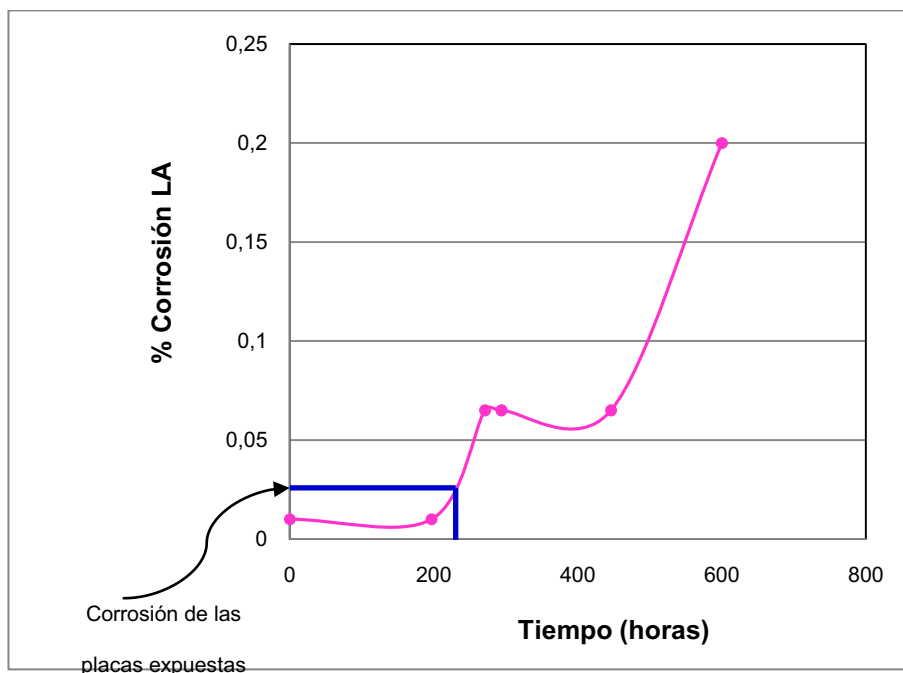
En las Figuras 3.45 a 3.51 se establece una comparación entre la corrosión de los ensayos acelerados y los ensayos de campo.

Pinturas Cóndor	San Gabriel	Valle de los Chillos	Ensayo Prohesion	Cámara Arco de Xenón
6 meses de exposición			300 horas	300 horas
Ensayo 1 (TiO <sub>2</sub> nano)				
				

**Figura 3.45.** Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, Ensayo 1 (TiO<sub>2</sub> nano)

En la Figura 3.45 se observa que la degradación del TiO<sub>2</sub> nano, en las muestras sometidas a los ensayos acelerados, tiene tendencia similar de corrosión de las placas expuestas en las tres estaciones de campo; que se manifiesta con un ligero cambio de color y pequeños y muy dispersos puntos de corrosión (ésta última falla solo se presenta en el ensayo acelerado en la cámara de niebla salina). Este es el revestimiento que, en todos los casos, proporciona mayor protección al sustrato metálico.

La probeta sometida al ensayo acelerado en la cámara de niebla salina presenta un porcentaje de corrosión algo mayor a las placas expuestas en campo, debido al largo tiempo de exposición al ensayo Prohesion, con un tiempo de aproximado de 230 horas la pintura tiene el mismo porcentaje de corrosión, (0,02%), que en las estaciones; esto se muestra en la Figura 3.46.

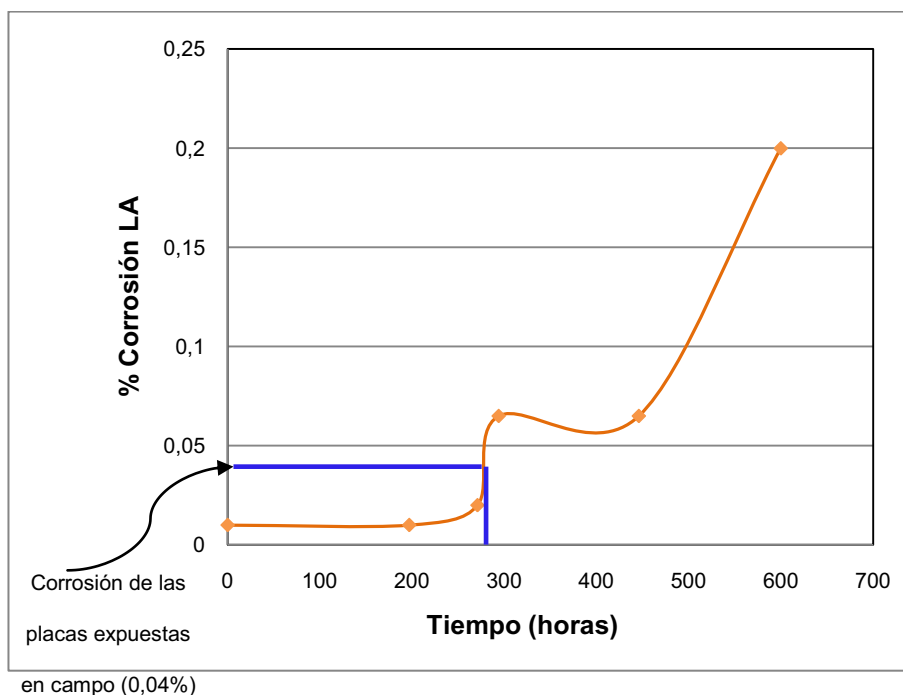


**Figura 3.46.** Correspondencia del porcentaje de corrosión del  $\text{TiO}_2$  nano expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion

Pinturas Cóndor	San Gabriel	Valle de los Chillos	Ensayo Prohesion	Cámara Arco de Xenón
6 meses de exposición			300 horas	300 horas
<b>Ensayo 2 (<math>\text{TiO}_2</math> micro)</b>				

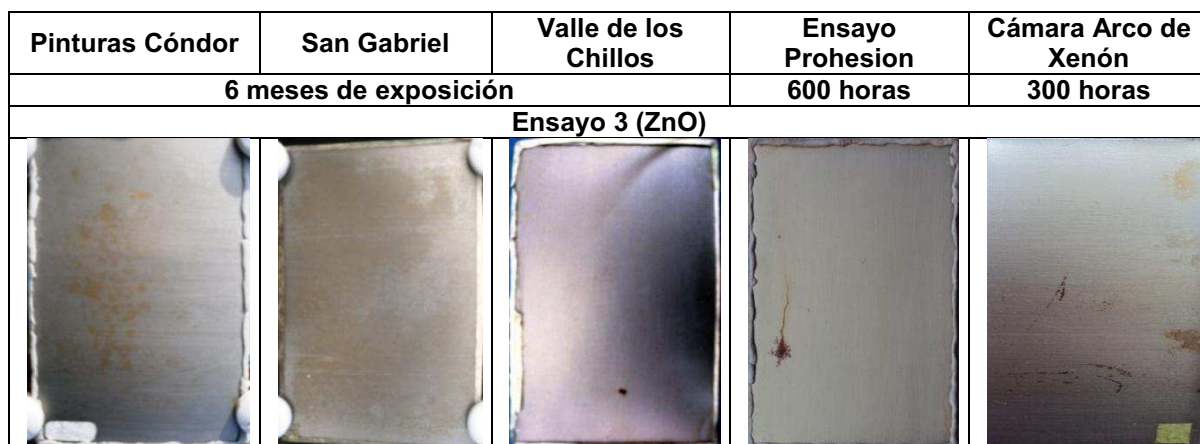
**Figura 3.47.** Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, Ensayo 2 ( $\text{TiO}_2$  micro)

En la Figura 3.47 se observa que el comportamiento del sistema  $\text{TiO}_2$  micro es similar al mencionado en el  $\text{TiO}_2$  nano, por lo tanto el ensayo acelerado en la cámara salina produce el mismo efecto que las atmósferas estudiadas, algo mayor como se mencionó anteriormente por el elevado tiempo de exposición a la niebla salina. En la Figura 3.48 se indica el tiempo de exposición en la cámara de niebla salina, aproximadamente 280 horas, en el cual se alcanza el mismo porcentaje de corrosión que en los ensayos expuestos en campo.

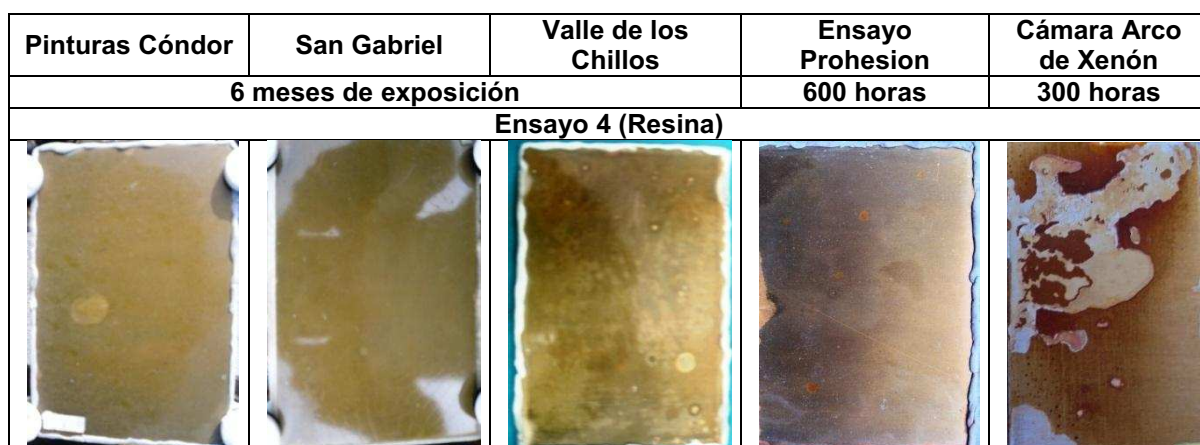


**Figura 3.48.** Correspondencia del porcentaje de corrosión del  $\text{TiO}_2$  micro expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion

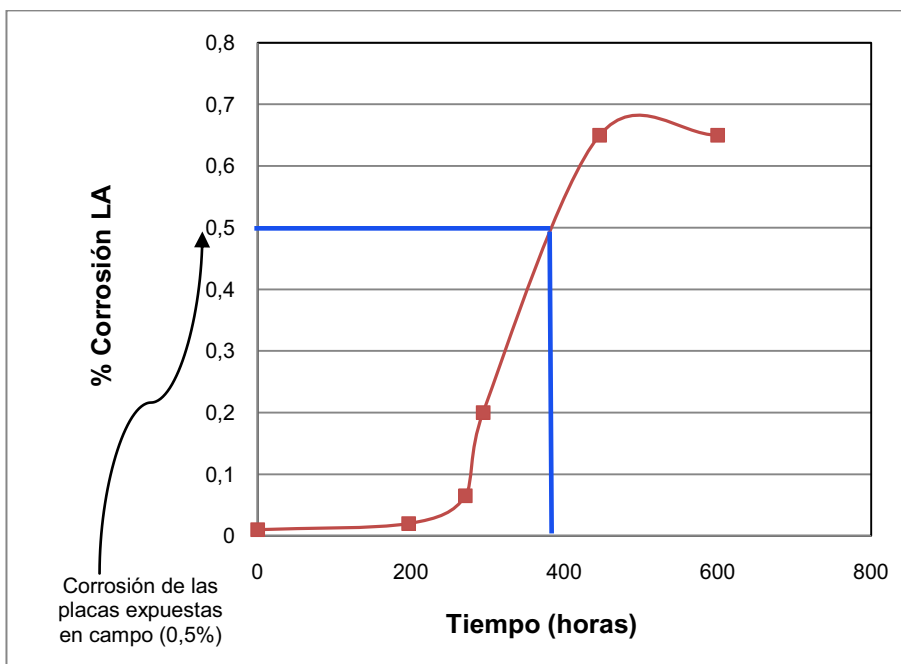
En las Figuras 3.49 y 3.50 se visualiza que la corrosión del ensayo ZnO y resina, respectivamente, al igual que en los dos revestimientos anteriores, las placas expuestas al ensayo Prohesion tiene la misma tendencia que la degradación de las pinturas expuestas en campo, únicamente presentan un mayor amarillamiento en los dos casos. Mientras las placas sometidas a los efectos de la cámara de arco de xenón, especialmente para la resina sin pigmentos, denotan un deterioro mayor, por lo que la radiación ultravioleta es el factor que mayor degradación provoca en este ensayo. Esto concuerda con los resultados de campo, donde se tiene mayor corrosión en la estación Valle de los Chillos, la misma que de las tres estaciones estudiadas es la zona que mayor radiación solar recibe, en la estación San Gabriel la radiación no resulta tan perjudicial por lo mencionado en la discusión del efecto de los parámetros atmosféricos. En las Figuras 3.51 y 3.52 se indica el tiempo de exposición en la cámara de niebla salina, aproximadamente 380 y mayor a 600 horas respectivamente, en el cual se alcanza el mismo porcentaje de corrosión que en los ensayos expuestos en campo.



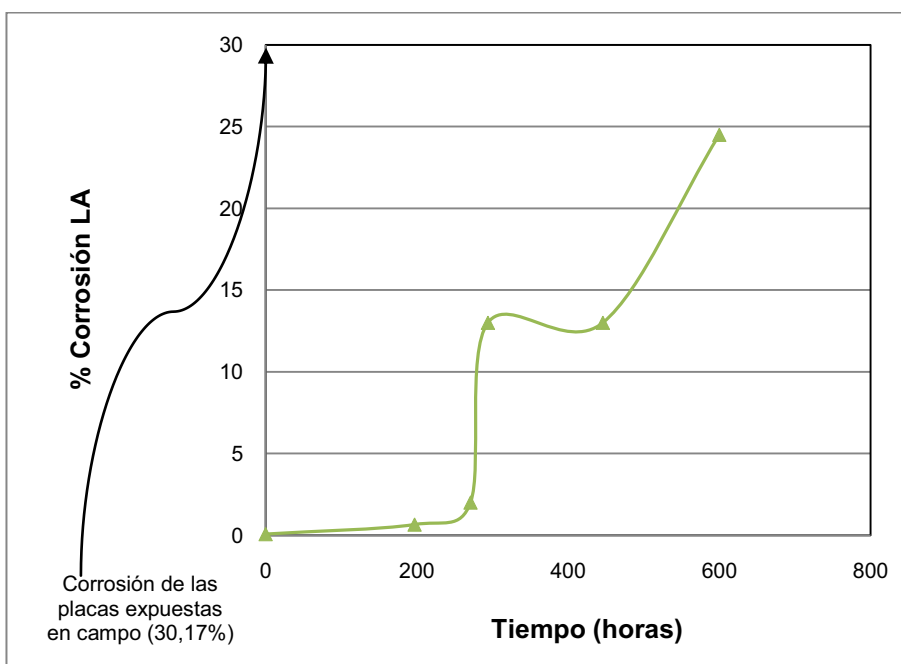
**Figura 3.49.** Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 3 (ZnO)



**Figura 3.50.** Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 4 (Resina)



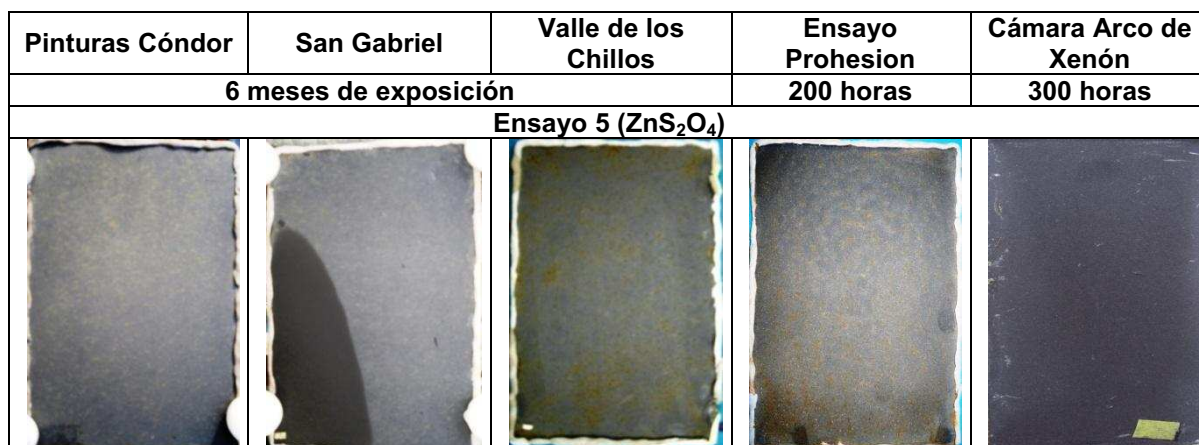
**Figura 3.51.** Correspondencia del porcentaje de corrosión del ZnO micro expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion



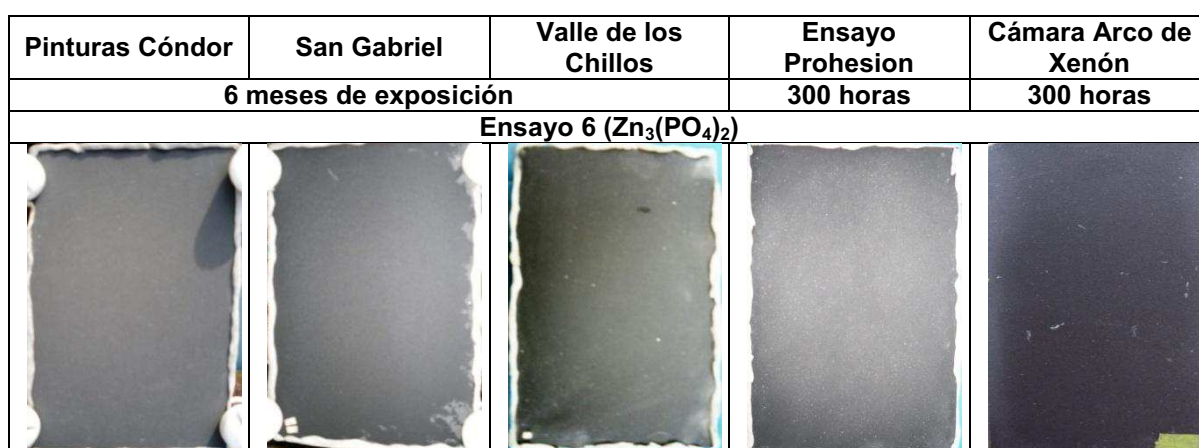
**Figura 3.52.** Correspondencia del porcentaje de corrosión de la Resina expuesta en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion

En las Figuras 3.53, 3.54 y 3.55 se muestra que para los sistemas de pintura  $ZnS_2O_4$ ,  $Zn_3(PO_4)_2$  y  $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$  se tiene mayor porcentaje de corrosión






en las placas sometidas al ensayo Prohesion que en las expuestas a las atmósferas de las estaciones estudiadas, por el mismo motivo señalado anteriormente. Se encontró un porcentaje de corrosión muy aproximado cuando las placas han sido expuestas al ensayo en la cámara de niebla salina durante un tiempo aproximado de 200 horas para el ensayo  $ZnS_2O_4$ , 280 y 270 horas para los ensayos  $Zn_3(PO_4)_2$  y  $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ , esto se presenta en las Figuras 3.56, 3.57 y 3.58, respectivamente. Además, se observa que el efecto que provoca la radiación ultravioleta en estos tres ensayos es la pérdida de color, por la migración de cargas y pigmentos.



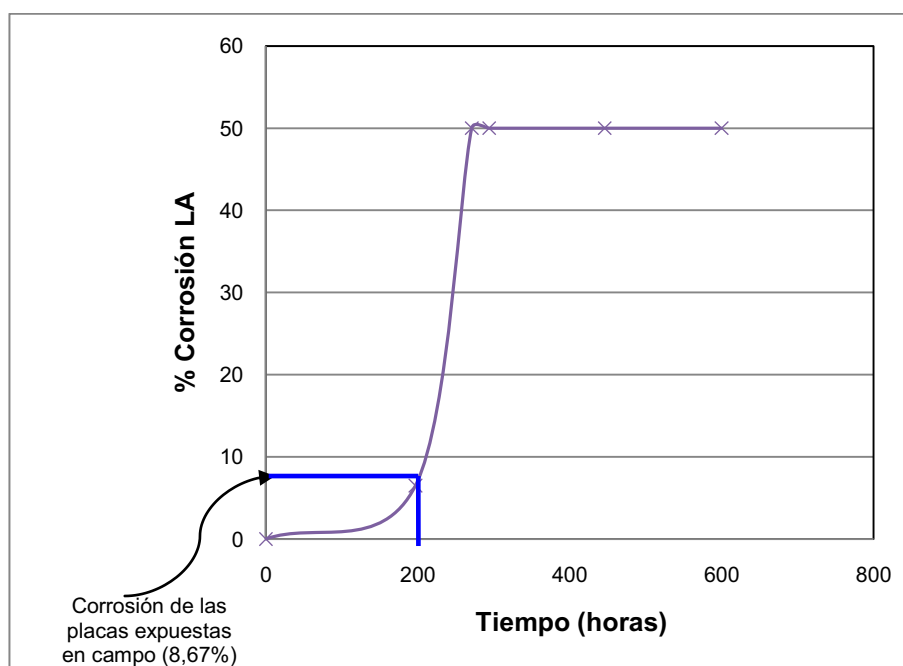
**Figura 3.53.** Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 5 ( $ZnS_2O_4$ )



**Figura 3.54.** Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 6 ( $Zn_3(PO_4)_2$ )

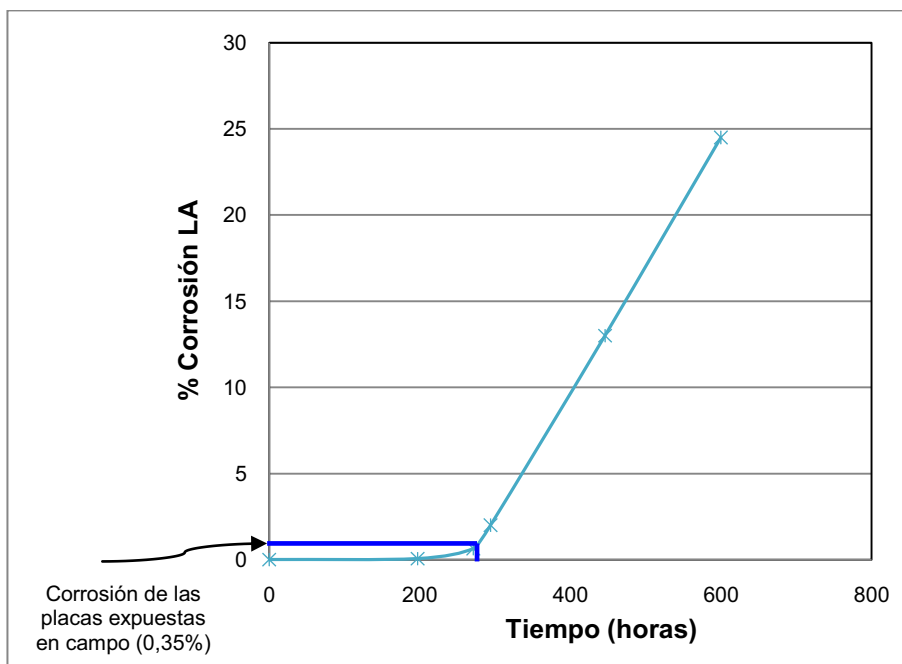
Pinturas Cóndor	San Gabriel	Valle de los Chillos	Cámara Salina	Cámara Arco de Xenón
6 meses de exposición			300 horas	300 horas
Ensayo 7 ( $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ )				
				

**Figura 3.55.** Fotografías comparativas entre los ensayos de campo y los ensayos acelerados, ensayo 7 ( $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ )

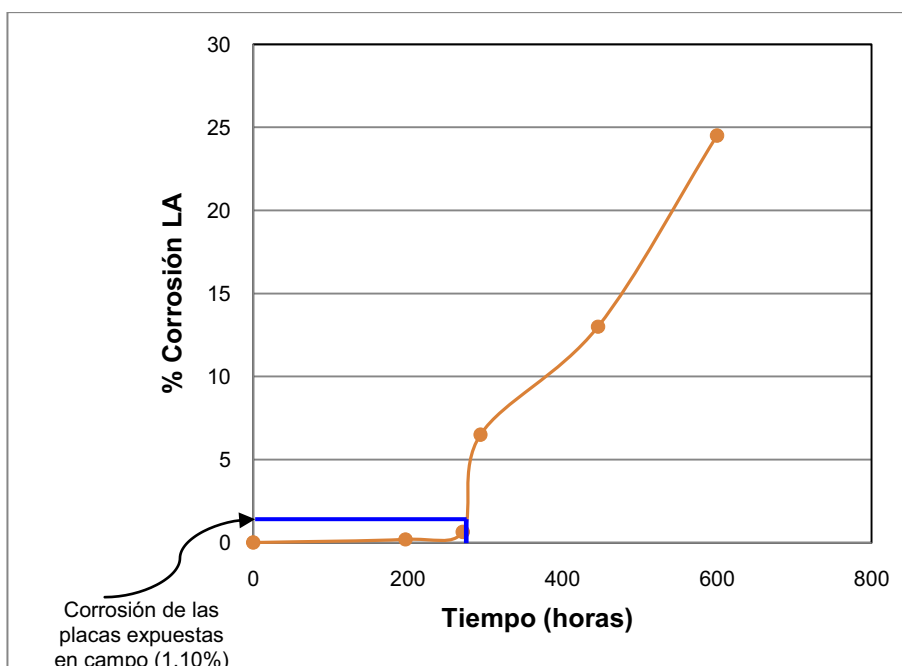


**Figura 3.56.** Correspondencia del porcentaje de corrosión del  $ZnS_2O_4$  expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion





**Figura 3.57.** Correspondencia del porcentaje de corrosión del  $ZnS_2O_4$  expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion

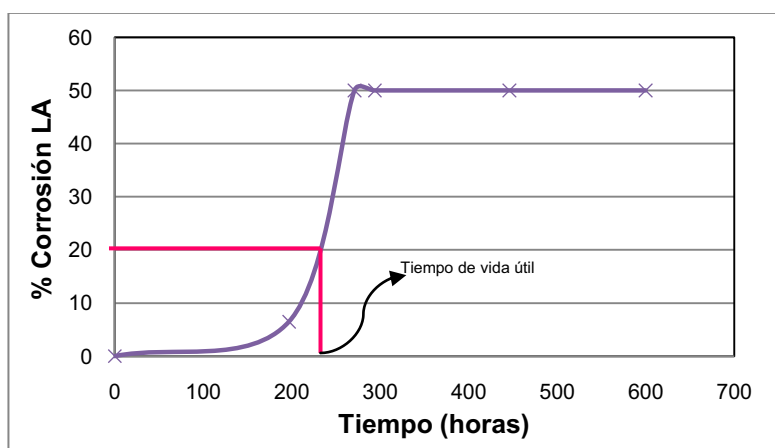


**Figura 3.58.** Correspondencia del porcentaje de corrosión del  $ZnS_2O_4+Zn_3(PO_4)_2$  expuesto en campo con el tiempo de exposición al ensayo Prohesion

La Figura 3.60 indica la corrosión en las tres estaciones y en el ensayo Prohesion (600 horas de exposición), presentando en éste último los valores más elevados

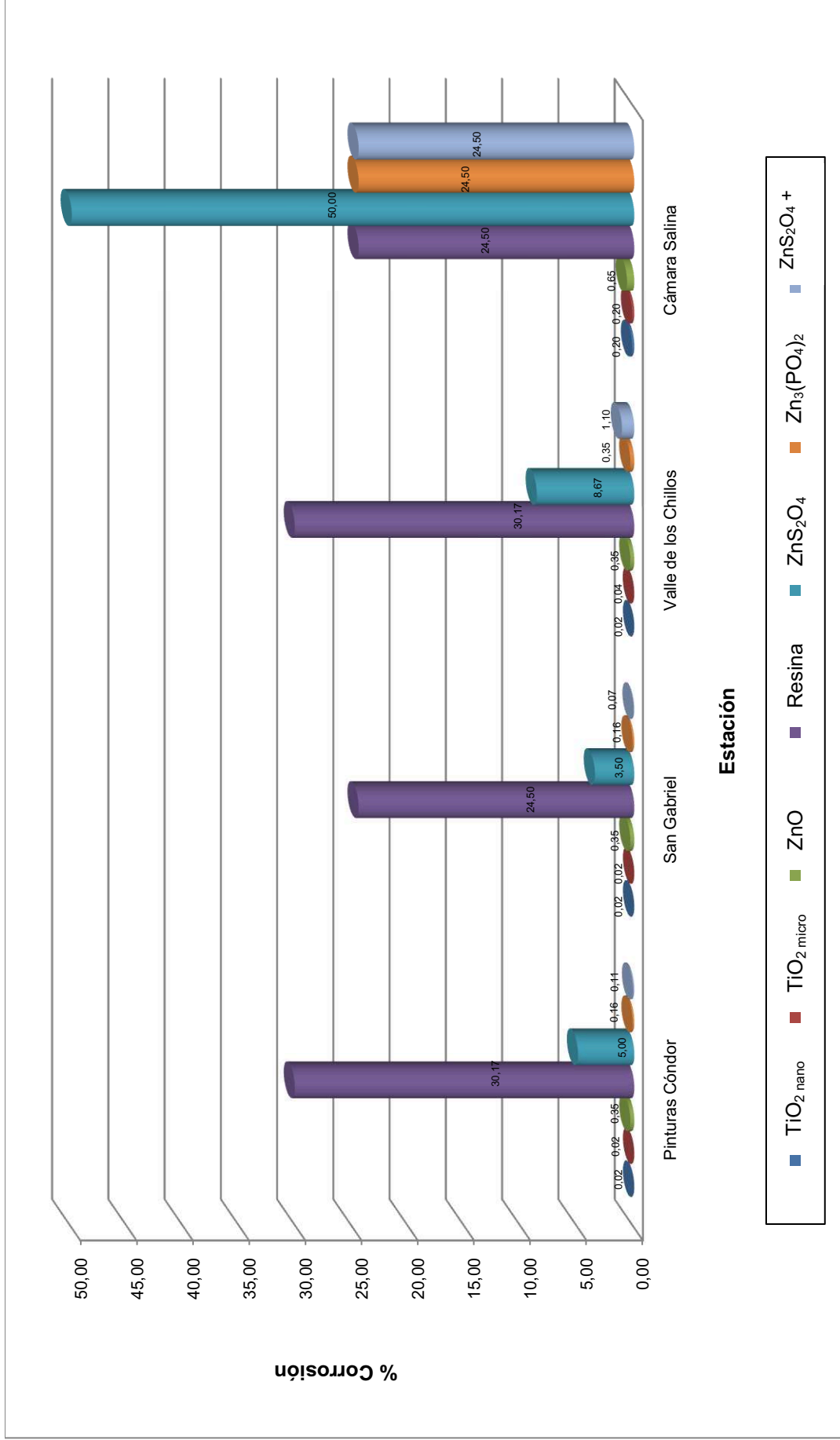


del porcentaje de corrosión debido al tiempo de exposición de éste ensayo. El tiempo fue prolongado para poder determinar cuál es la vida útil de los sistemas con pigmentos nanoparticulados, ya que a pocas horas de exposición estos revestimientos no sufrían falla alguna; a pesar del largo tiempo de exposición, la tendencia de corrosión es la misma que en los ensayos de campo, excepto el ensayo  $ZnS_2O_4$ , que es el que mayor degradación presenta, pero esto puede suceder también en campo si se hubiese expuesto un tiempo más prolongado ya que como se observa en la Figura 3.59, la corrosión ataca totalmente a este ensayo en 230 horas (la vida útil de una pintura termina cuando el 20% del área se ha corroído). Después del ensayo  $ZnS_2O_4$ , la corrosión va decreciendo en el siguiente orden para el ensayo Prohesion y los ensayos de campo: ensayo resina, ensayo  $Zn_3(PO_4)_2$ , ensayo  $ZnS_2O_4 + Zn_3(PO_4)_2$ , ensayo  $ZnO$ , ensayo  $TiO_2$  nano, con porcentajes de falla muy cercanos a los del ensayo  $TiO_2$  micro.

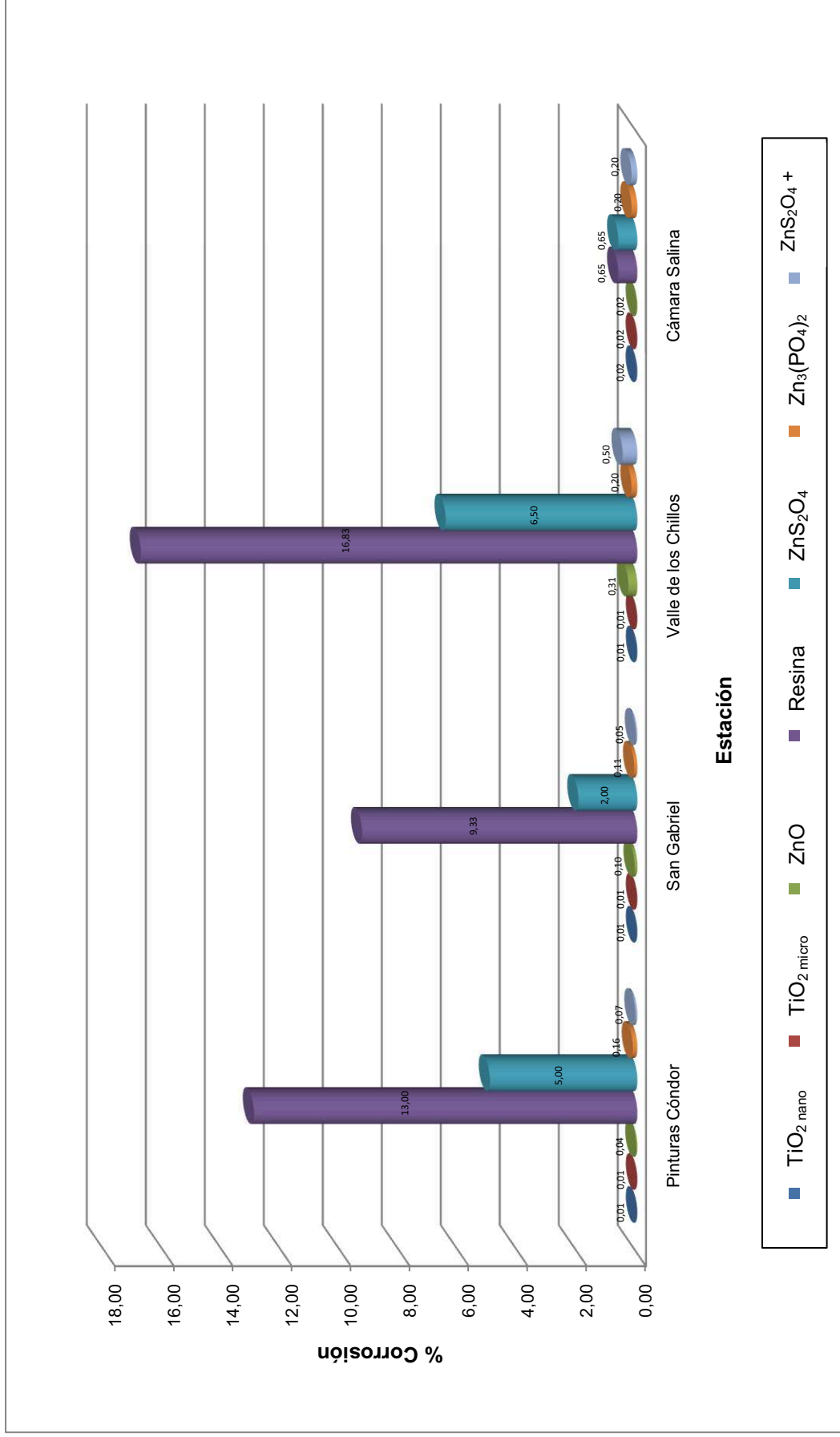


**Figura 3.59.** Tiempo de vida útil del ensayo 5 ( $ZnS_2O_4$ ) expuesto a la cámara salina

Como ya se mencionó, hacer un análisis de lado posterior de los revestimientos sometidos a la niebla salina no es adecuado ya que no estuvieron en contacto directo con ésta, por lo que los porcentajes de corrosión son muy bajos y no se puede establecer una relación con los revestimientos colocados en las diferentes estaciones. La comparación del porcentaje de corrosión del lado posterior de las placas expuestas en campo con el lado posterior de las placas sometidas al ensayo “Prohesion”, se aprecia en la Figura 3.61.



**Figura 3.60.** Evaluación del porcentaje de corrosión de los revestimientos expuestos a los ensayos de campo y al ensayo Prohesion (600 horas), Lado Expuesto



**Figura 3.61.** Evaluación del porcentaje de Corrosión de los revestimientos expuestos a los ensayos de campo y al ensayo Prohesion (600 horas), Lado no Expuesto

### 3.8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS OBTENIDOS POR ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS

La espectroscopía de infrarrojos se utilizó para evaluar la degradación que sufrieron los revestimientos ensayados, a través del aumento o disminución de los grupos funcionales más importantes de las pinturas. Los espectros obtenidos con el espectrofotómetro "Perkin Elmer Spectrum One", propiedad del Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, presentan un poco de ruido, que no interfiere en el análisis de los grupos funcionales, debido a la dificultad de que la muestra a analizar tenga contacto perfecto con el cristal del espectrofotómetro.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de espectroscopía de infrarrojos para los ensayos TiO<sub>2</sub> nano, TiO<sub>2</sub> micro, ZnO y resina, de las muestras vírgenes (sin exposición), de las expuestas en cada una de las tres estaciones y de las sometidas al ensayo ASTM D6695-03b-Ciclo 1 en la cámara de arco de xenón. De los ensayos ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, ZnS<sub>2</sub>O<sub>4</sub>+Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, no se pudo realizar espectroscopía de infrarrojos debido, a que, la presencia excesiva de ruido, no permitió el análisis de los grupos funcionales.

Para determinar cómo se ha producido la degradación de la pintura se realizará una comparación entre los espectros de las pinturas sin exposición y los espectros de los revestimientos degradados. Ésta comparación se estableció mediante el análisis de los grupos: -OH, -CH<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub>, los carbonilos (carbonilo éster) y los carbonatos. Debido, a que estos grupos son los más representativos de una resina alquídica.

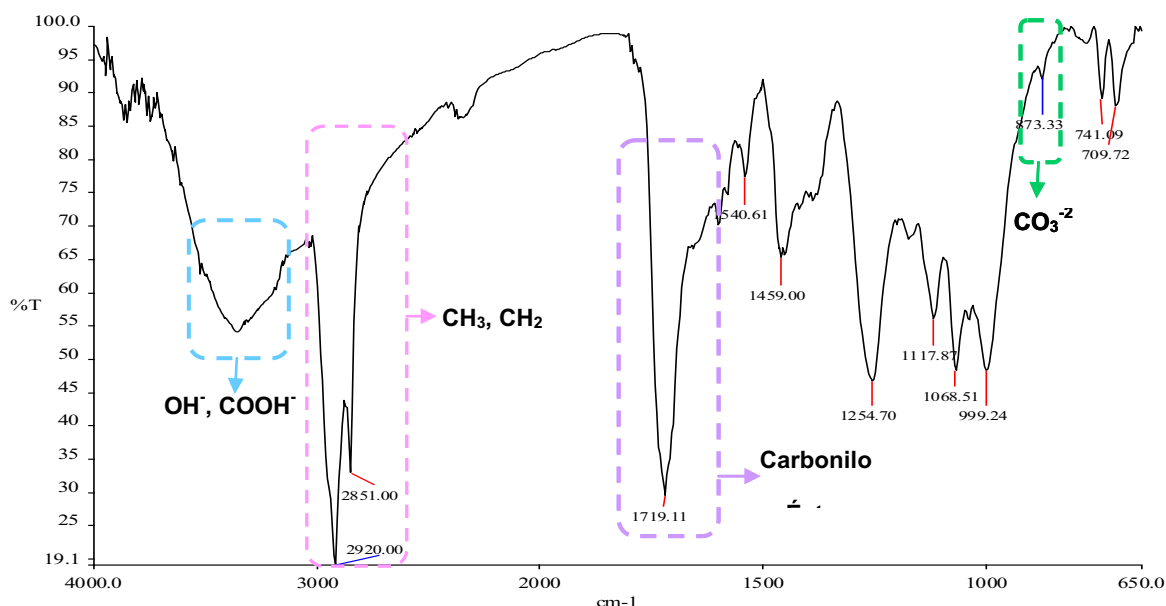
Después de correr los espectros, y hacer la corrección de los mismos, mencionada en el subcapítulo 2.5.3, se identificaron las bandas de los grupos mencionados anteriormente, y se estudió la disminución o incremento de las intensidades de estos picos, de las pinturas degradadas. En todas las Figuras que se presentan a continuación, los espectros de color negro, son los del revestimiento sin exposición y los de color azul, del revestimiento expuesto.

### 3.8.1. ENSAYO 1 (TiO<sub>2</sub> NANO)

En la Figura 3.62 se presenta el espectro del blanco del ensayo TiO<sub>2</sub> nano, los grupos a analizarse se encuentran en la siguiente longitud de onda:

- Grupo CH<sub>2</sub>: 2851 cm<sup>-1</sup>
- Grupo CH<sub>3</sub>: 2920 cm<sup>-1</sup>
- Grupo Carbonilo éster: 1719,11 cm<sup>-1</sup>
- Grupo carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) : 873,33 cm<sup>-1</sup>

Los grupos carbonatos también presentan una banda a 710 cm<sup>-1</sup> pero, en este caso, esta banda no se va a analizar, debido a que esta zona está compartida con los aromáticos, que no son de importancia para éste análisis, y podría existir la presencia de estos y no del grupo carbonato. Además, existe la presencia de bandas en la región de los 3000 a 3500 cm<sup>-1</sup>, que indica la presencia de grupos OH<sup>-</sup> y COOH<sup>-</sup>, característicos de la oxidación de la cadena de la resina.

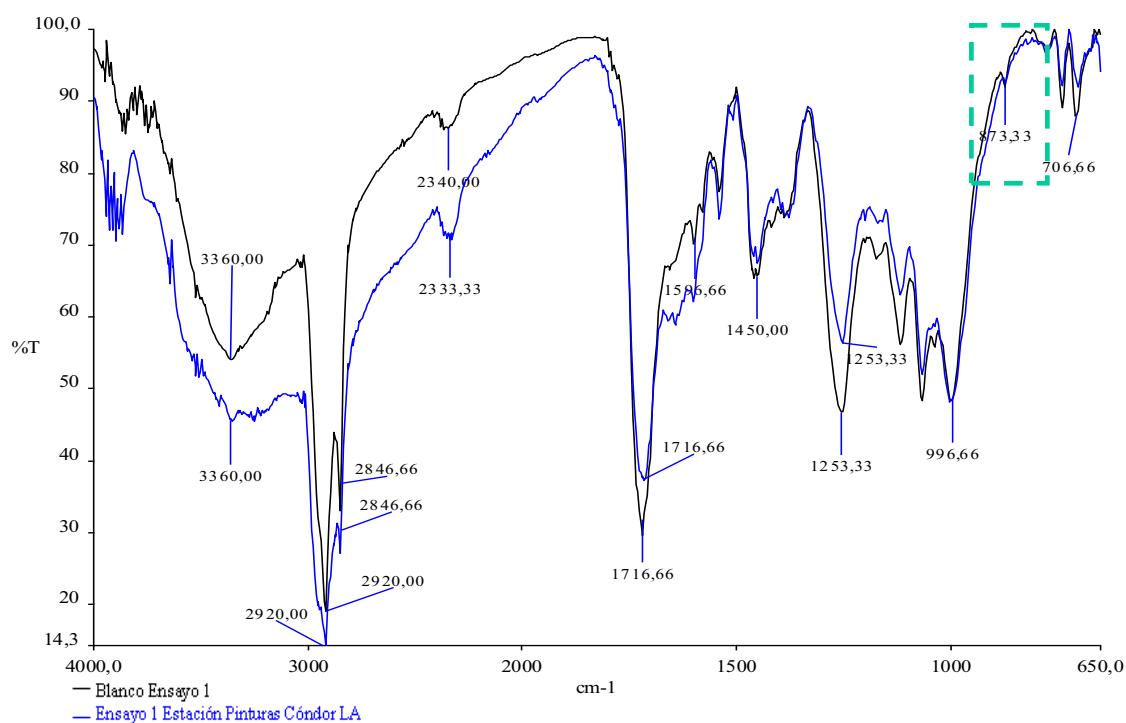


**Figura 3.62.** Espectro Infrarrojo del ensayo 1 (TiO<sub>2</sub> nano), sin exposición

### 3.8.1.1. Estación Pinturas Cónдор

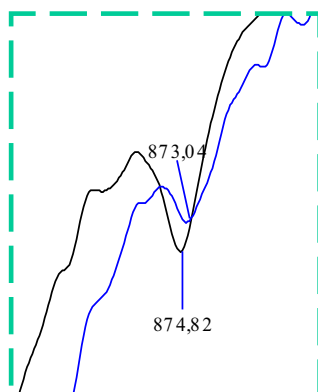
En la Figura 3.63 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo 1 ( $\text{TiO}_2$  nano) expuesto durante seis meses en la estación Pinturas Cónдор. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada, respecto al blanco son:

- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los 2846,66 a 2920  $\text{cm}^{-1}$ , esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Disminución de la banda de carbonilo éster (1716,66  $\text{cm}^{-1}$ ), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de 873,33  $\text{cm}^{-1}$ , como resultado de la migración de éste compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie y su posterior eliminación con el agua de la lluvia.



**Figura 3.63.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Pinturas Cónдор

En la Figura 3.64 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> nano del espectro de la Figura 3.63.

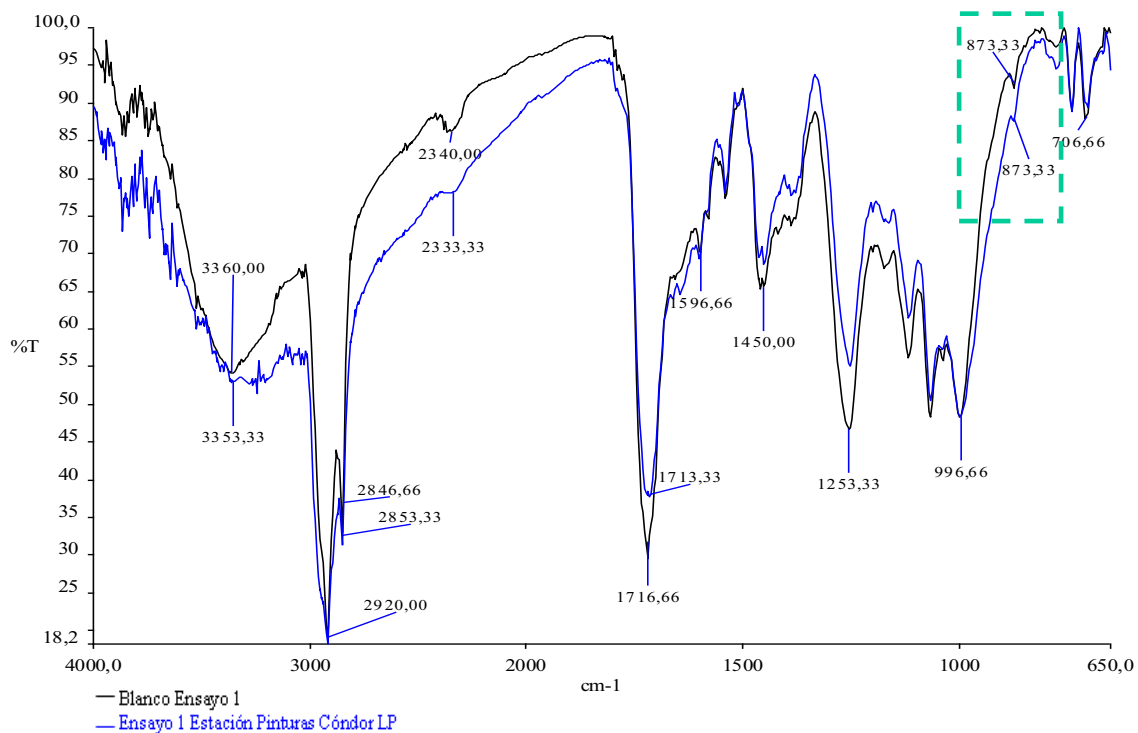


**Figura 3.64.** \*\* Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Pinturas Cónдор

En la Figura 3.65 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> nano expuesto en la estación Pinturas Cónдор. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

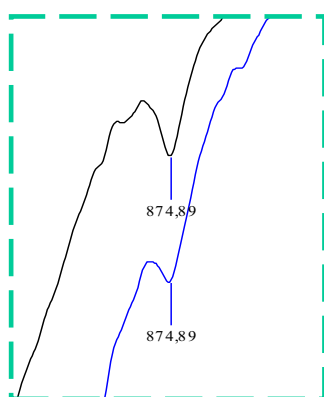
- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2853,33 a 2920 cm<sup>-1</sup>. Esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Disminución de la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de 873,33 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie y su posterior eliminación con el agua de la lluvia.

La eliminación del grupo carbonato en este lado es un poco menor que la del lado expuesto, debido a que en este lado el agua no produce el mismo lavado que en el lado expuesto.



**Figura 3.65.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor

En la Figura 3.66 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo  $\text{TiO}_2$  nano del espectro de la Figura 3.65.

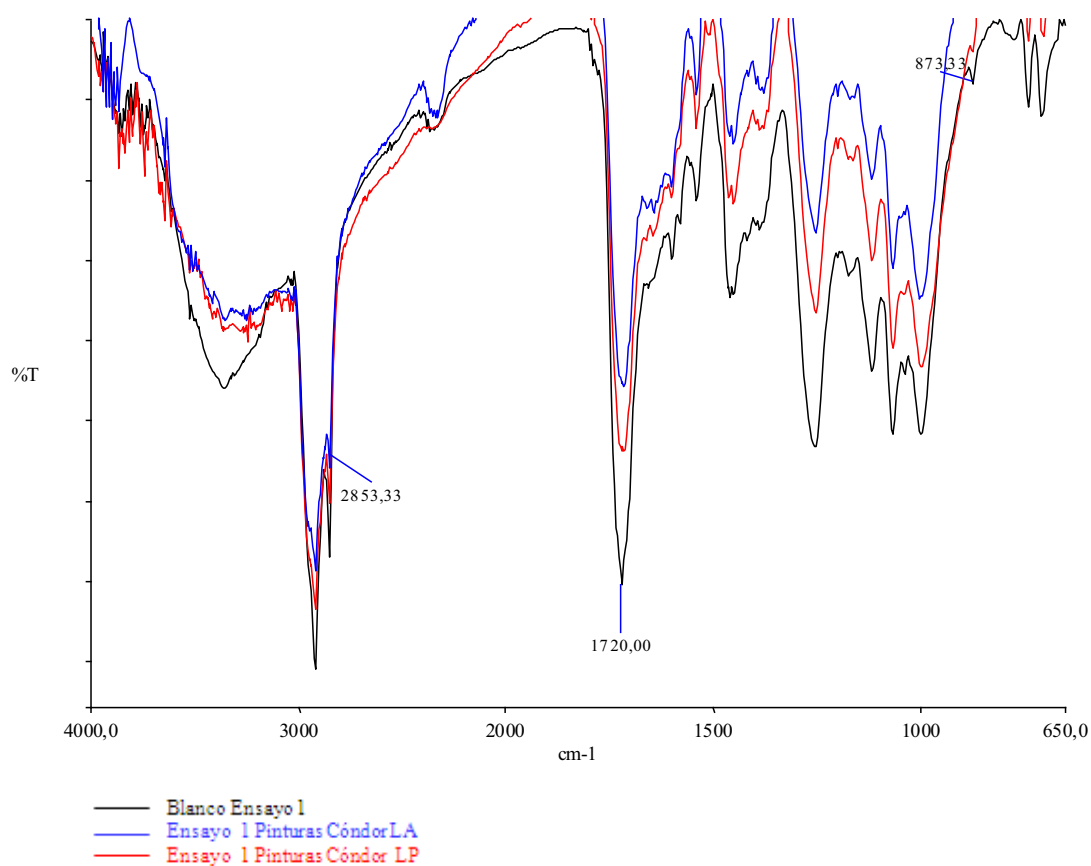


**Figura 3.66.** \*\* Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor



### 3.8.1.1.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.67 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta.

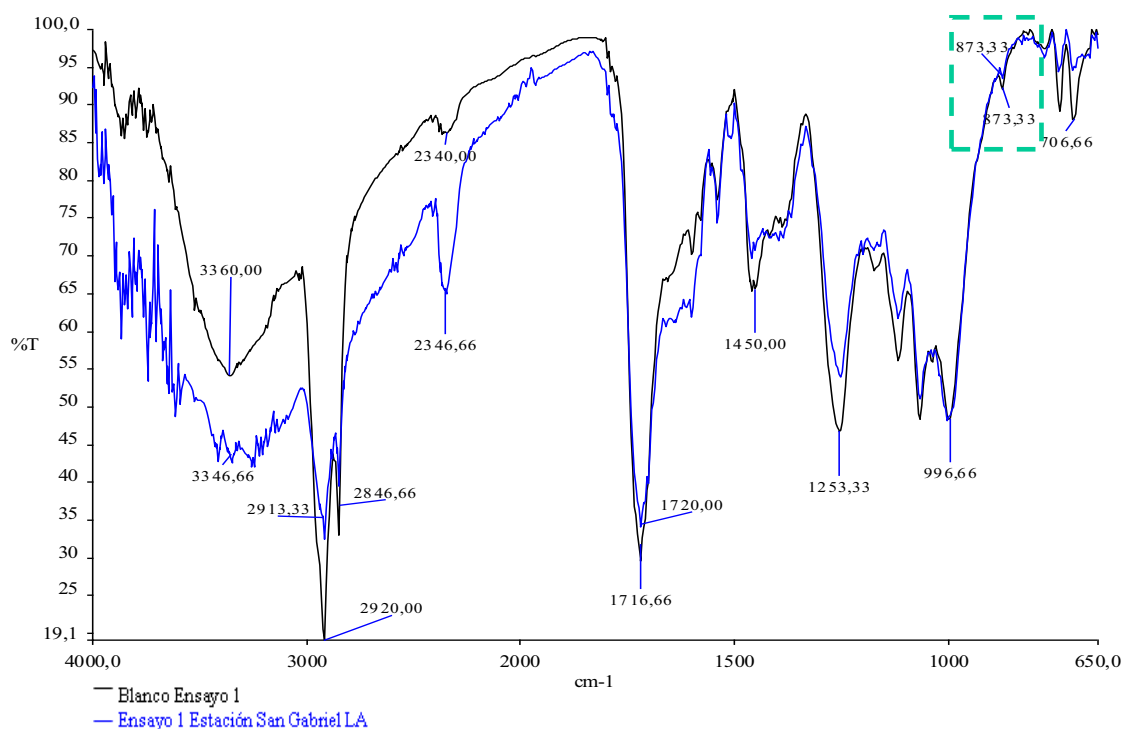


**Figura 3.67.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), Estación Pinturas Cóndor

### 3.8.1.2. Estación San Gabriel

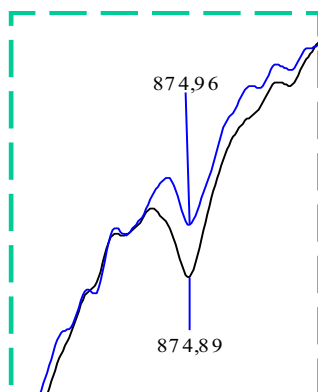
En la Figura 3.68 se observa el espectro del lado anterior del  $\text{TiO}_2$  nano expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Decremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ . Esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Decremento de la banda de carbonilo éster ( $1716,66 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de  $873,33 \text{ cm}^{-1}$ , como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que posteriormente es eliminado con el agua de la lluvia.



**Figura 3.68.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación San Gabriel

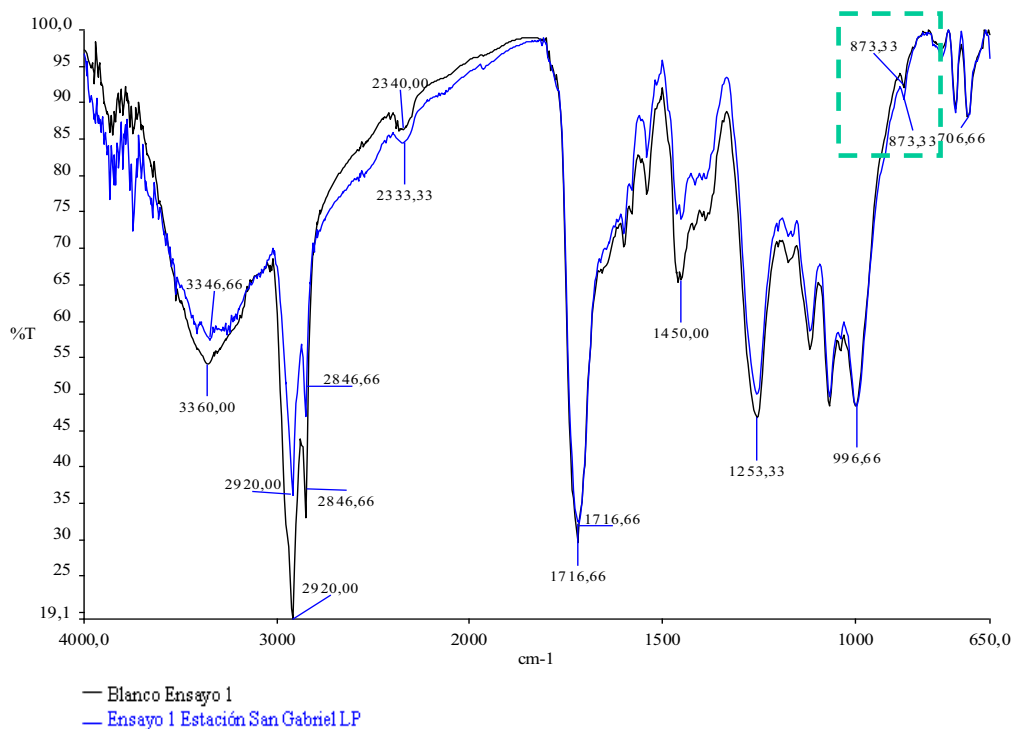
En la Figura 3.69 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> nano del espectro de la Figura 3.68.



**Figura 3.69.** \*\* Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación San Gabriel

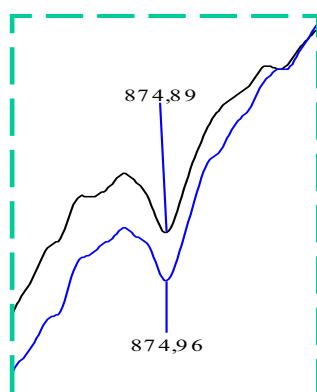
En la Figura 3.70 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> nano, expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846,66 a 2920 cm<sup>-1</sup>, por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Ligera disminución de la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), a causa de la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Ligera disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de 873,33 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de éste compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que posteriormente es eliminado con el agua de la lluvia.



**Figura 3.70.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación San Gabriel

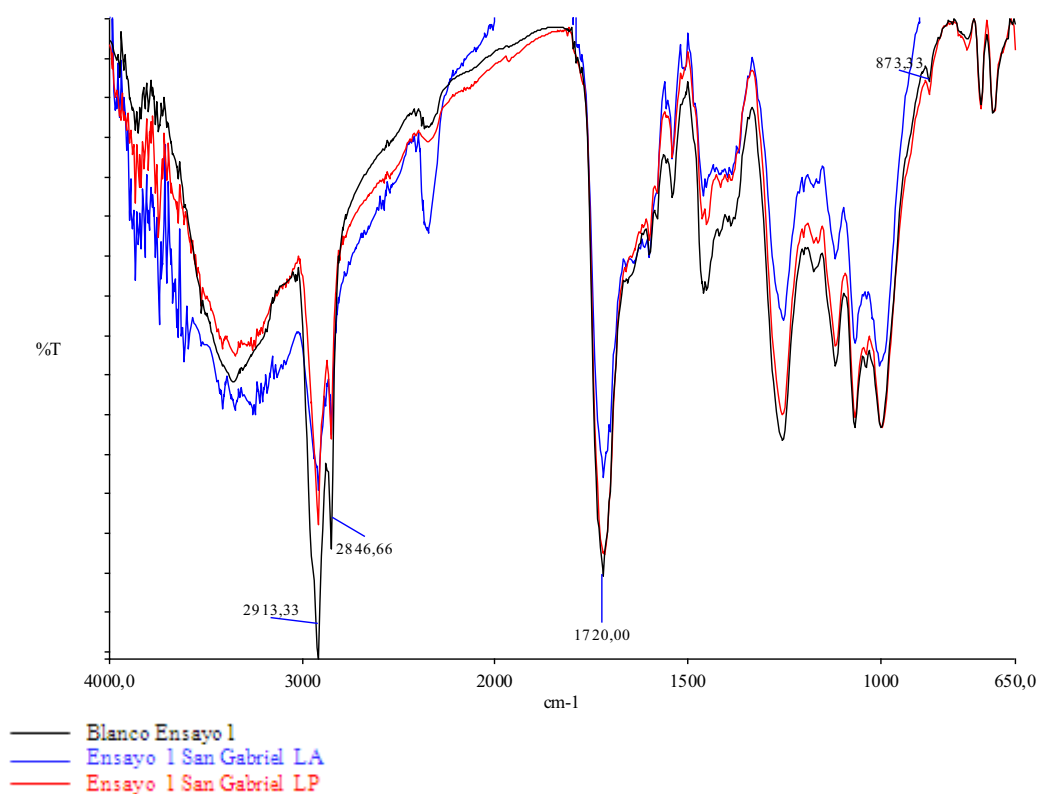
En la Figura 3.71 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo  $\text{TiO}_2$  nano del espectro de la Figura 3.70.



**Figura 3.71.** \*\* Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación San Gabriel

### 3.8.1.2.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.72 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

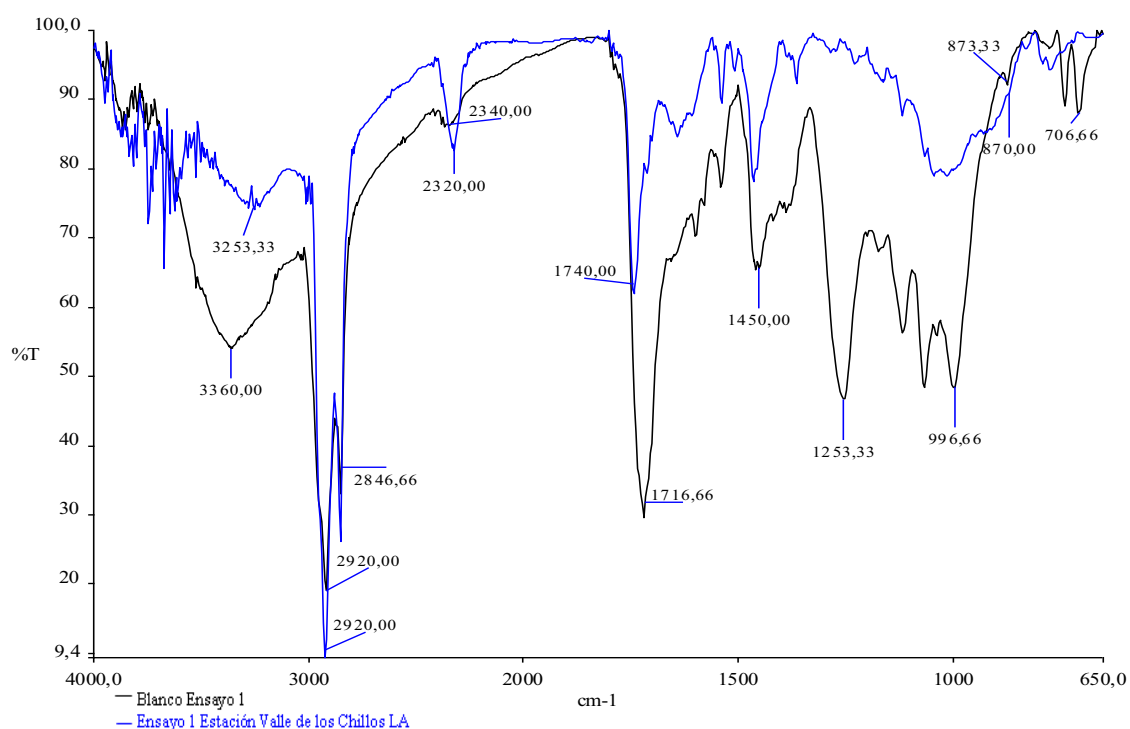


**Figura 3.72.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), Estación San Gabriel

### 3.8.1.3. Estación Valle de los Chillos

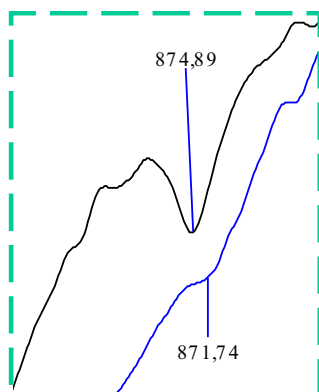
En la Figura 3.73 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> nano expuesto en la estación Valle de los Chillos. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligero aumento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846,66 a 2920 cm<sup>-1</sup>, debido a la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Decremento de la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de 873,33 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que posteriormente es eliminado con el agua de la lluvia.



**Figura 3.73.** Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos

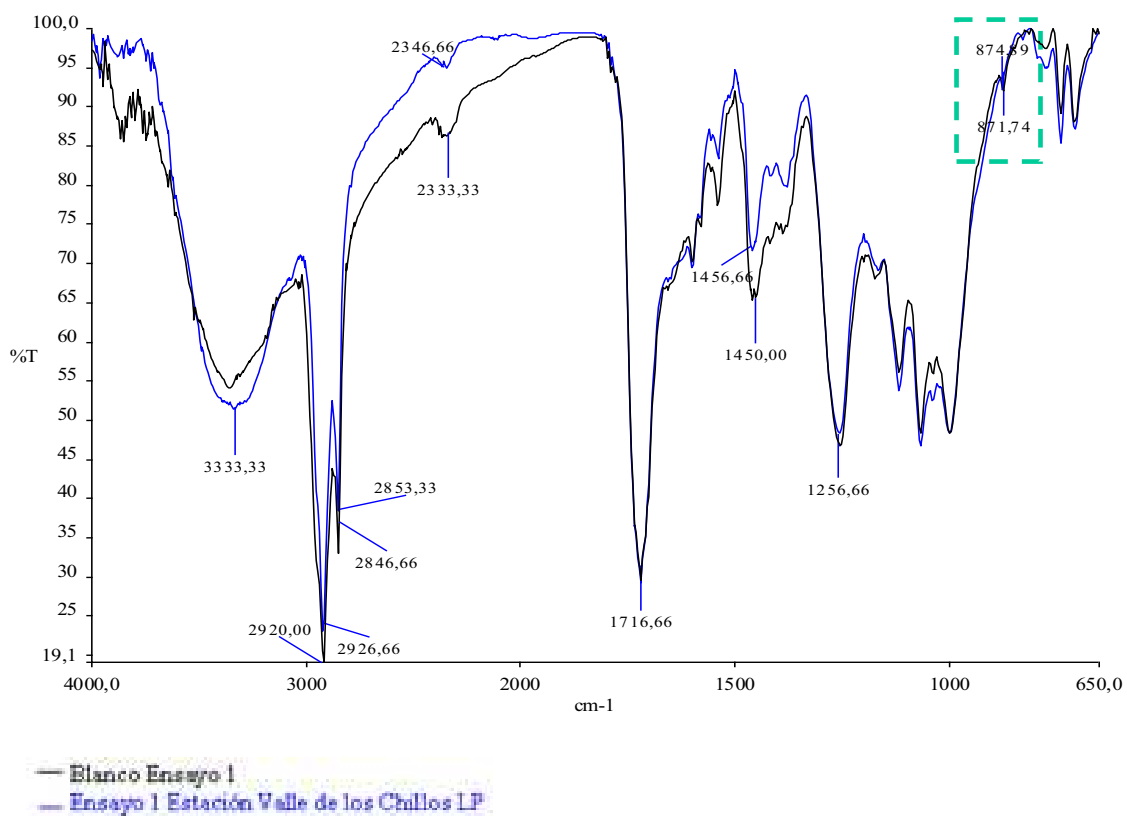
En la Figura 3.74 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> nano del espectro de la Figura 3.73.



**Figura 3.74.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos

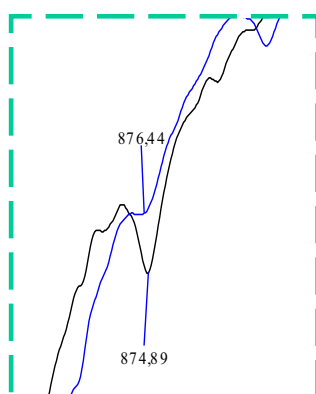
En la Figura 3.75 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> nano, expuesto en la estación Valle de los Chillos. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligera disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846,66 a 2920 cm<sup>-1</sup>, por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Ligera disminución de la banda de carbonilo éster (1740 cm<sup>-1</sup>), a causa de la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de 873,33 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que es eliminado con el agua de la lluvia



**Figura 3.75.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

En la Figura 3.76 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo  $\text{TiO}_2$  nano del espectro de la Figura 3.75.

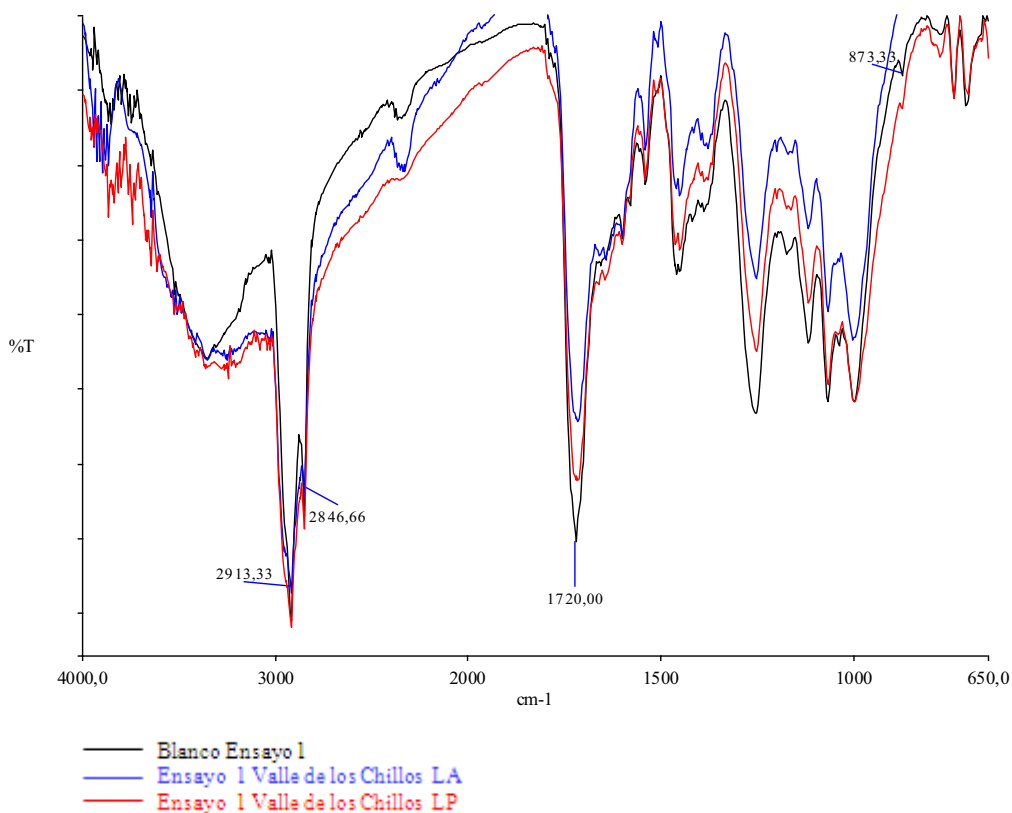


**Figura 3.76.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos



### 3.8.1.3.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.77 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

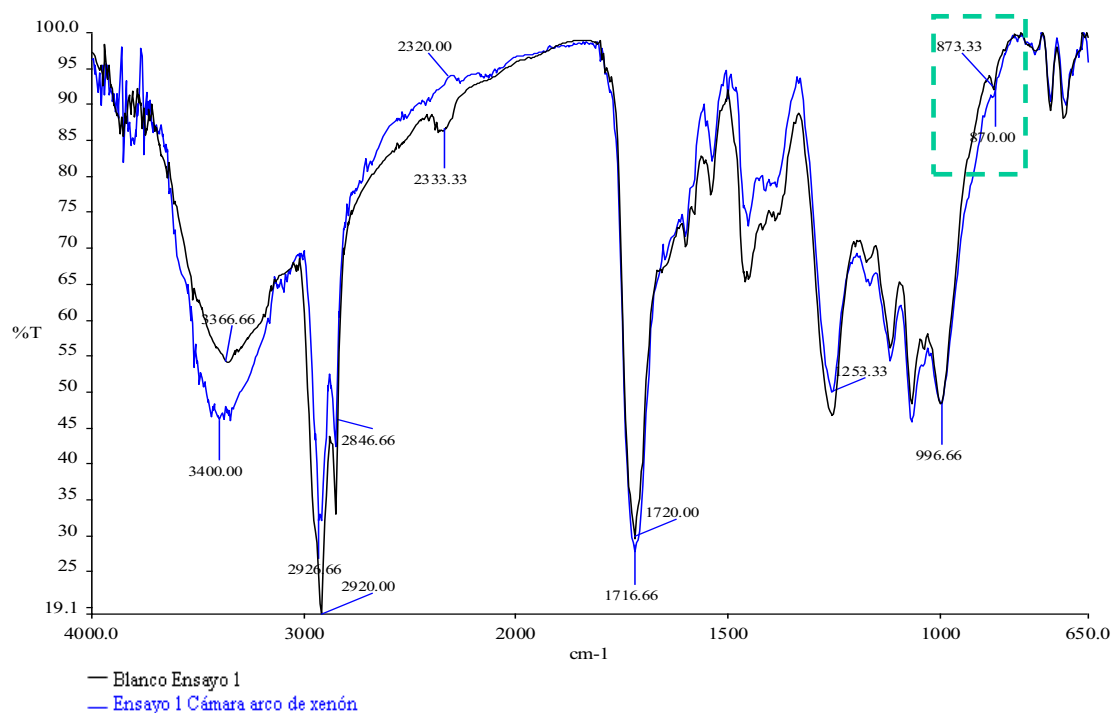


**Figura 3.77.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), Estación Valle de los Chillos

### 3.8.1.4. Cámara de Arco de Xenón

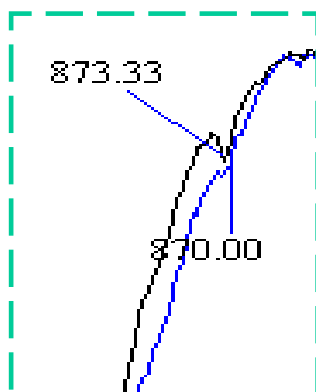
En la Figura 3.69, se presenta el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón de este ensayo. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Decremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2846,66$  a  $2926,66 \text{ cm}^{-1}$ , por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Ligero aumento la banda de carbonilo éster ( $1716,66 \text{ cm}^{-1}$ ). A causa de que la resina empieza su degradación. Esta banda crecerá hasta alcanzar un pico de altura máxima y posteriormente el pico disminuirá porque se romperán los dobles enlaces carbono-oxígeno.
- Ligera disminución de la intensidad de la banda característica de los carbonatos, a la altura de  $870 \text{ cm}^{-1}$ , como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que es eliminado con el agua de la lluvia que cumple una función de lavado.



**Figura 3.78.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  nano (ensayo 1), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón

En la Figura 3.76 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> nano del espectro de la Figura 3.75.

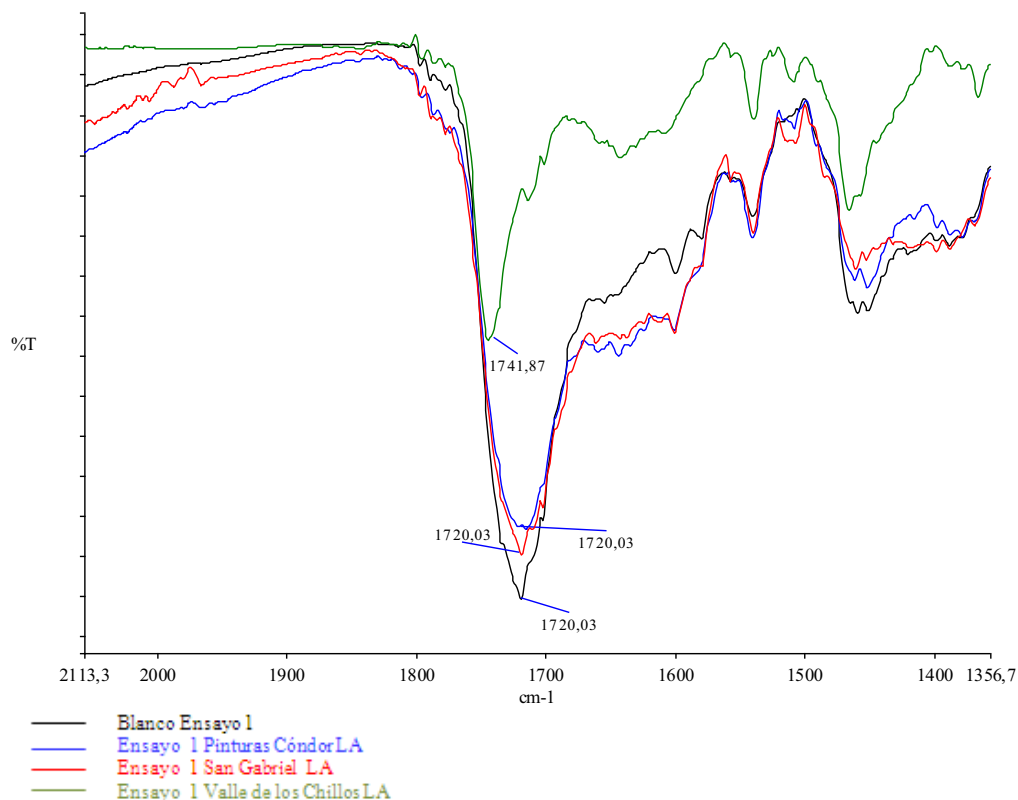


**Figura 3.79.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> nano (ensayo 1), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón

#### 3.8.1.4.1. Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones

Para comparar la degradación que han sufrido los recubrimientos en las diferentes estaciones, se analizó el grupo carbonilo debido, a que este es el grupo que mayor cambio ha presentado en todos los ensayos.

Los espectros de cada uno de los sistemas de pintura, presentan una tendencia de degradación similar en las tres estaciones, por lo que es posible establecer una comparación de los mismos. Comparando las bandas del grupo carbonilo éster del espectro de la Figura 3.80, se observa que el espectro que mayor degradación presenta es el de la pintura ubicada en la localidad Valle de los Chillos. Por lo tanto, se comprueba lo mencionado en el subcapítulo 3.2.2, la atmósfera que más daños provoca a los revestimientos es la estación Valle de los Chillos.

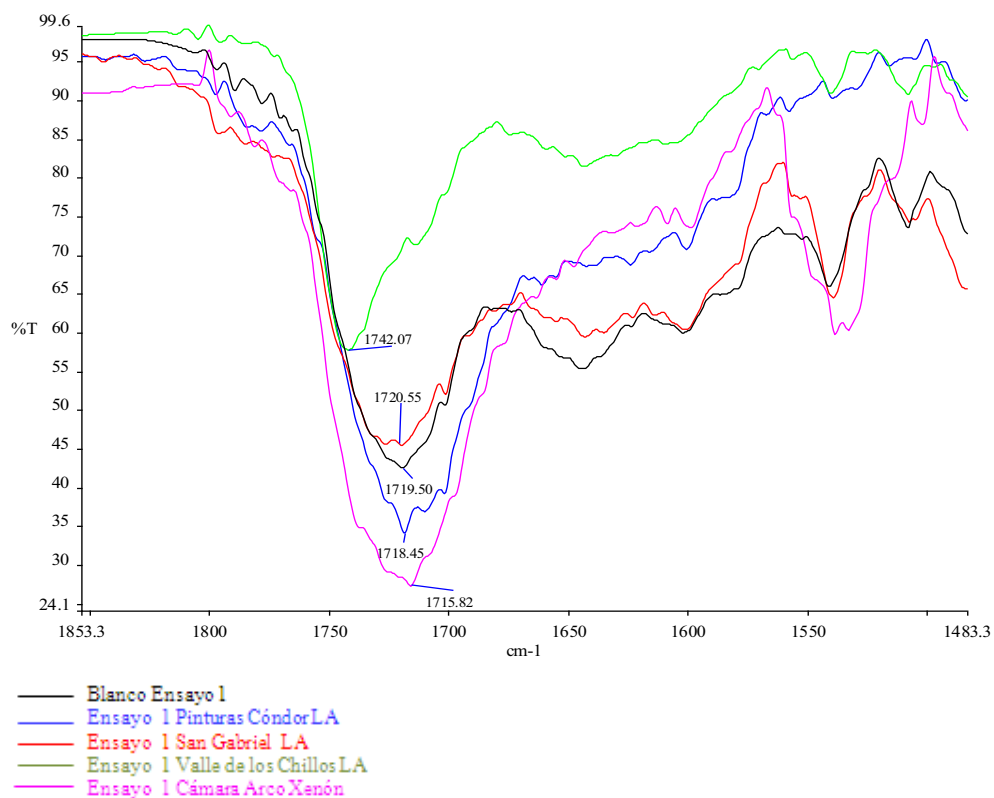


**Figura 3.80.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo TiO<sub>2</sub> nano de las tres estaciones

#### 3.8.1.4.2. Comparación de la degradación del TiO<sub>2</sub> nano expuesto en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón

En la Figura 3.81 se visualiza que, el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón, tiene la misma tendencia de degradación que la de los espectros de las muestras expuestas en campo.

Se observa que la influencia de la radiación ultravioleta es considerable. La placa expuesta al ensayo acelerado presenta una degradación superior a las estaciones San Gabriel y Pinturas Cóndor; como se mencionó anteriormente, la intensidad de la banda del grupo carbonilo crecerá hasta alcanzar su valor máximo y luego disminuirá por el rompimiento de la cadena polimérica, esto sucedió con la pintura expuesta en la estación Valle de los Chillos.



**Figura 3.81.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo  $\text{TiO}_2$  nano expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón

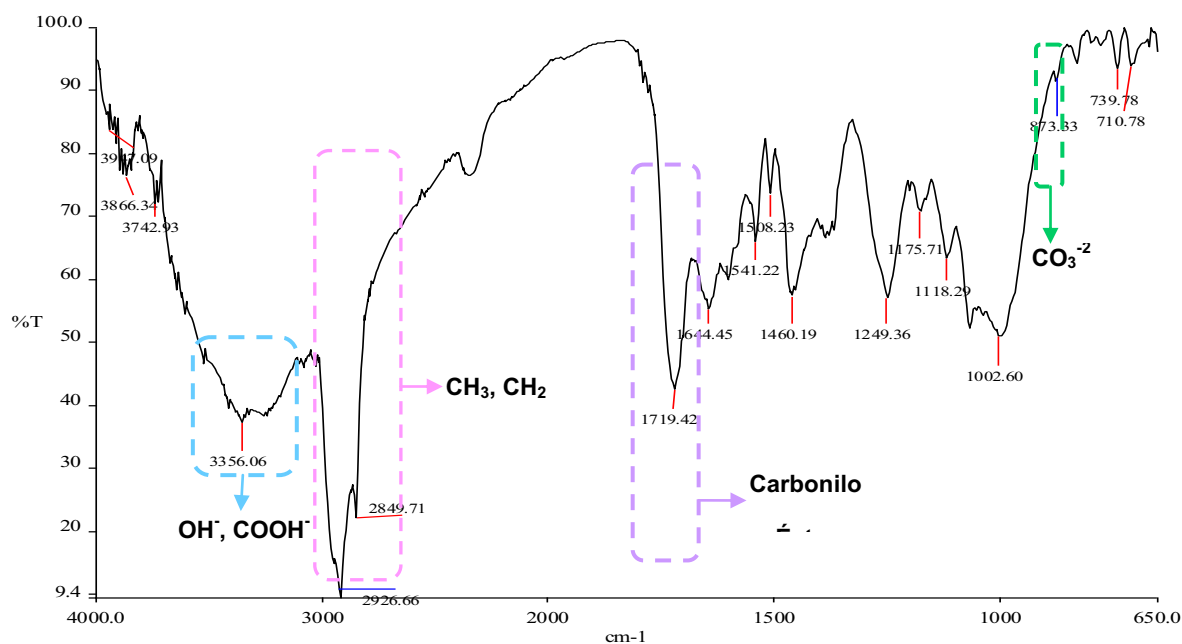
### 3.8.2. ENSAYO 2 (TiO<sub>2</sub> MICRO)

En la Figura 3.82 se presenta el espectro del blanco del ensayo TiO<sub>2</sub> micro, pintura sin exposición, los grupos a analizarse se encuentran en la siguiente longitud de onda:

- Grupo CH<sub>2</sub>: 2849,71 cm<sup>-1</sup>
- Grupo CH<sub>3</sub>: 2926,66 cm<sup>-1</sup>
- Grupo Carbonilo éster: 1719,42 cm<sup>-1</sup>
- Grupo carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>): 873,33 cm<sup>-1</sup>

Los grupos carbonatos también presentan una banda a 710 cm<sup>-1</sup> pero, en este caso, esta banda no se va a analizar, debido a que esta zona está compartida con los aromáticos y podría existir la presencia de estos y no del grupo carbonato.

Además existe la presencia de bandas en la región de los 3000 a 3500 cm<sup>-1</sup>. Esto indica la presencia de grupos OH<sup>-</sup> y COOH<sup>-</sup>, característicos de la oxidación de la cadena de la resina.

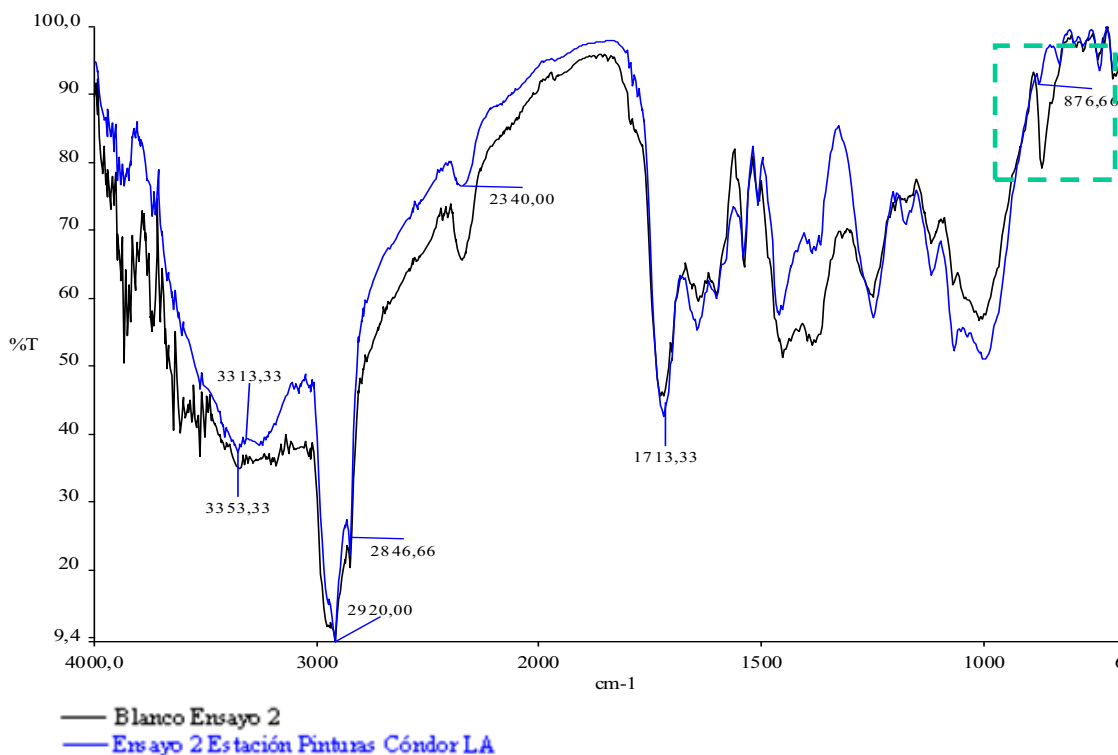


**Figura 3.82.** Espectro Infrarrojo del ensayo 2 (TiO<sub>2</sub> micro) sin exposición

### 3.8.2.1. Estación Pinturas Córdor

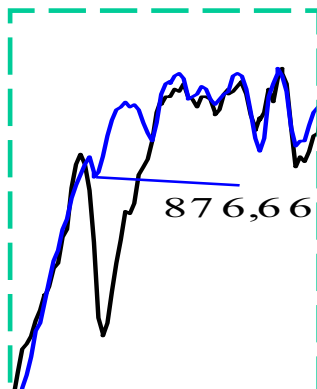
En la Figura 3.83 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> micro, expuesto en la estación Pinturas Córdor. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligero disminución de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846 a 2920 cm<sup>-1</sup>. Esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Disminución de la banda de carbonilo éster (1713,33 cm<sup>-1</sup>), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Incremento de la banda característica de los carbonatos, a la altura de los 876,66 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de éste compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie.



**Figura 3.83.** Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Pinturas Córdor

En la Figura 3.84 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> micro del espectro de la Figura 3.83.

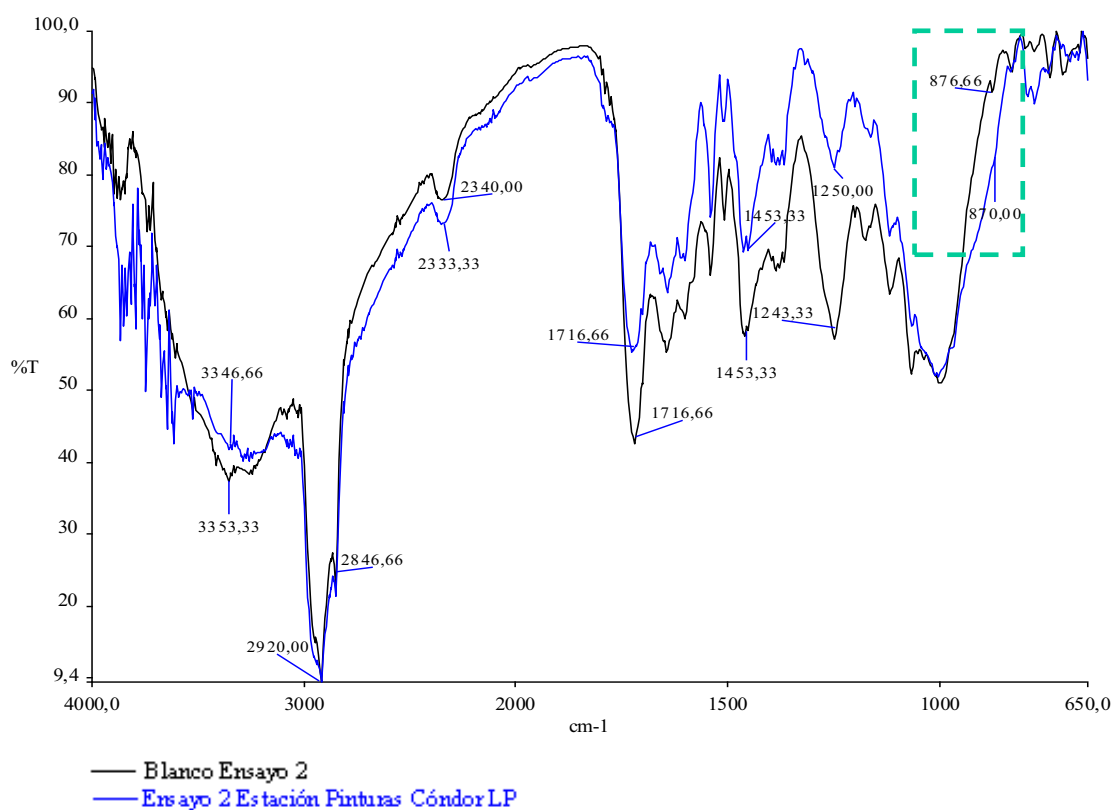


**Figura 3.84.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Pinturas Cónдор

En la Figura 3.85 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> micro, expuesto en la estación Pinturas Cónдор. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

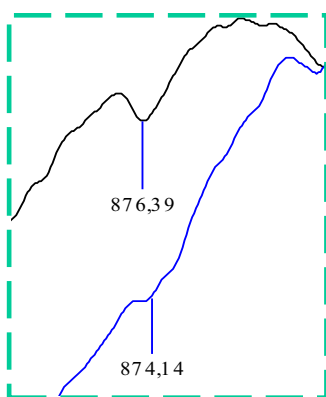
- Ligeramente incremento de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846,66 a 2920 cm<sup>-1</sup>. Esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Disminución de la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Decremento de la banda característica de los carbonatos, a la altura de los 870 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de éste compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie y su posterior eliminación con el agua de la lluvia.





**Figura 3.85.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor

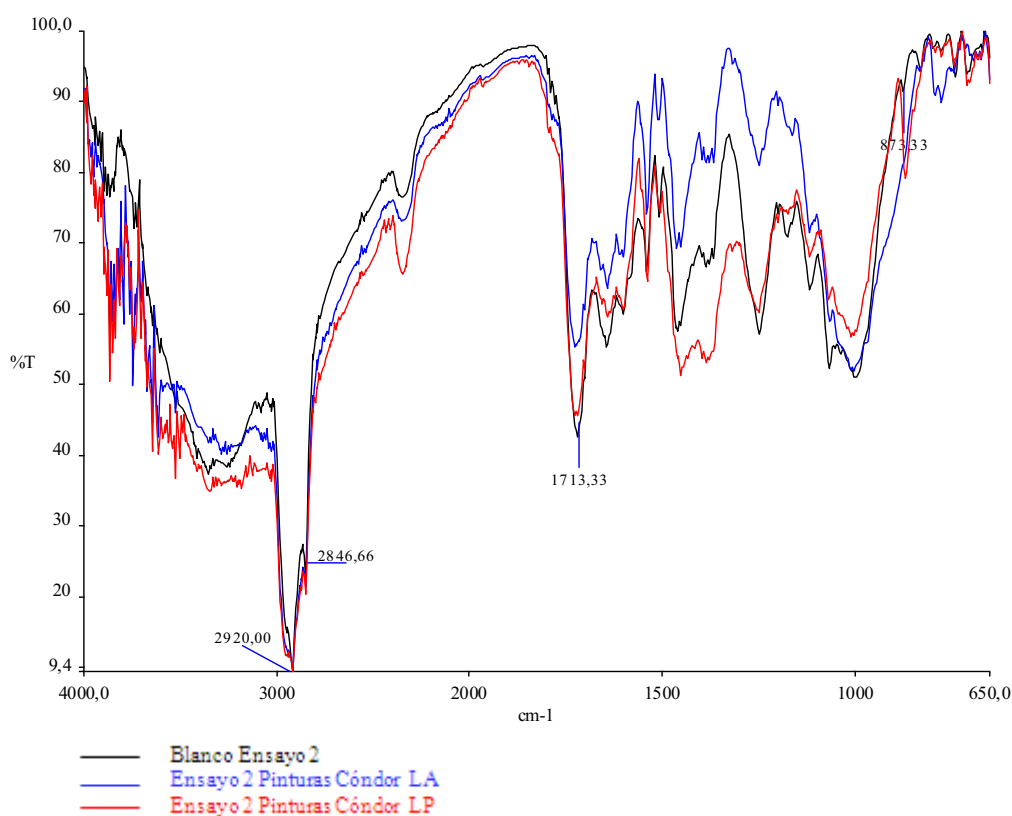
En la Figura 3.86 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo  $\text{TiO}_2$  micro del espectro de la Figura 3.85.



**Figura 3.86.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor

### 3.8.2.1.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.87 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

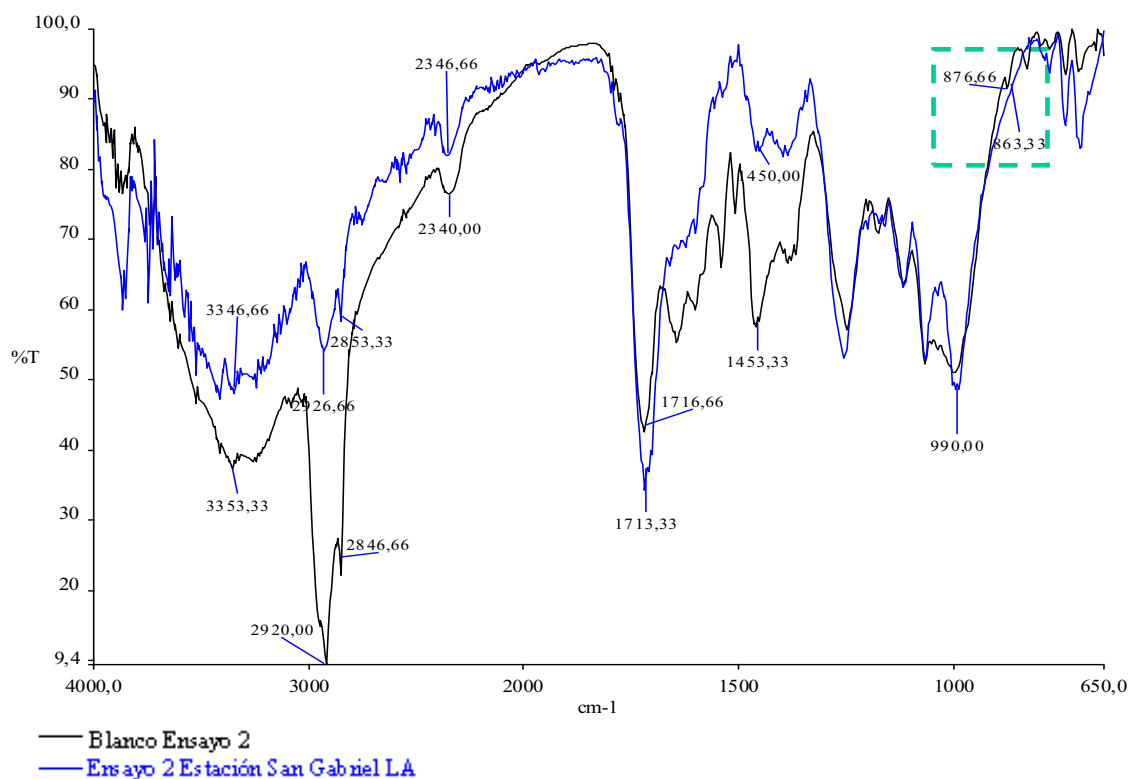


**Figura 3.87.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Estación Pinturas Cóndor

### 3.8.2.2. Estación San Gabriel

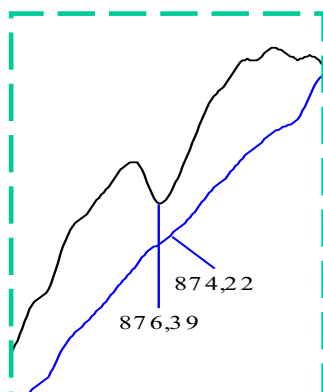
En la Figura 3.88 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> micro expuesto en la estación San Gabriel. La señal del espectro de la pintura degradada no es satisfactoria, pero de todas maneras, se analizó la variación de la intensidad de las bandas identificadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846,66 a 2920 cm<sup>-1</sup>, debido a la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Decremento de la banda de los carbonatos, a la altura de los 876,66 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de éste compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie y su posterior eliminación con el agua de lluvia



**Figura 3.88.** Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación San Gabriel

En la Figura 3.89 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> micro del espectro de la Figura 3.88.

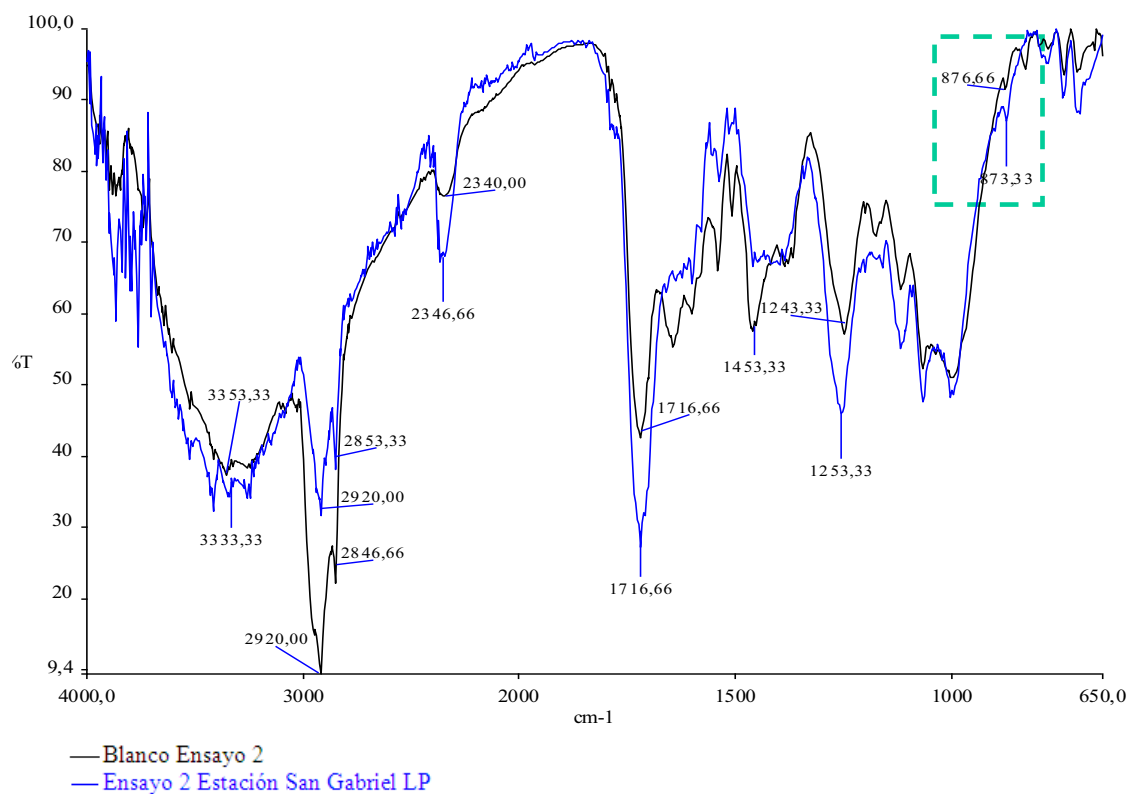


**Figura 3.89.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación San Gabriel

En la Figura 3.90 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> micro, expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

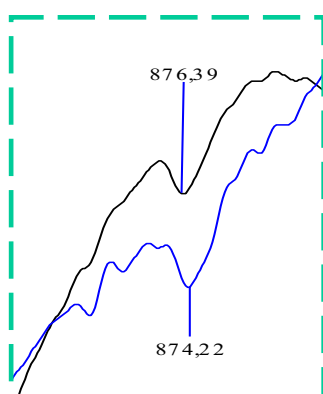
- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846,66 a 2920 cm<sup>-1</sup>, debido a la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Incremento de la banda característica de los carbonatos, a la altura de los 876,66 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de éste compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie.

En este lado, a diferencia del lado expuesto se incrementa la banda del carbonato debido a que la lluvia no tiene efecto de lavado como en el lado anterior.



**Figura 3.90.** Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación San Gabriel

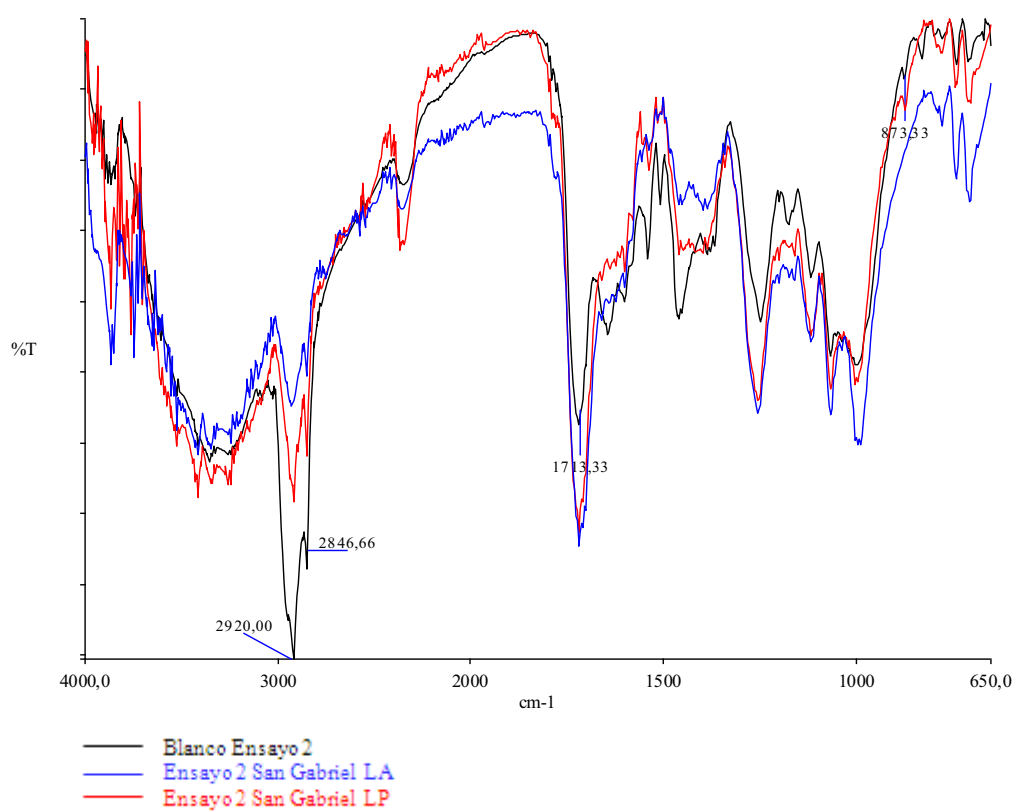
En la Figura 3.91 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> micro del espectro de la Figura 3.90.



**Figura 3.91.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación San Gabriel

### 3.8.2.2.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En la Figura 3.92 se observa, que el lado expuesto presenta tiene más cambios que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

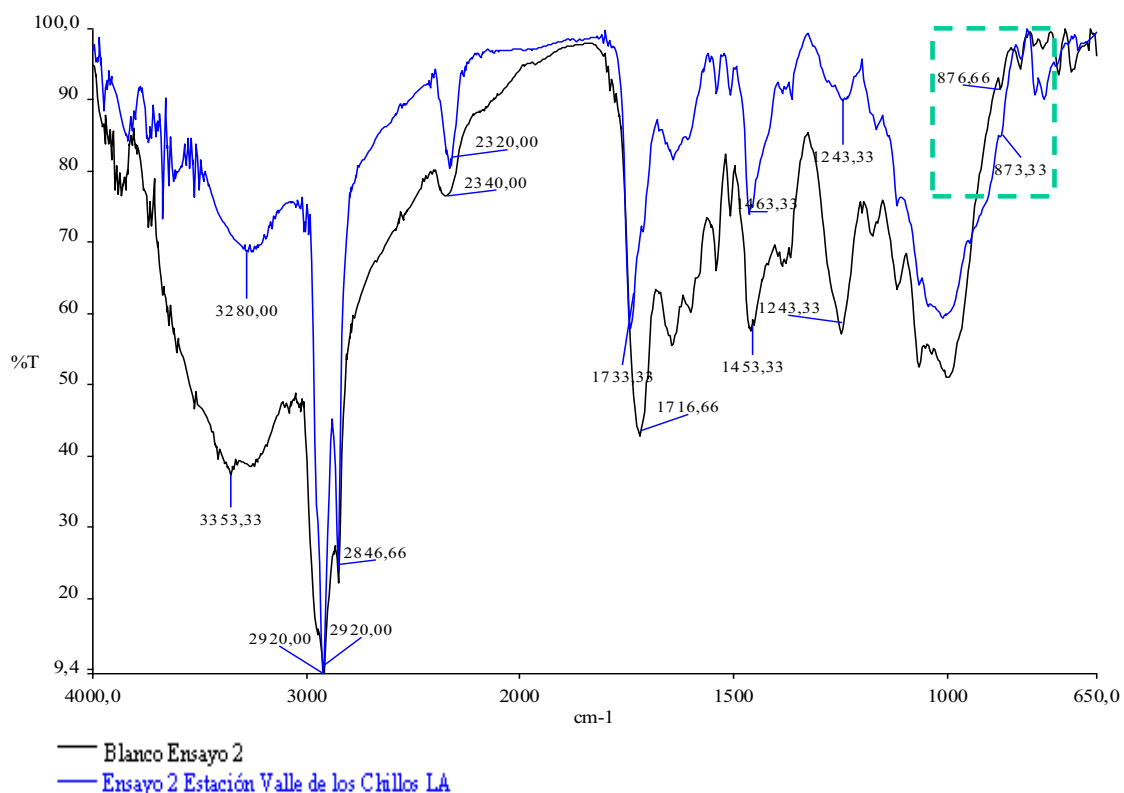


**Figura 3.92.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del  $\text{TiO}_2$  micro (ensayo 2), Estación San Gabriel

### 3.8.2.3. Estación Valle de los Chillos

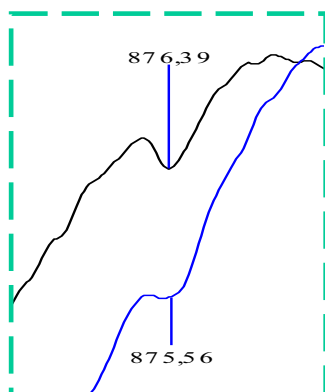
En la Figura 3.93 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> micro, expuesto en la estación Valle de los Chillos. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligero incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2846,66 a 2920 cm<sup>-1</sup>, por la ruptura de la cadena polimérica.
- Disminución de la intensidad de la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de los 876,66 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que desaparece por el lavado con el agua de la lluvia.



**Figura 3.93.** Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos

En la Figura 3.94 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> micro del espectro de la Figura 3.93.

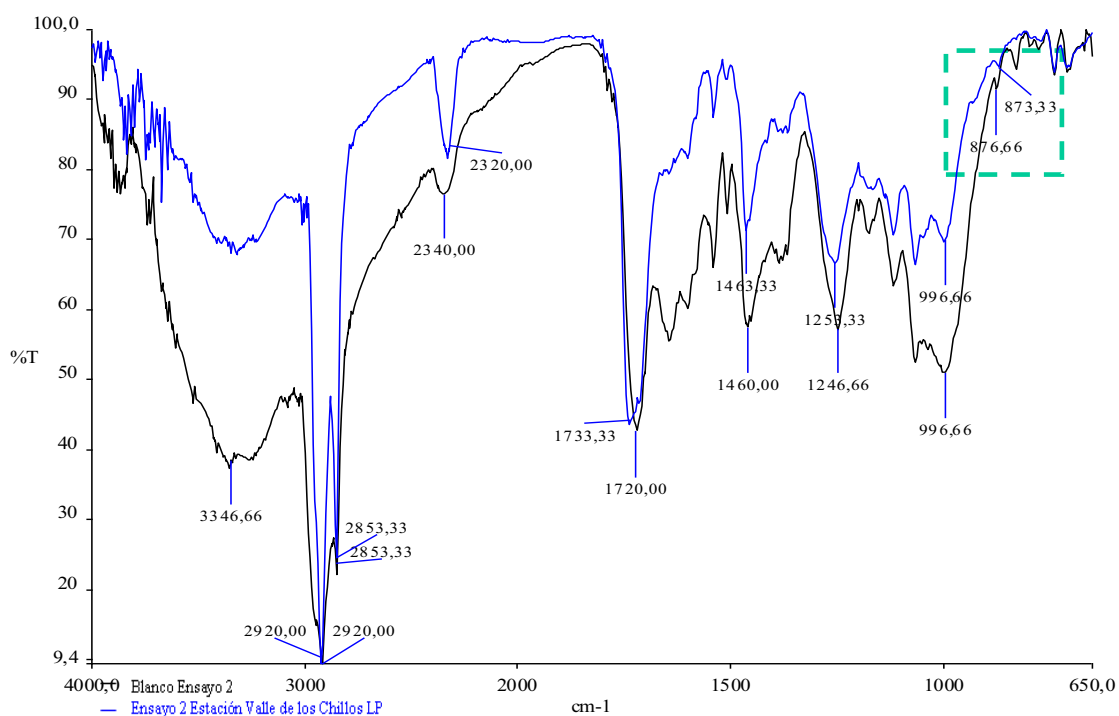


**Figura 3.94.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos

En la Figura 3.95 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo TiO<sub>2</sub> micro, expuesto en la estación Valle de los Chillos. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

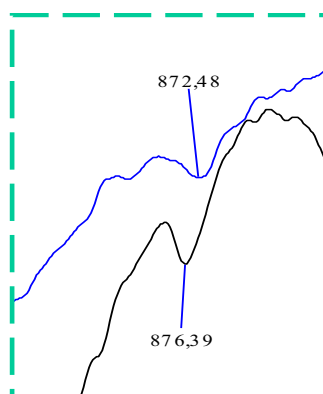
- Ligero incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2853,33 a 2920 cm<sup>-1</sup>, por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Ligera disminución de la banda de carbonilo éster (1733,33 cm<sup>-1</sup>), a causa de la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Disminución de la banda característica de los carbonatos, a la altura de 873,33cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que es eliminado con el agua de la lluvia.





**Figura 3.95.** Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

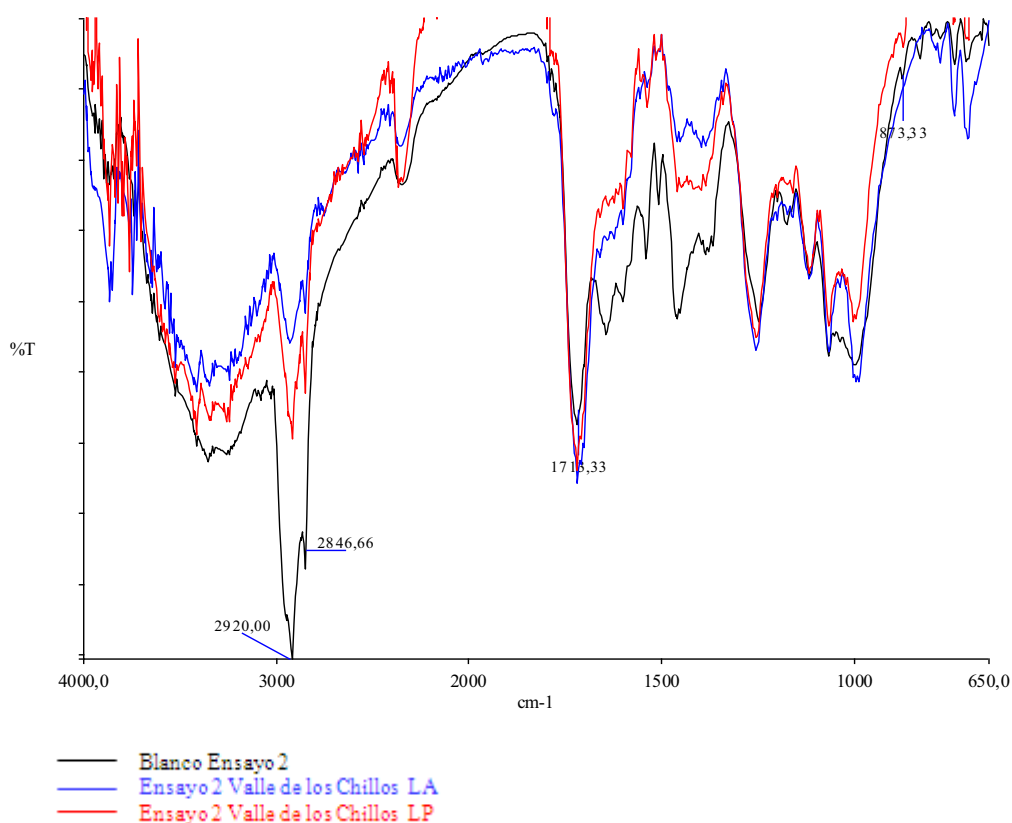
En la Figura 3.96 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo  $\text{TiO}_2$  micro del espectro de la Figura 3.95.



**Figura 3.96.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del  $\text{TiO}_2$  micro (ensayo 2), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

### 3.8.2.3.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.97 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

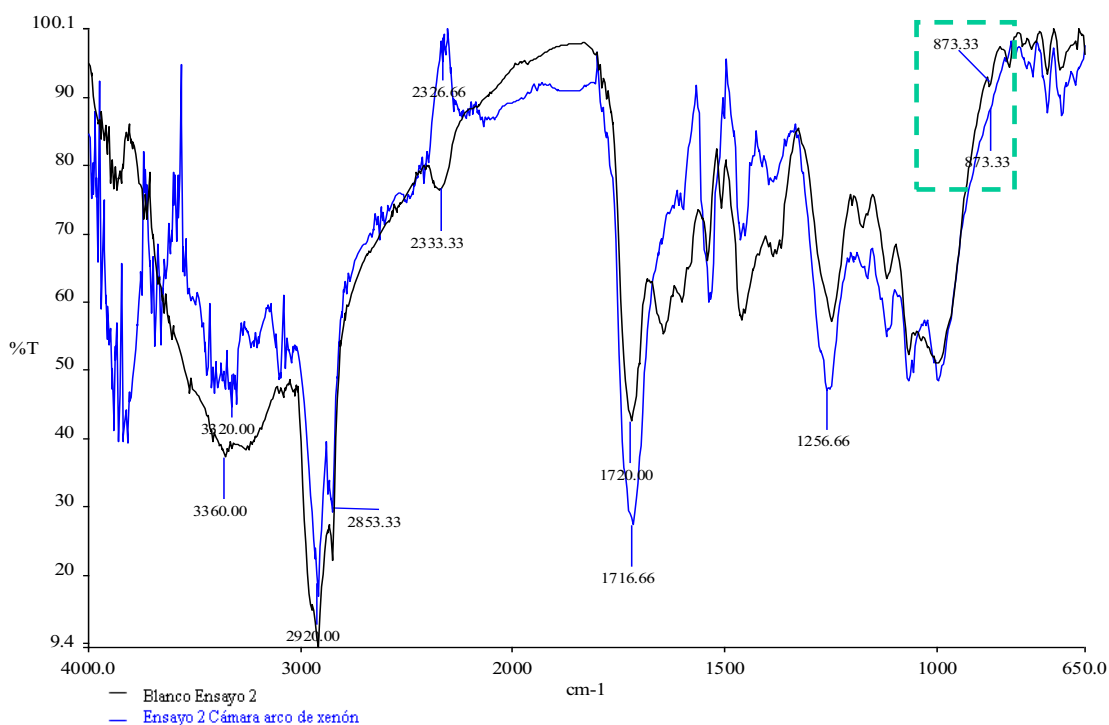


**Figura 3.97.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del  $\text{TiO}_2$  micro (ensayo 2), Estación Pinturas Cóndor

### 3.8.2.4. Cámara de Arco de Xenón

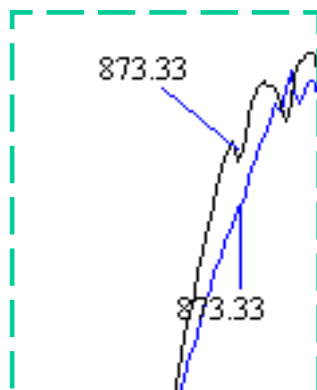
En la Figura 3.98, se presenta el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón del ensayo TiO<sub>2</sub> micro. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Decremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>, ubicada en la región de los 2853,33 a 2920 cm<sup>-1</sup>, por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Ligero aumento la banda de carbonilo éster (1716,66 cm<sup>-1</sup>), a causa de que la resina empieza su degradación. Esta banda crecerá hasta alcanzar un pico de altura máxima y posteriormente el pico disminuirá porque se romperán los dobles enlaces carbono-oxígeno.
- Disminución de la intensidad de la banda característica de los carbonatos, a la altura de 870 cm<sup>-1</sup>, como resultado de la migración de este compuesto desde la matriz polimérica hacia la superficie, que es eliminado con el agua de la lluvia que cumple una función de lavado.



**Figura 3.98.** Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2) expuesto a la Cámara de Arco de Xenón

En la Figura 3.99 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo TiO<sub>2</sub> micro del espectro de la Figura 3.98.



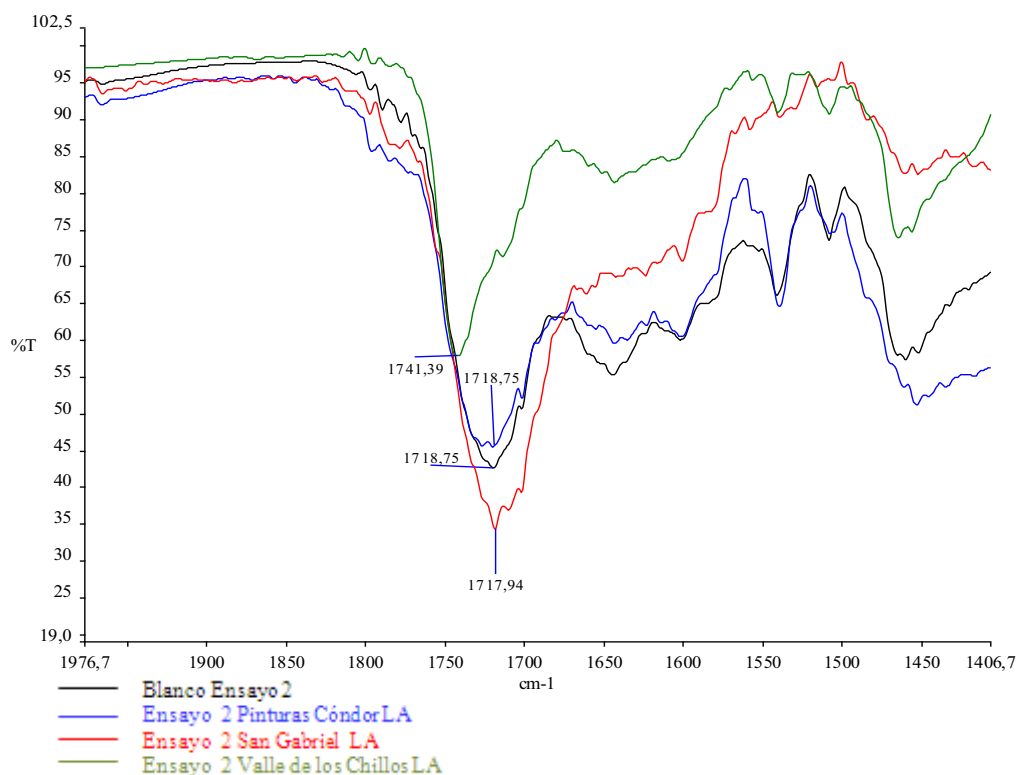
**Figura 3.99.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del TiO<sub>2</sub> micro (ensayo 2), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón

#### 3.8.2.4.1. Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones

Para comparar la degradación que han sufrido los recubrimientos en las diferentes estaciones, se analizó el grupo carbonilo debido, a que este es el grupo que mayor cambio ha presentado en todos los ensayos.

Los espectros de cada uno de los sistemas de pintura, presentan una tendencia de degradación similar en las tres estaciones, por lo que es posible establecer una comparación de los mismos. Comparando la intensidad de banda del grupo carbonilo éster de los espectros de las Figura 3.100, se observa que el espectro que mayor degradación presenta, al igual que en el TiO<sub>2</sub> nano, es el de la pintura ubicada en la localidad Valle de los Chillos.

Por lo tanto, se comprueba lo mencionado en el subcapítulo 3.2.2, la atmósfera que más daños provoca a los revestimientos es la estación Valle de los Chillos.



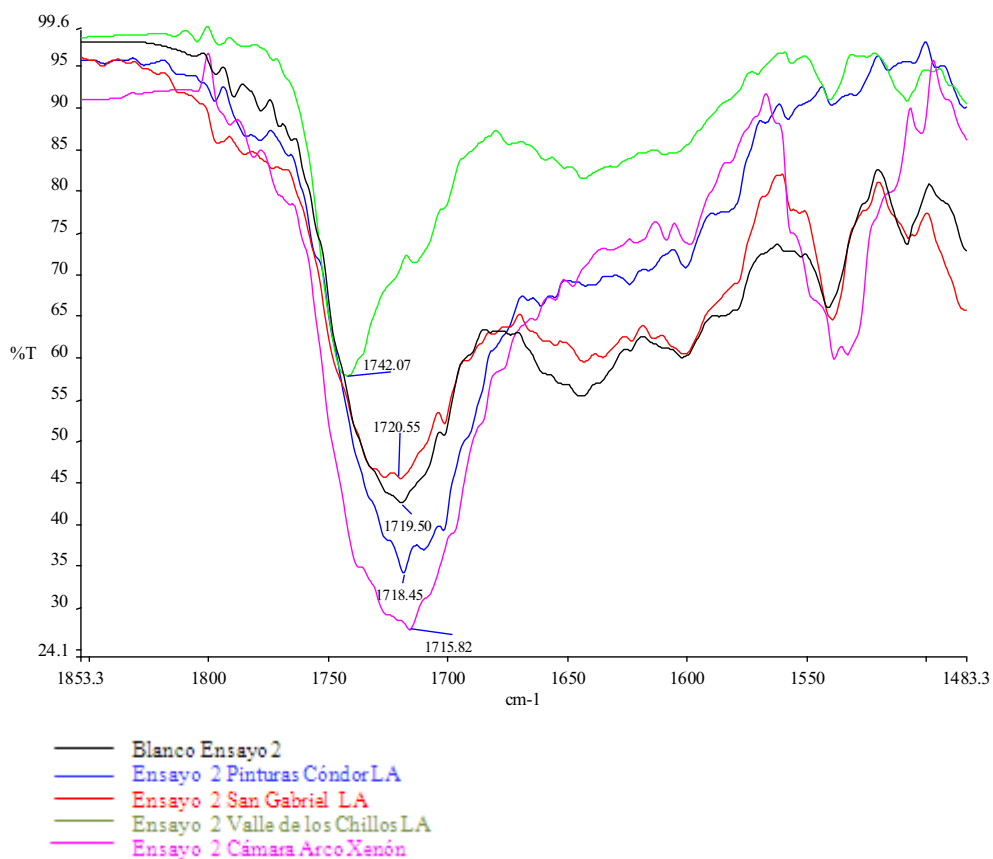
**Figura 3.100.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo  $\text{TiO}_2$  micro de las tres estaciones

#### 3.8.2.4.2. Comparación de la degradación del $\text{TiO}_2$ micro expuesto en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón

En el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón, Figura 3.101, se indica que la tendencia de degradación es la misma que la de los ensayos de campo. Se observa que la influencia de la radiación ultravioleta es considerable. La placa expuesta al ensayo acelerado presenta una degradación superior a las estaciones San Gabriel y Pinturas Cóndor.

Como se mencionó anteriormente, la intensidad de la banda del grupo carbonilo crecerá hasta alcanzar su valor máximo y luego disminuirá por el rompimiento de la cadena polimérica, esto sucedió con la pintura expuesta en la estación Valle de los Chillos.

La cadena polimérica de éste ensayo se degrada un poco más que la de la resina del ensayo TiO<sub>2</sub> nano, debido a la influencia de las nanopartículas.



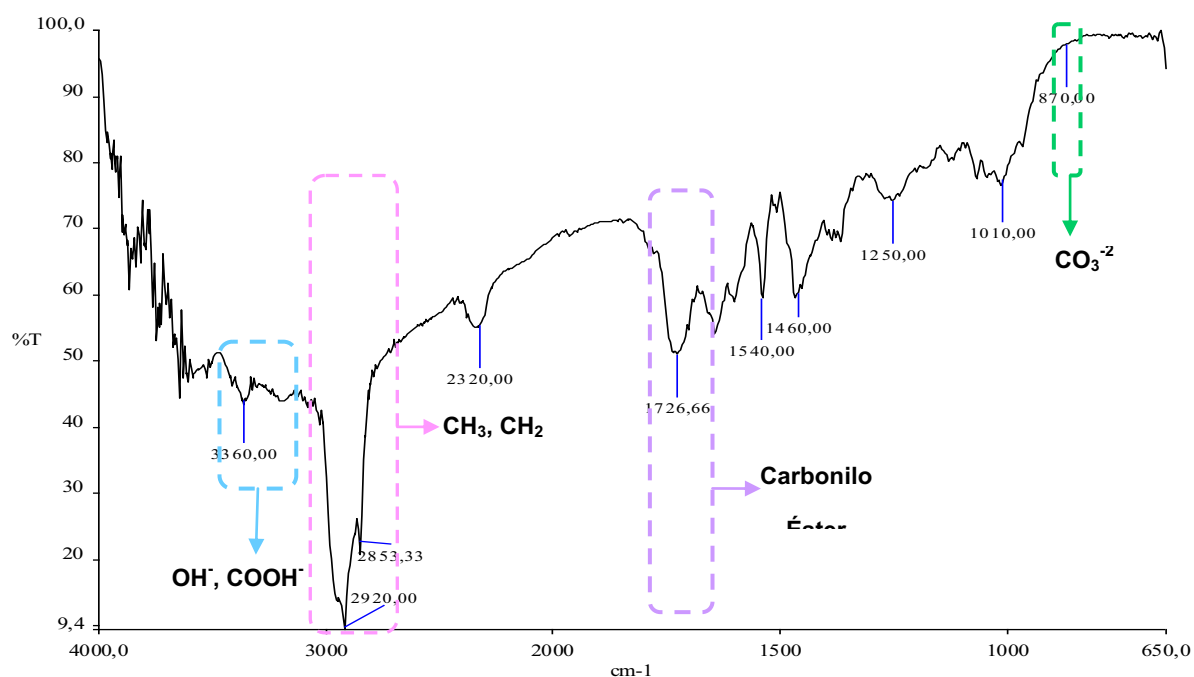
**Figura 3.101.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo TiO<sub>2</sub> micro expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón

### 3.8.3. ENSAYO 3 (ZNO)

En la Figura 3.102 se presenta el espectro del blanco del ensayo ZnO, los grupos a analizarse se encuentran en la siguiente longitud de onda:

- Grupo CH<sub>2</sub>: 2853,33 cm<sup>-1</sup>
- Grupo CH<sub>3</sub>: 2920 cm<sup>-1</sup>
- Grupo Carbonilo éster: 1726,66 cm<sup>-1</sup>
- Grupo carbonato: no existe

Los grupos carbonatos también presentan una banda a 710 cm<sup>-1</sup> pero, en este caso, esta banda no se va a analizar debido a que esta zona está compartida con los aromáticos y podría existir la presencia de estos y no del grupo carbonato.

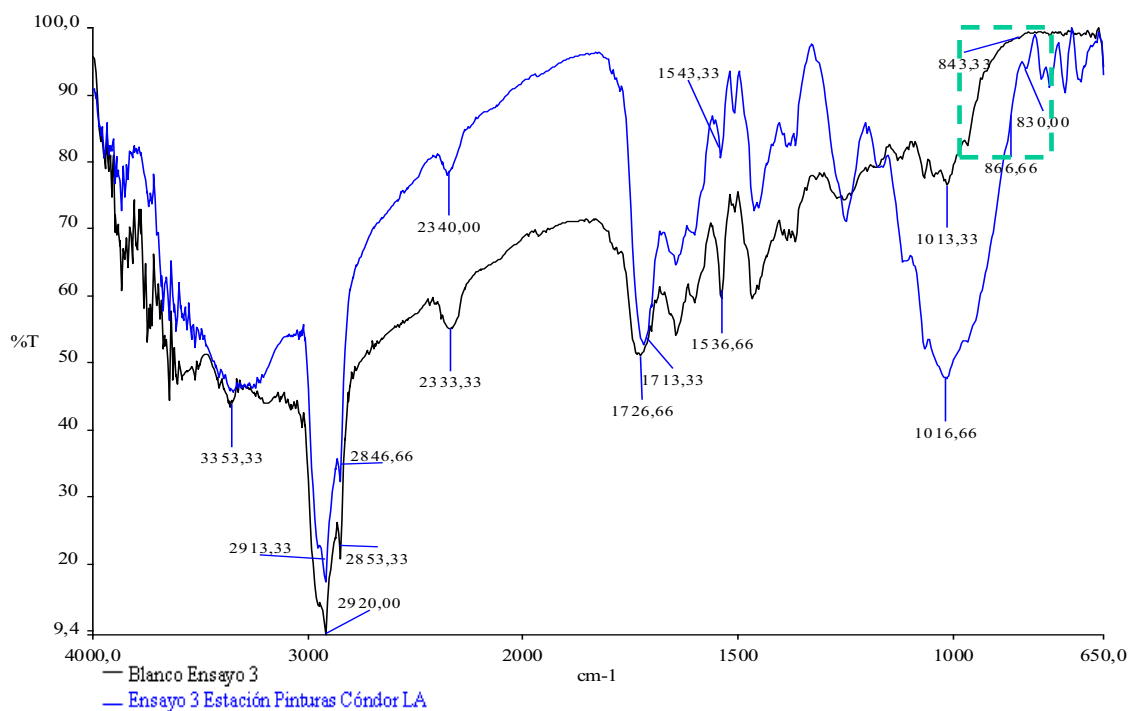


**Figura 3.102.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3) sin exposición

### 3.8.3.1. Estación Pinturas Córdor

En la Figura 3.103 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo ZnO expuesto en la estación Pinturas Córdor. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

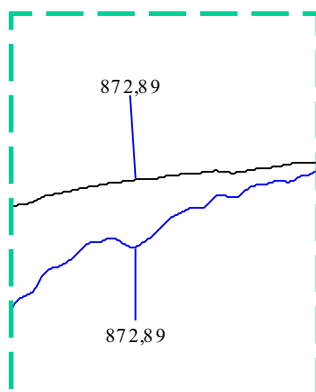
- Decremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2846,66$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ , por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Disminución de la banda de carbonilo éster ( $1713,33 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Aparición de una pequeña banda del grupo de los carbonatos, probablemente como resultado de material particulado (carbonato, proveniente de las otras pinturas que se ha transportado por la acción del viento) presente en la atmósfera, a la altura de  $830 \text{ cm}^{-1}$ .



**Figura 3.103.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Pinturas Córdor



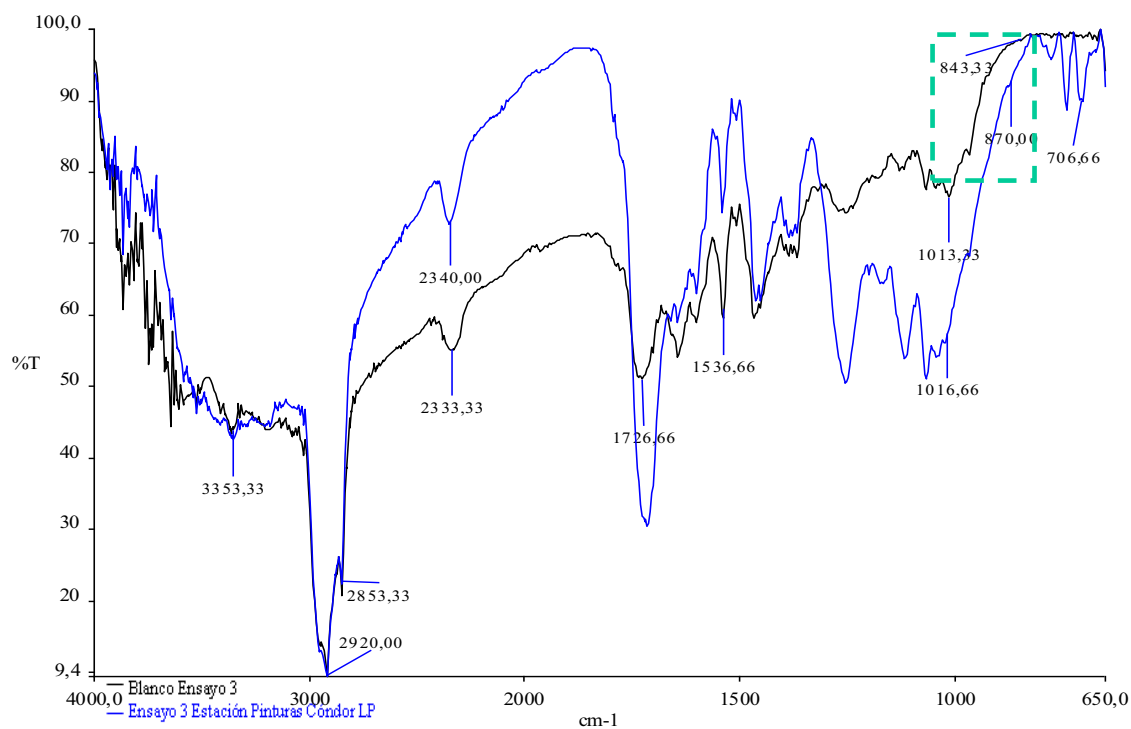
En la Figura 3.104 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo ZnO del espectro de la Figura 3.103.



**Figura 3.104.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Pinturas Cónдор

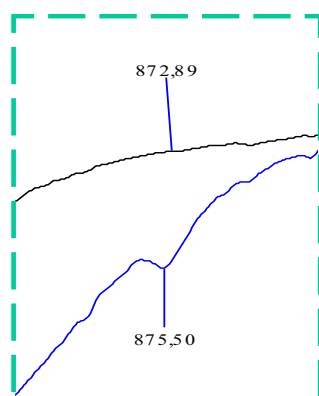
En la Figura 3.92 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo ZnO, expuesto en la estación Pinturas Cónдор. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligeramente incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ . Esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster ( $1726,66 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Aparición de una pequeña banda del grupo de los carbonatos, probablemente como resultado de material particulado (carbonato, proveniente de las otras pinturas que se ha transportado por la acción del viento) presente en la atmósfera, a la altura de  $875,5 \text{ cm}^{-1}$ .



**Figura 3.105.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Pinturas Córdor

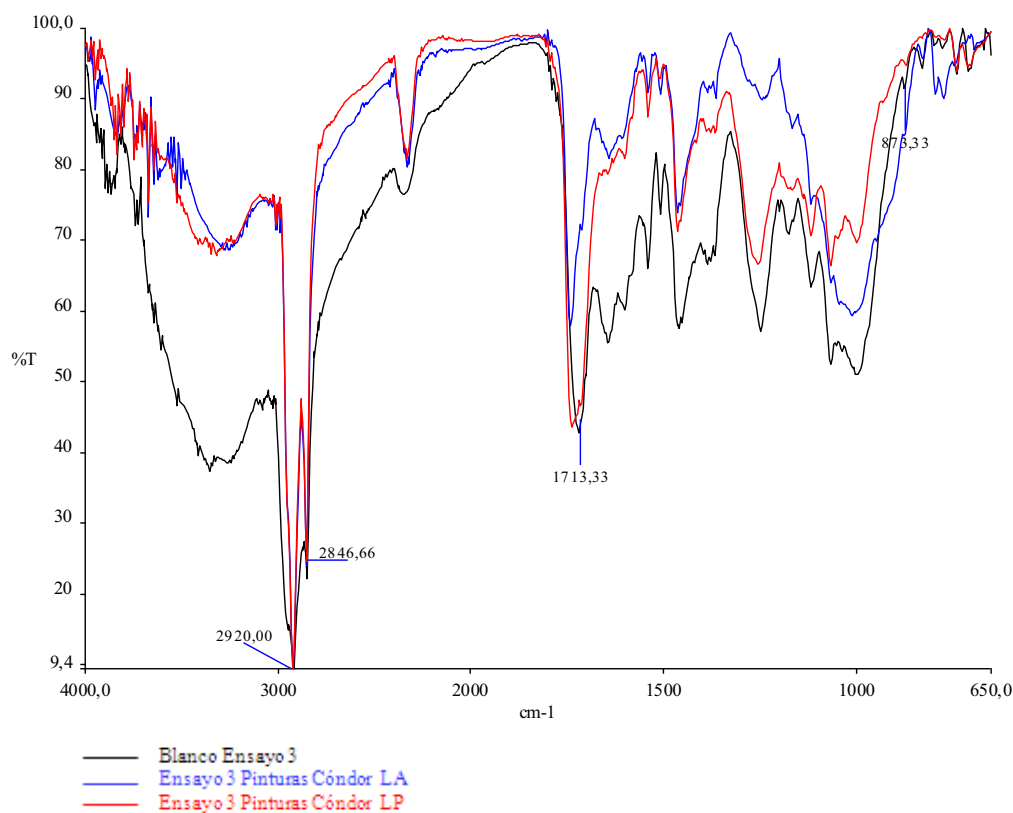
En la Figura 3.106 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo ZnO del espectro de la Figura 3.105.



**Figura 3.106.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Pinturas Córdor

### 3.8.3.1.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.107 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

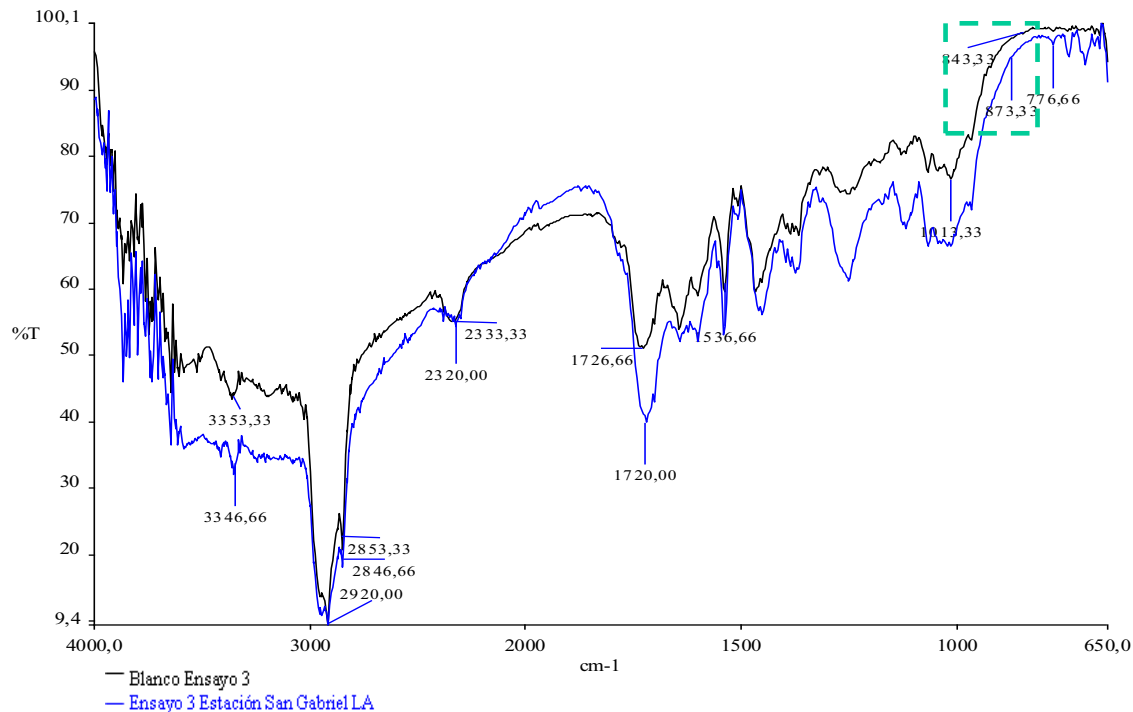


**Figura 3.107.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del ZnO (ensayo 3), Estación Pinturas Cóndor

### 3.8.3.2. Estación San Gabriel

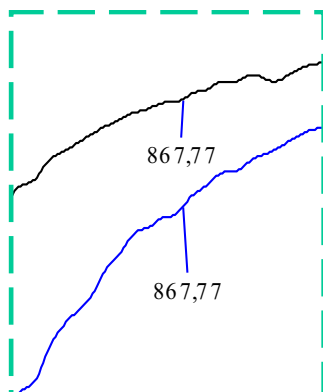
En la Figura 3.108 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo ZnO, expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligero incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2846,66$  a  $2920\text{ cm}^{-1}$ , esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster ( $1720\text{ cm}^{-1}$ ), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegara a una altura máxima y posteriormente, se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.108.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación San Gabriel

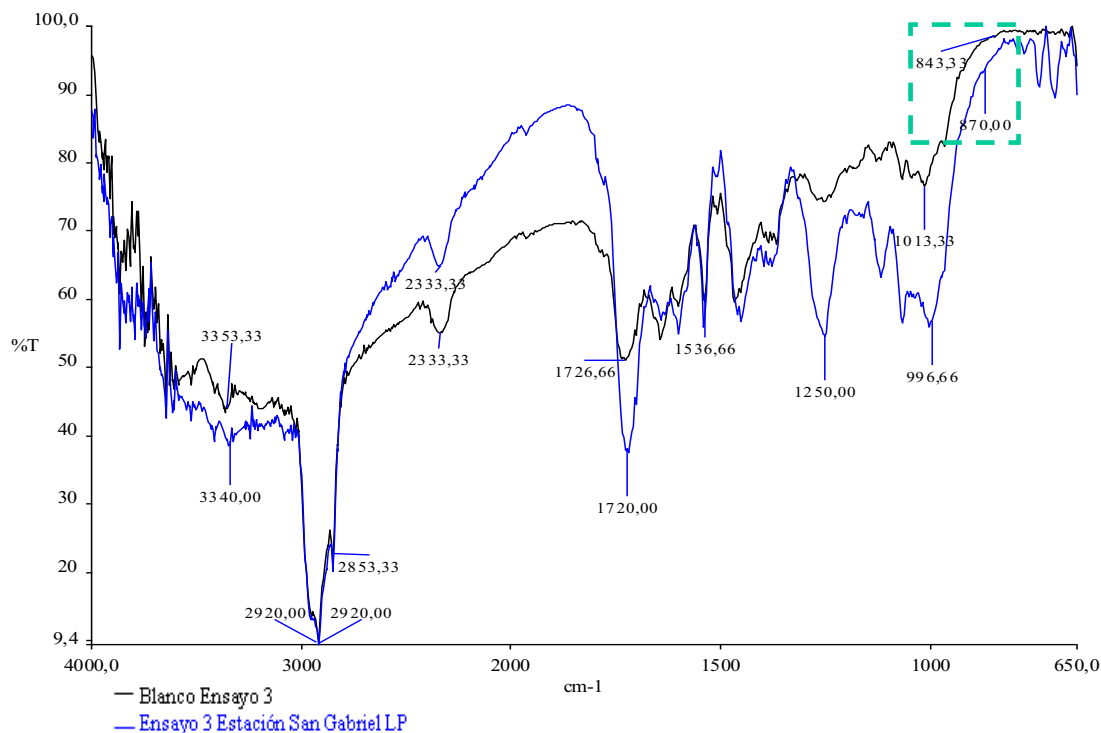
En la Figura 3.109 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo ZnO del espectro de la Figura 3.108.



**Figura 3.109.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación San Gabriel

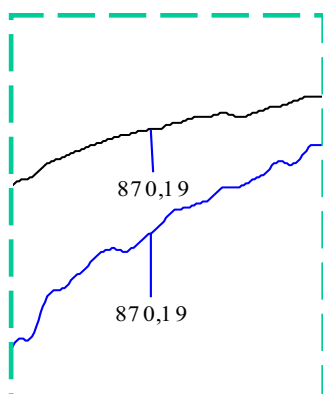
En la Figura 3.110 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo ZnO, expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligera incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ . Esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster ( $1720 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Aparición de una pequeña banda del grupo de los carbonatos, probablemente como resultado de material particulado (carbonato, proveniente de las otras pinturas que se ha transportado por la acción del viento) presente en la atmósfera, a la altura de  $870,19 \text{ cm}^{-1}$ .



**Figura 3.110.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación San Gabriel

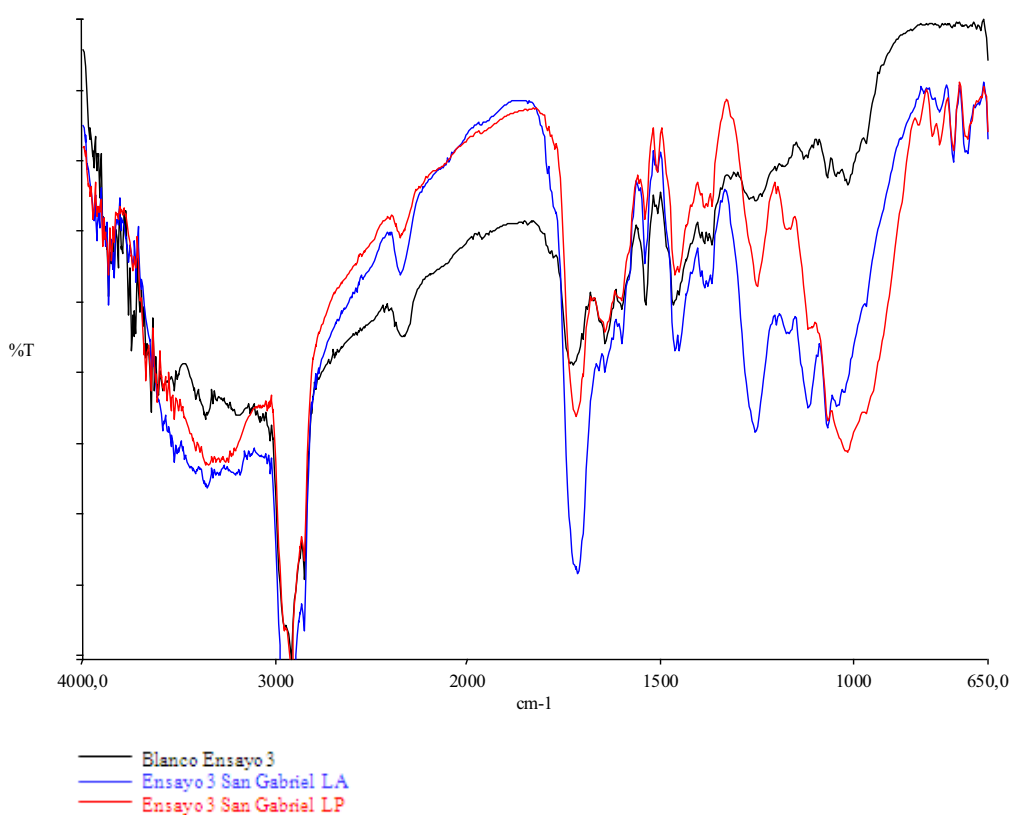
En la Figura 3.111 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo ZnO del espectro de la Figura 3.110.



**Figura 3.111.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación San Gabriel

### 3.8.3.2.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.112 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

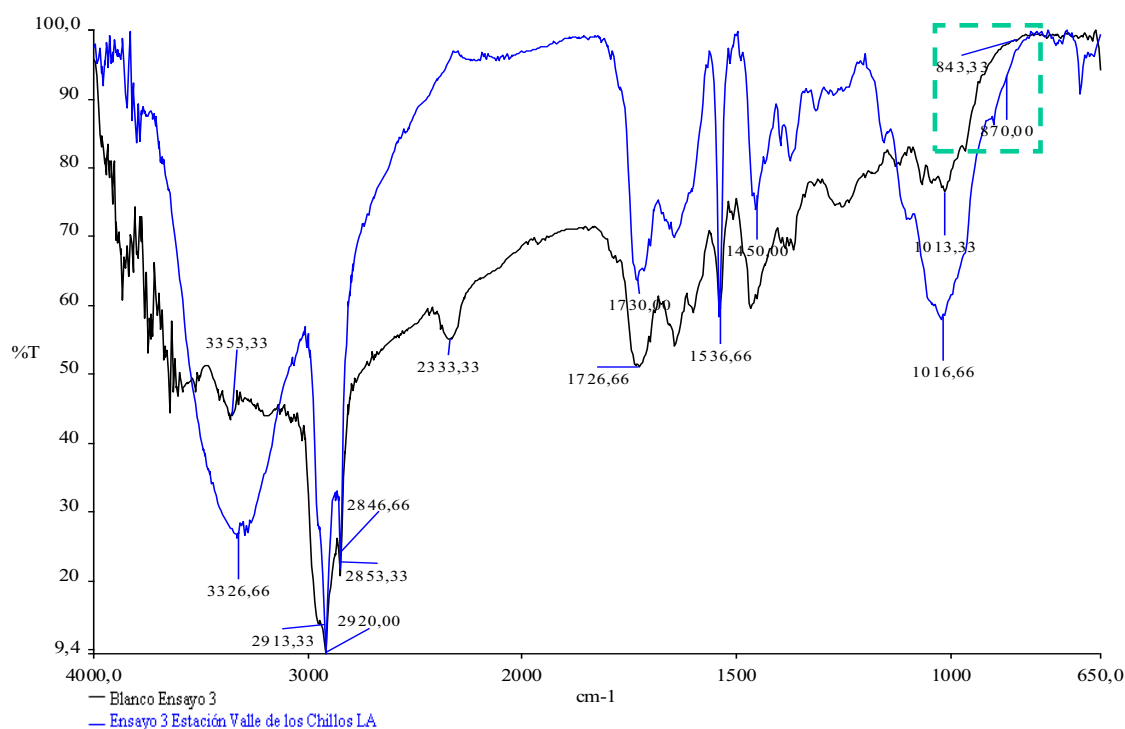


**Figura 3.112.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del ZnO (ensayo 3), Estación San Gabriel

### 3.8.3.3. Estación Valle de los Chillos

En la Figura 3.113 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo ZnO, expuesto en la estación Valle de los Chillos. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

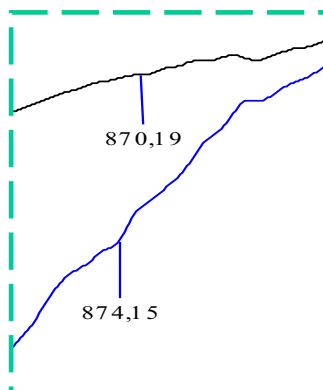
- Incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2846,66$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ , por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster ( $1730 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por el comienzo de la degradación de la resina, este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.
- Aparición de una pequeña banda del grupo de los carbonatos, probablemente como resultado de material particulado (carbonato, proveniente de las otras pinturas que se ha transportado por la acción del viento) presente en la atmósfera, a la altura de  $874,15 \text{ cm}^{-1}$ .



**Figura 3.113.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos



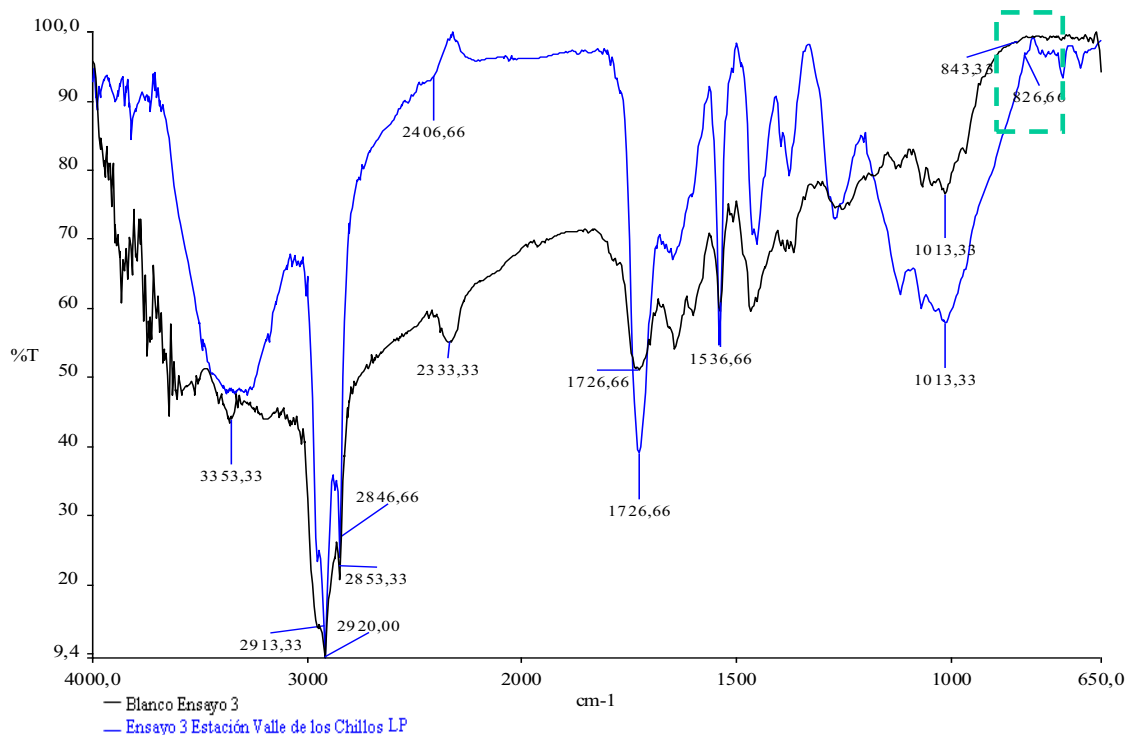
En la Figura 3.114 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo ZnO del espectro de la Figura 3.113.



**Figura 3.114.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos

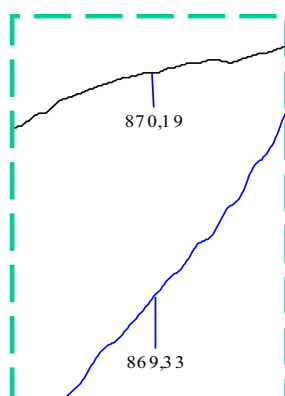
En la Figura 3.115 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo ZnO, expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2846,66$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ . Esta variación se produce por la ruptura de la cadena polimérica causada por la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster ( $1726,66 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.115.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

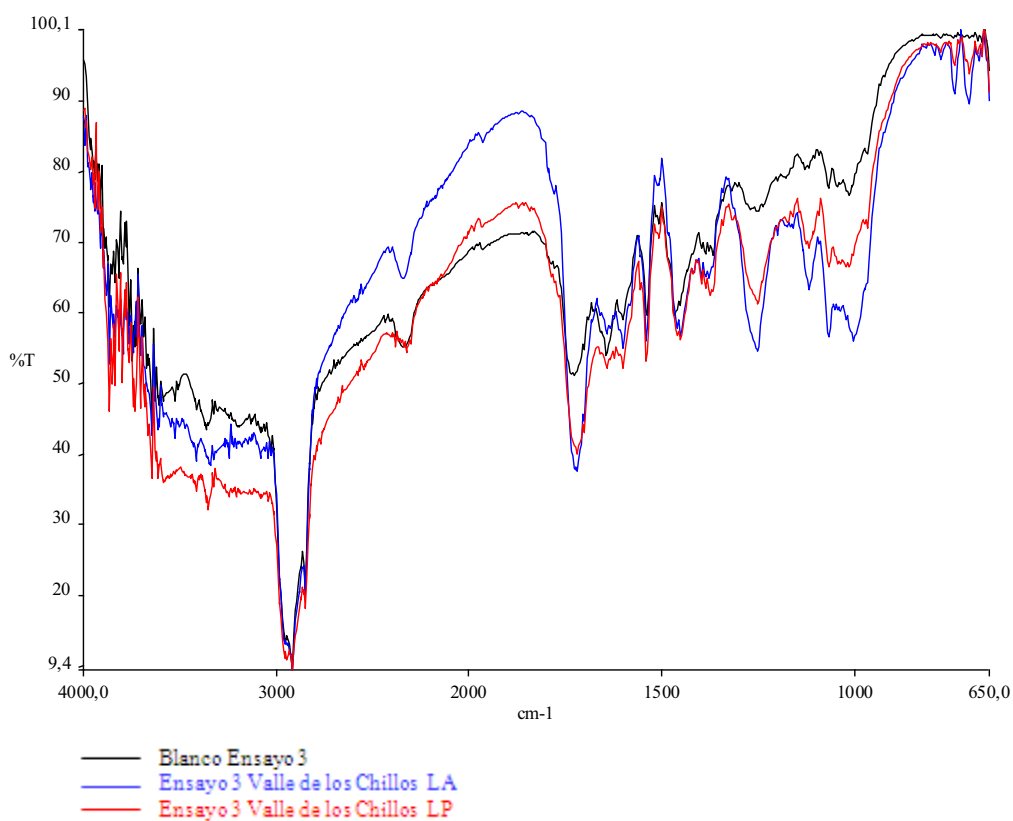
En la Figura 3.114 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo ZnO del espectro de la Figura 3.113.



**Figura 3.116.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

### 3.8.3.3.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.112 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

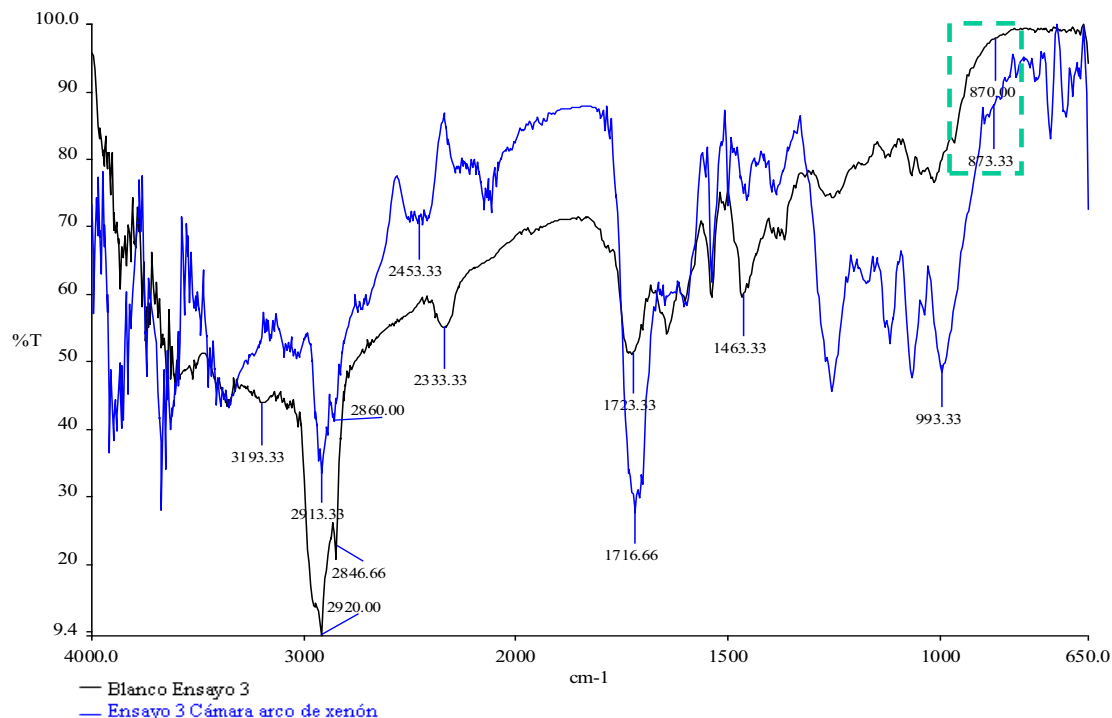


**Figura 3.117.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos del ZnO (ensayo 3), Estación Valle de los Chillos

### 3.8.3.4. Cámara de Arco de Xenón

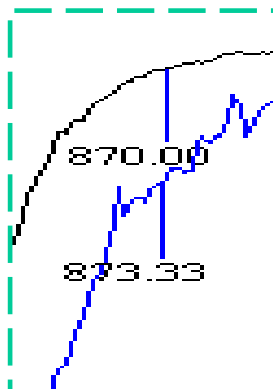
En la Figura 3.118 se presenta el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón de este sistema de pintura. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Decremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2860$  a  $2913,33 \text{ cm}^{-1}$ , por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Aumento la banda de carbonilo éster ( $1716,66 \text{ cm}^{-1}$ ), a causa de que la resina empieza su degradación. Esta banda crecerá hasta alcanzar un pico de altura máxima y posteriormente el pico disminuirá debido a que se produce la ruptura los dobles enlaces carbono-oxígeno.



**Figura 3.118.** Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), Expuesto en la Cámara de Arco de Xenón

En la Figura 3.119 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo ZnO del espectro de la Figura 3.118.



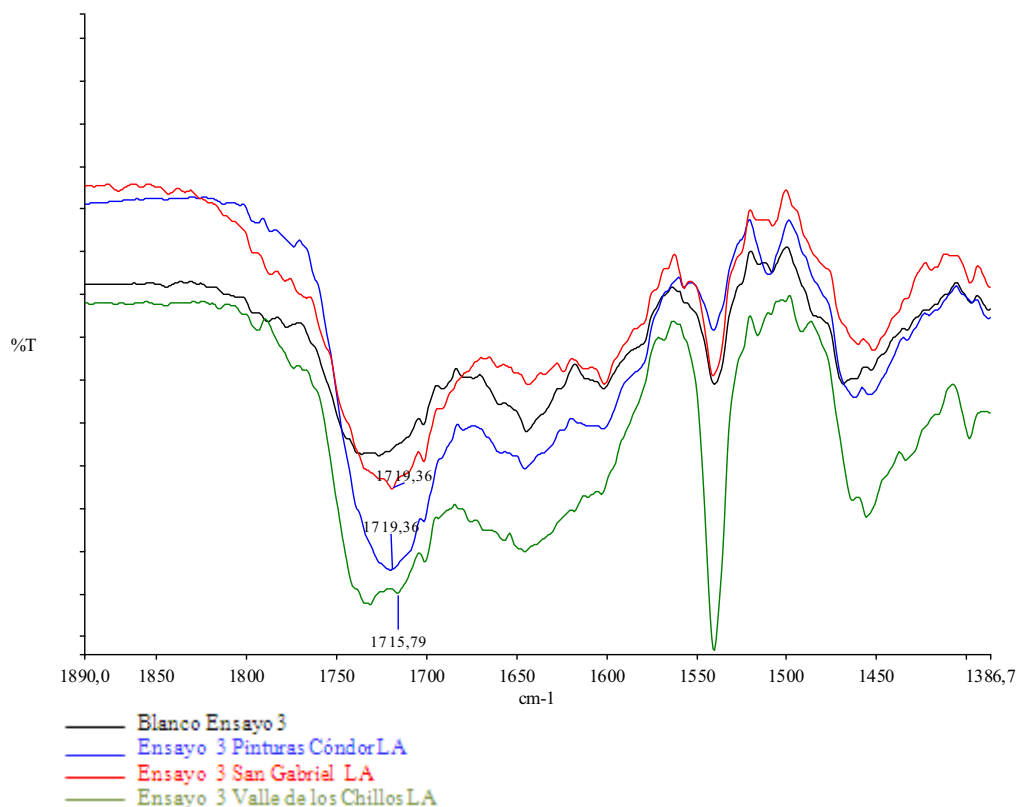
**Figura 3.119.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo del ZnO (ensayo 3), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón

#### 3.8.3.4.1. Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones

Para comparar la degradación que han sufrido los recubrimientos en las diferentes estaciones, se analizó el grupo carbonilo debido, a que este es el grupo que mayor cambio ha presentado en todos los ensayos.

Los espectros de cada uno de los sistemas de pintura, presentan una tendencia de degradación similar en las tres estaciones, por lo que es posible establecer una comparación de los mismos. Comparando la intensidad de banda del grupo carbonilo de los espectros de las Figura 3.120 se observa, que el espectro que mayor degradación presenta es el de la pintura ubicada en la localidad Valle de los Chillos.

Por lo tanto, se comprueba lo mencionado en el subcapítulo 3.2.2, la atmósfera que más daños provoca a los revestimientos es la estación Valle de los Chillos.

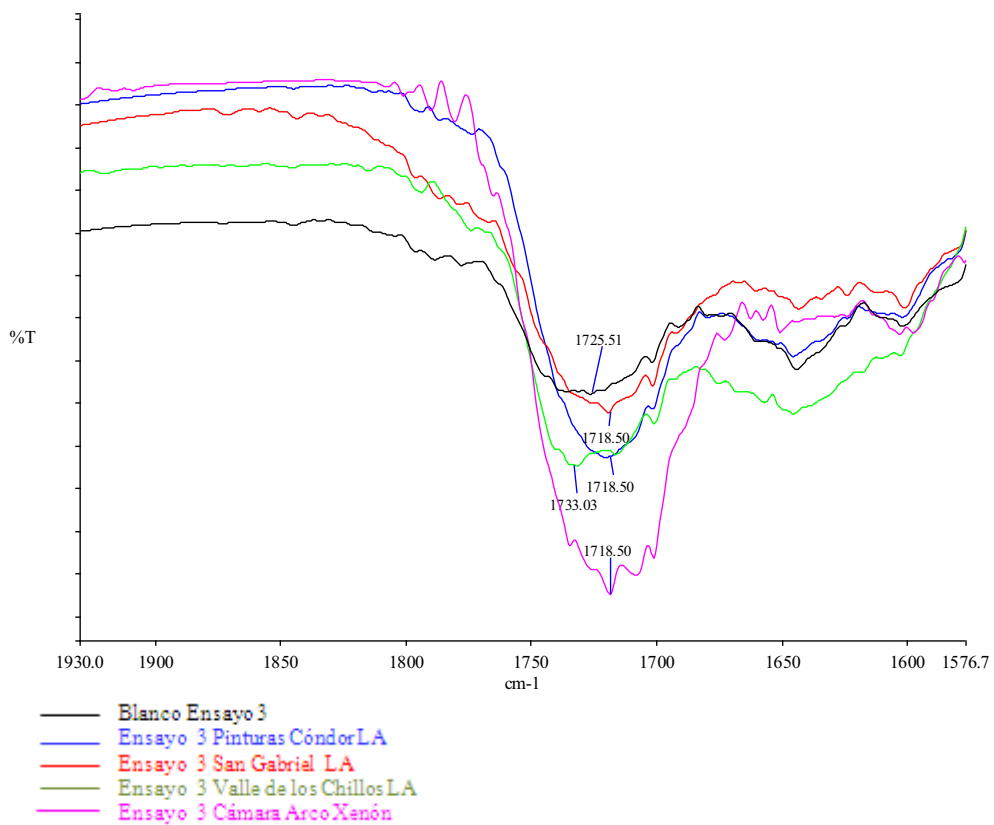


**Figura 3.120.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo ZnO de las tres estaciones

#### 3.8.3.4.2. Comparación de la degradación del ZnO expuesto en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón

En el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón, Figura 3.121, se indica que la tendencia de degradación es la misma que la de los ensayos de campo. Se observa que la influencia de la radiación ultravioleta es considerable. La placa expuesta al ensayo acelerado presenta una degradación superior a las estaciones San Gabriel y Pinturas Cóndor.

Como se mencionó anteriormente, la intensidad de la banda del grupo carbonilo crecerá hasta alcanzar su valor máximo y luego disminuirá por el rompimiento de la cadena polimérica, esto sucedió con la pintura expuesta en la estación Valle de los Chillos.



**Figura 3.121.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo ZnO expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón

### 3.8.4. ENSAYO 4 (RESINA)

En la Figura 3.122 se presenta el espectro del blanco del ensayo resina, los grupos a analizarse se encuentran en la siguiente longitud de onda:

- Grupo  $\text{CH}_2$ :  $2853,33 \text{ cm}^{-1}$
- Grupo  $\text{CH}_3$ :  $2913,33 \text{ cm}^{-1}$
- Grupo Carbonilo éster:  $1716,66 \text{ cm}^{-1}$
- Grupo carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ): no existe

Como se observa, los espectros de este ensayo tienen menor interferencia que el de los ensayos anteriores. Por lo que se mencionó en el Capítulo II, la resina se desprendió fácilmente del sustrato metálico, por lo que existió un mayor contacto entre el revestimiento y el cristal del espectrofotómetro.

Los grupos carbonatos también presentan una banda a  $710 \text{ cm}^{-1}$  pero, en este caso, esta banda no se va a analizar debido a que esta zona está compartida con los aromáticos y podría existir la presencia de estos y no del grupo carbonato.

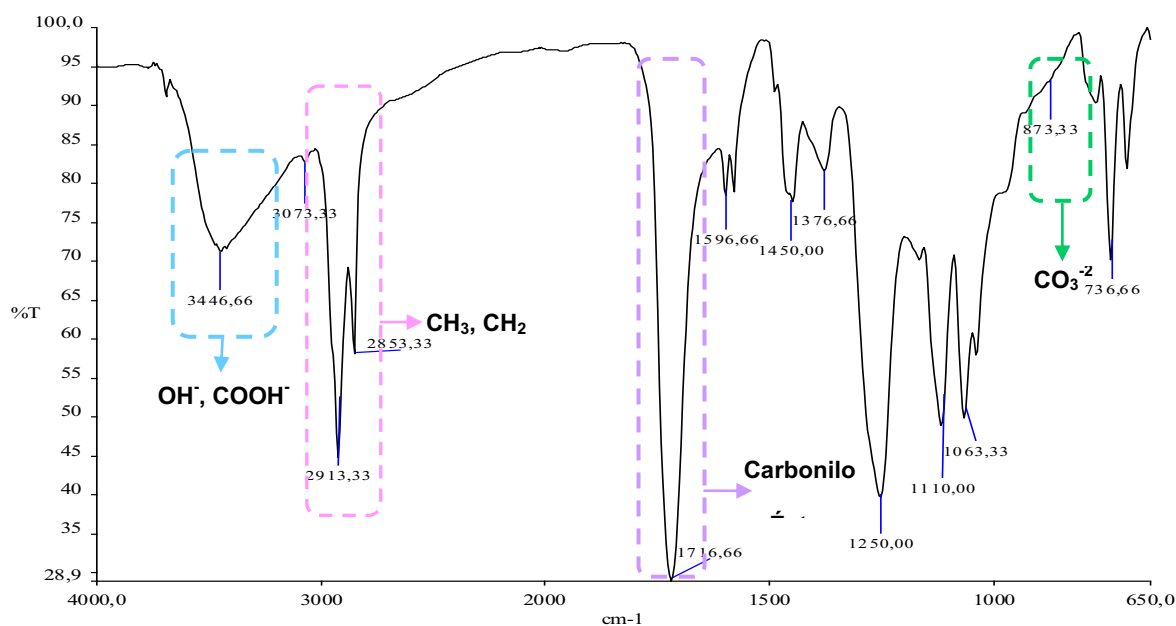


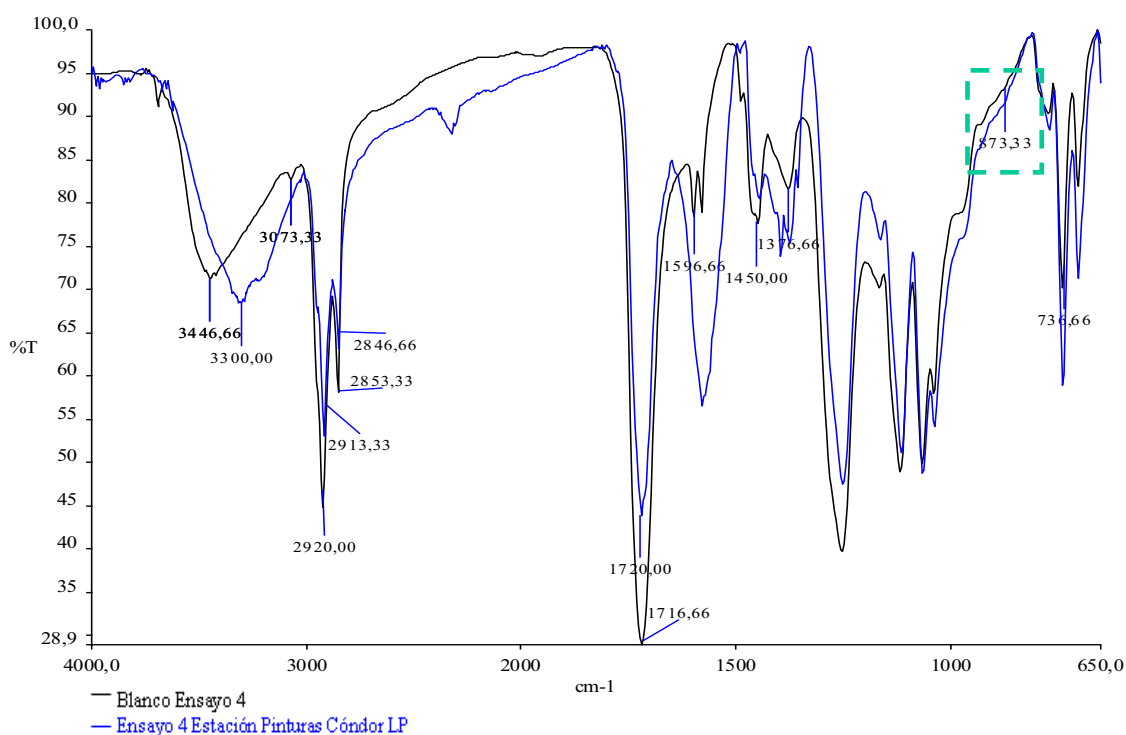
Figura 3.122. Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), sin exposición



### 3.8.4.1. Estación Pinturas Córdor

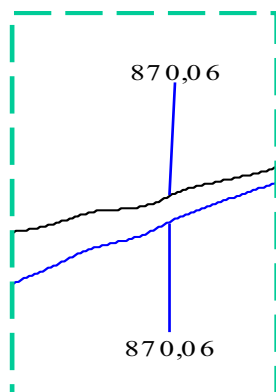
En la Figura 3.105 se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo resina, expuesto en la estación Pinturas Córdor. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ , debido a la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Decremento de la banda de carbonilo éster ( $1716,66 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.123.** Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), Lado anterior, Estación Pinturas Córdor

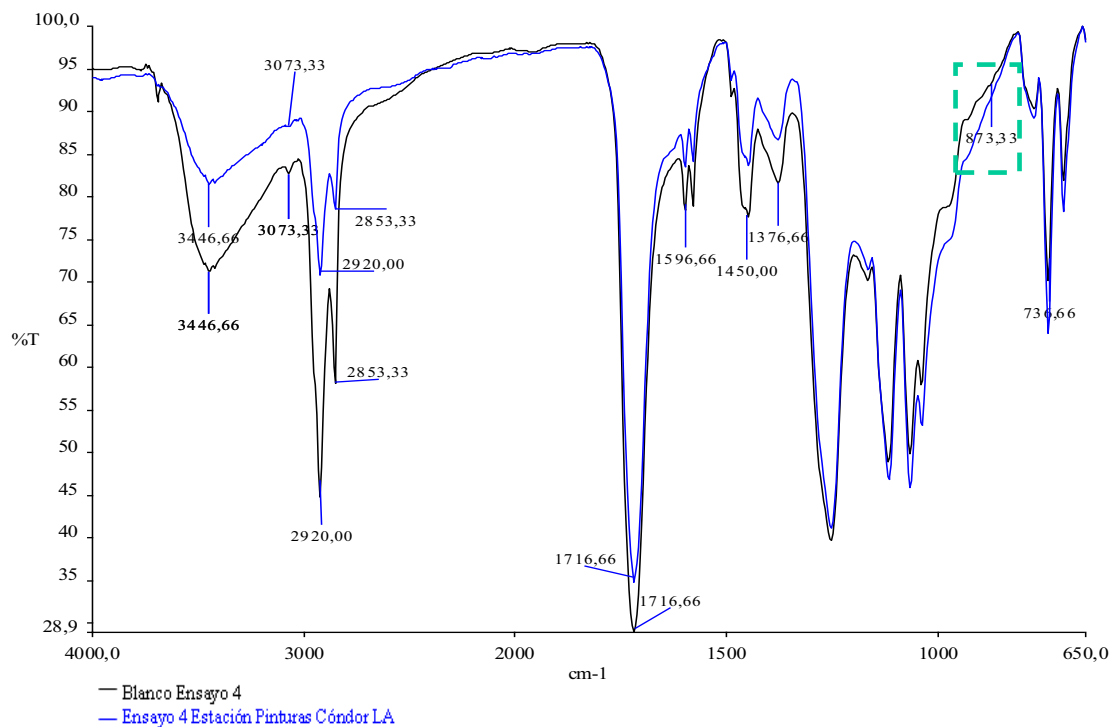
En la Figura 3.124 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo Resina del espectro de la Figura 3.123.



**Figura 3.124.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado anterior, Estación Pinturas Cónдор

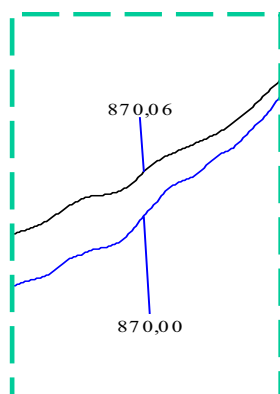
En la Figura 3.125 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo resina, de la estación Pinturas Cónдор. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Disminución de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , causada por la ruptura de la cadena polimérica.
- Decremento de la banda de carbonilo éster ( $1716,66 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.125.** Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor

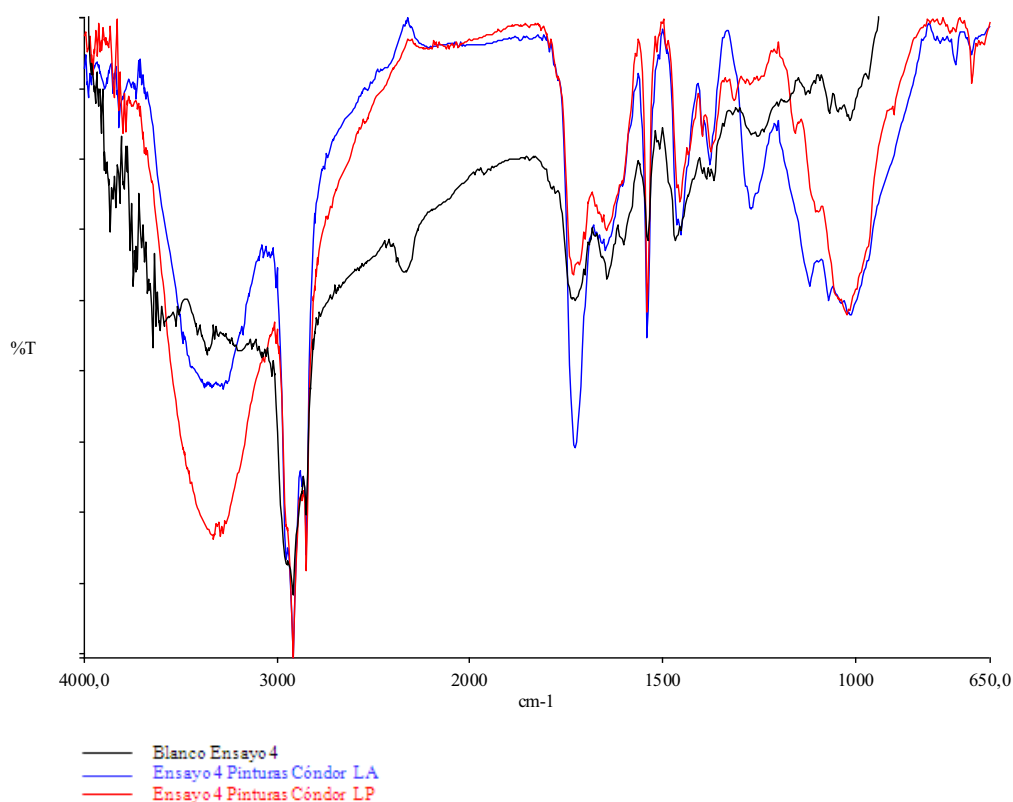
En la Figura 3.126 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo Resina del espectro de la Figura 3.125.



**Figura 3.126.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Pinturas Cóndor

### 3.8.4.1.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.127 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

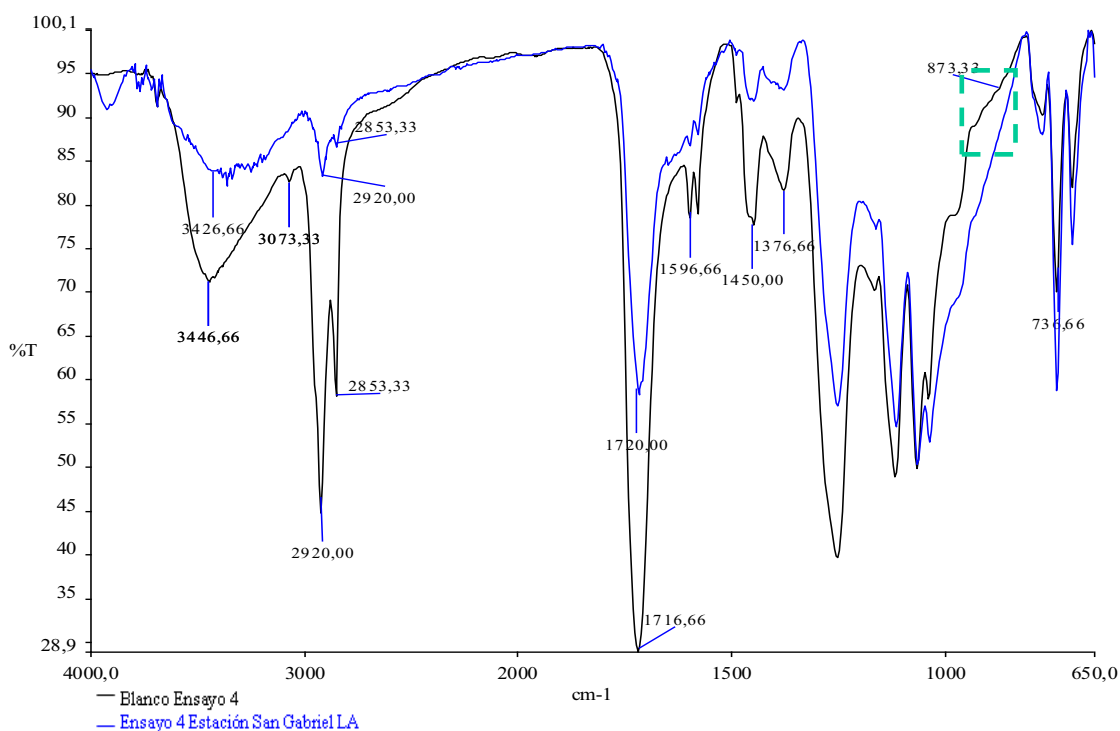


**Figura 3.127.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos de la Resina (ensayo 4), Estación Pinturas Cóndor

### 3.8.4.2. Estación San Gabriel

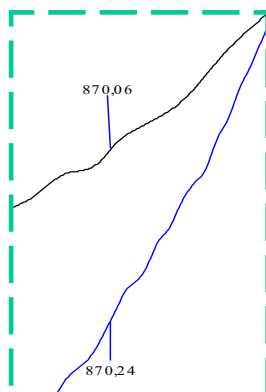
En la Figura 3.128, se observa el espectro del *lado anterior* del ensayo Resina, de la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ , debido a la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Decremento de la banda de carbonilo éster ( $1720 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.128.** Espectro Infrarrojo del ensayo 4 (Resina), Lado anterior, Estación San Gabriel

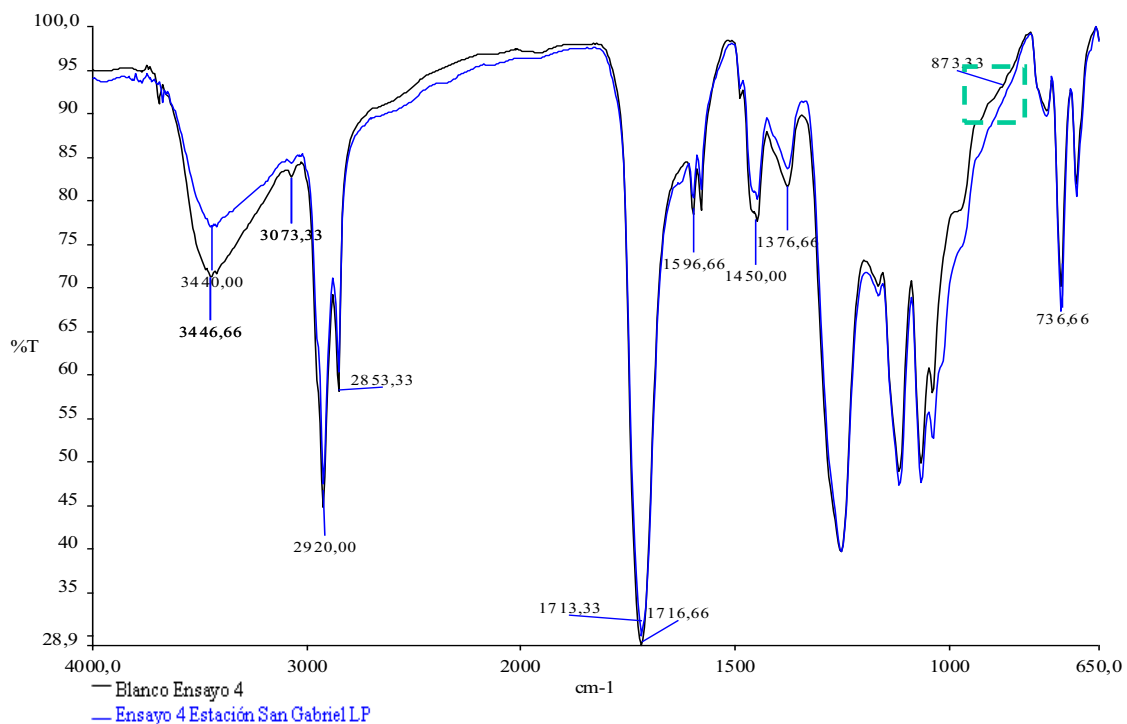
En la Figura 3.129 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo Resina del espectro de la Figura 3.128.



**Figura 3.129.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado anterior, Estación San Gabriel

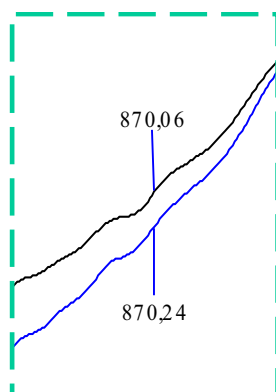
En la Figura 3.130, se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo resina, expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligera ampliación de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ , por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Ligera disminución de la banda de carbonilo éster ( $1713,33 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.130.** Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación San Gabriel

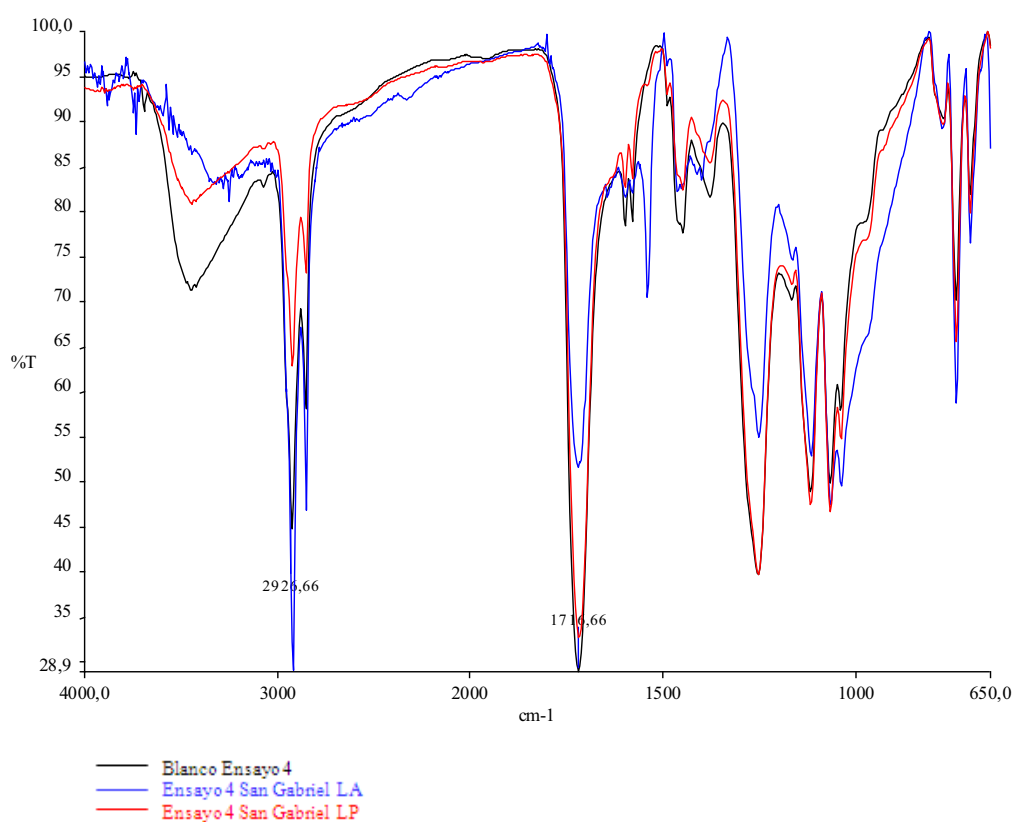
En la Figura 3.131 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo Resina del espectro de la Figura 3.130.



**Figura 3.131.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación San Gabriel

### 3.8.4.2.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.132 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.



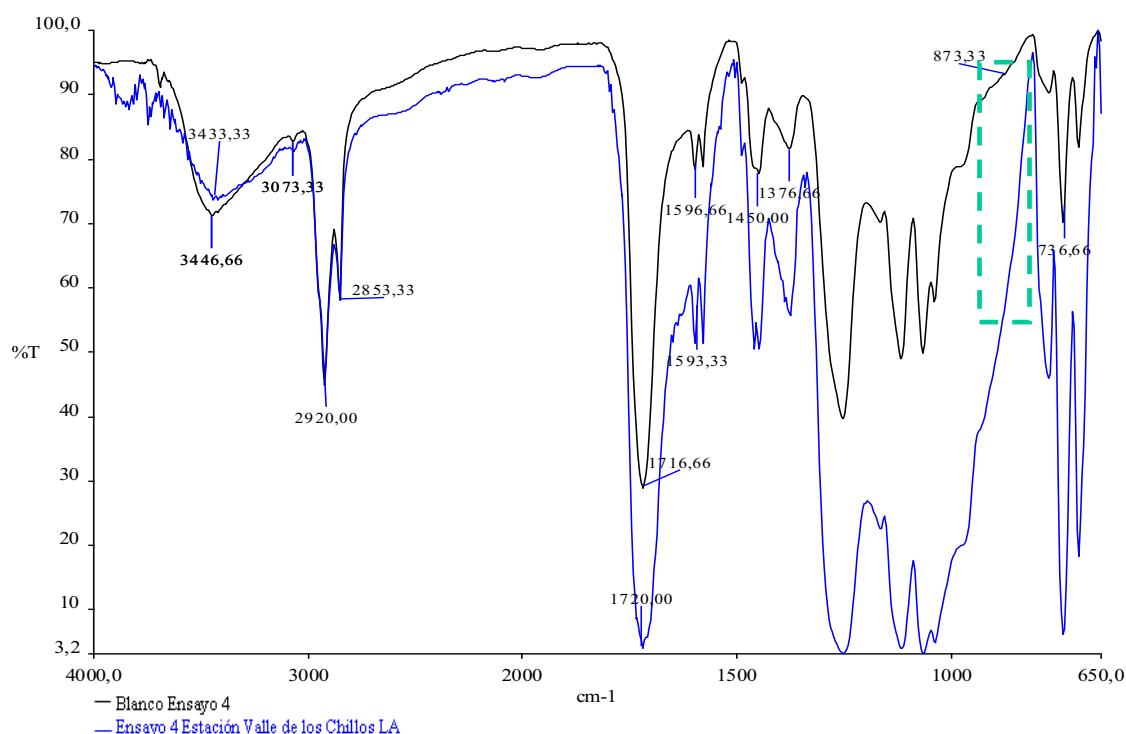
**Figura 3.132.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos de la Resina (ensayo 4), Estación Pinturas Cóndor



### 3.8.4.3. Estación Valle de los Chillos

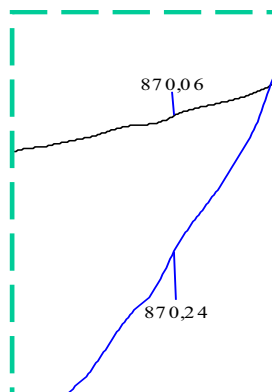
En la Figura 3.133, se observa el espectro del lado anterior del ensayo resina, expuesto en la estación Valle de los Chillos. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Ligero incremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920\text{ cm}^{-1}$ , debido a la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster ( $1720\text{ cm}^{-1}$ ), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.133.** Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos

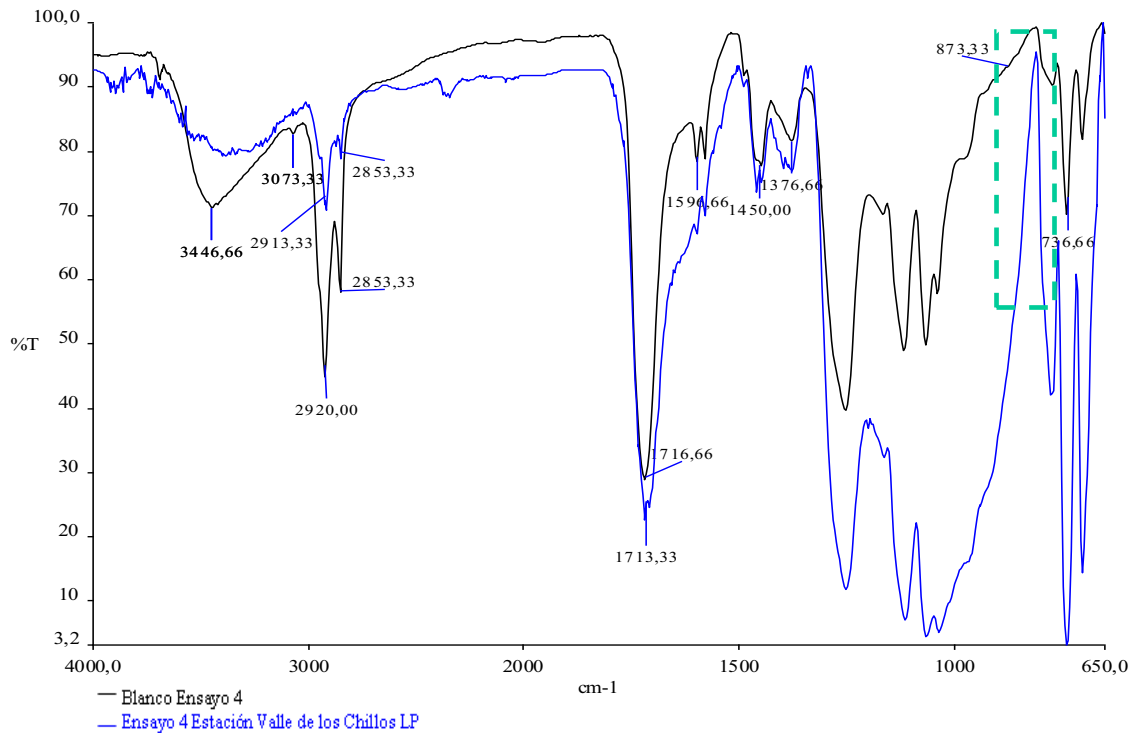
En la Figura 3.134 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo Resina del espectro de la Figura 3.133.



**Figura 3.134.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado anterior, Estación Valle de los Chillos

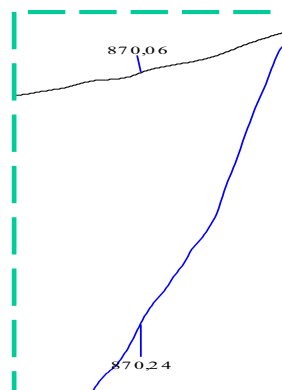
En la Figura 3.135 se observa el espectro del *lado posterior* del ensayo resina, expuesto en la estación San Gabriel. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Disminución de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920 \text{ cm}^{-1}$ , debido a la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Incremento de la banda de carbonilo éster ( $1716,66 \text{ cm}^{-1}$ ), causada por el comienzo de la degradación de la resina. Este pico llegará a un máximo hasta que se producirá la ruptura del doble enlace carbono-oxígeno.



**Figura 3.135.** Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

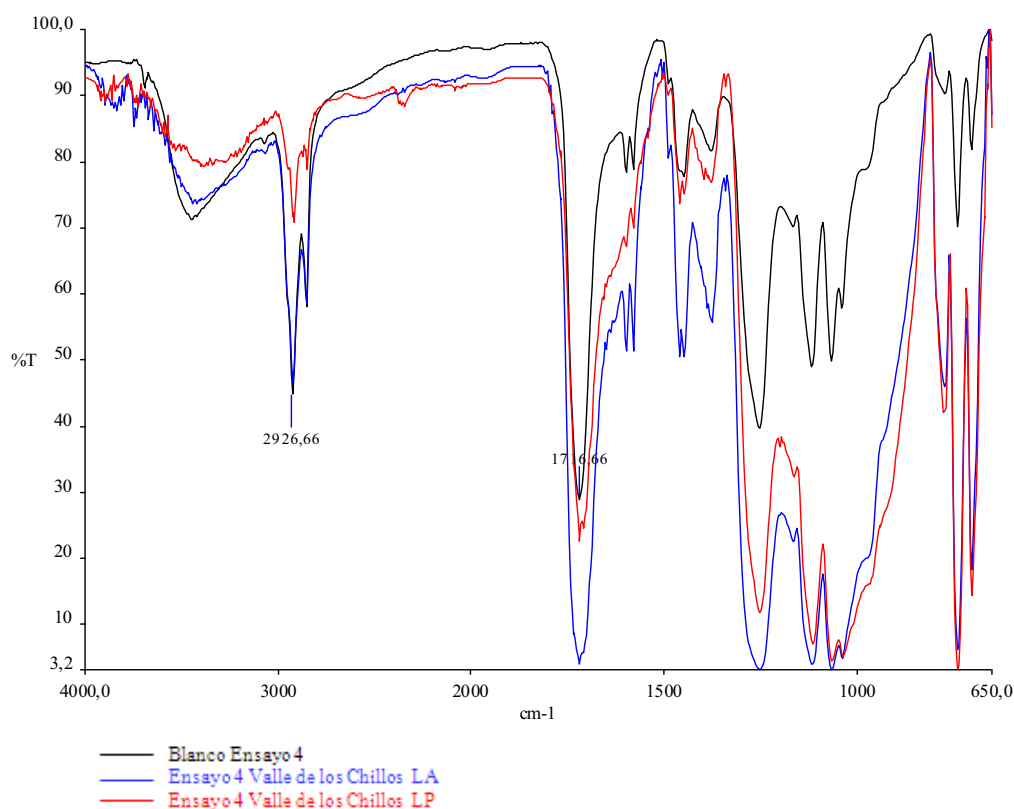
En la Figura 3.136 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo Resina del espectro de la Figura 3.135.



**Figura 3.136.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

### 3.8.4.3.1. Comparación del espectro del lado anterior con el del lado posterior

En el grupo carbonilo de la Figura 3.137 se observa, que el lado expuesto presenta mayor degradación que el lado no expuesto. La diferencia se produce por la acción de la radiación ultravioleta en el lado anterior, los cambios pequeños en el lado expuesto son lógicos debido a que la radiación ultravioleta no incide directamente sobre este lado de la placa.

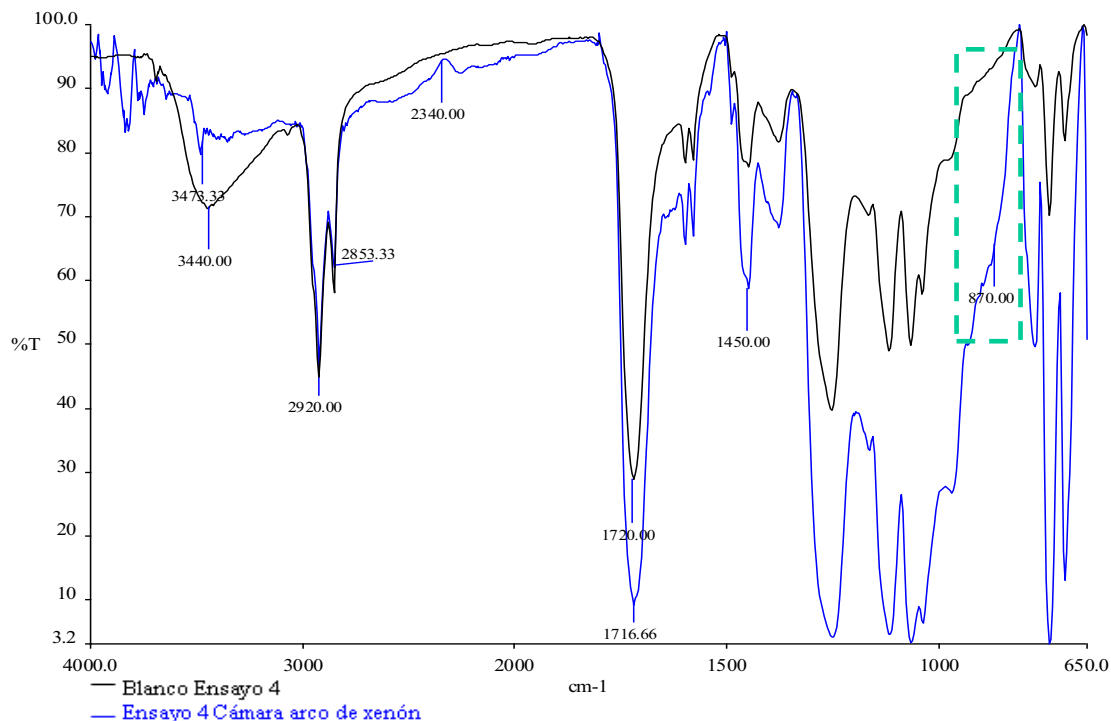


**Figura 3.137.** Comparación del lado anterior con el posterior de los espectros Infrarrojos de la Resina (ensayo 4), Estación Valle de los Chillos

### 3.8.4.4. Cámara de Arco de Xenón

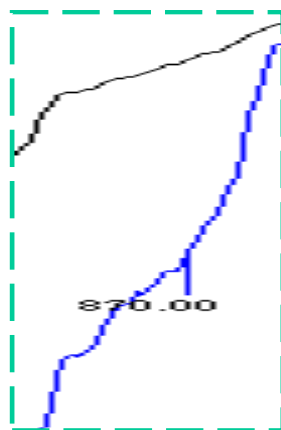
En la Figura 3.111 se presenta el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón de éste ensayo. La variación de la intensidad de las bandas analizadas de la pintura degradada respecto al blanco, son:

- Decremento de la intensidad de la banda correspondiente a los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ , ubicada en la región de los  $2853,33$  a  $2920\text{ cm}^{-1}$ , por la ruptura de la cadena polimérica a causa de la acción atmosférica.
- Aumento la banda de carbonilo éster ( $1716,66\text{ cm}^{-1}$ ), a causa de que la resina empieza su degradación. Esta banda crecerá hasta alcanzar un pico de altura máxima y posteriormente el pico disminuirá porque se romperán los dobles enlaces carbono-oxígeno.



**Figura 3.138.** Espectro Infrarrojo del Resina (ensayo 4), expuesto a la Cámara de Arco de Xenón

En la Figura 3.134 se presenta la ampliación del grupo carbonato del ensayo Resina del espectro de la Figura 3.133.



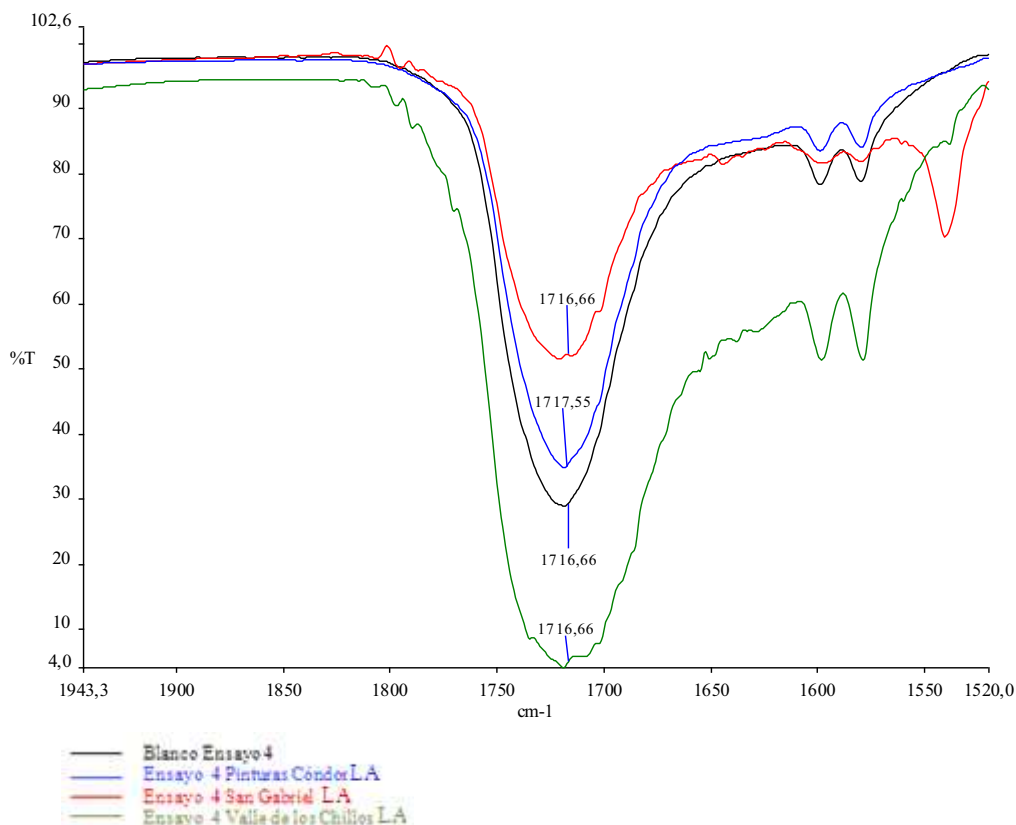
**Figura 3.139.** \*\*Ampliación del grupo carbonato del Espectro Infrarrojo de Resina (ensayo 4), Lado posterior, Estación Valle de los Chillos

#### 3.8.4.4.1. Comparación de la degradación de las pinturas entre estaciones

Para comparar la degradación que han sufrido los recubrimientos en las diferentes estaciones, igual que en los tres ensayos anteriores, se analizó el grupo carbonilo debido, a que este es el grupo que mayor cambio ha presentado en todos los ensayos.

Los espectros de cada uno de los sistemas de pintura, presentan una tendencia de degradación similar en las tres estaciones, por lo que es posible establecer una comparación de los mismos. Comparando la intensidad de banda del grupo carbonilo de los espectros de las Figura 3.140 se observa, que el espectro que mayor degradación presenta es el de la pintura ubicada en la localidad Valle de los Chillos.

Por lo tanto, se comprueba lo mencionado en el subcapítulo 3.2.2, la atmósfera que más daños provoca a los revestimientos es la estación Valle de los Chillos.

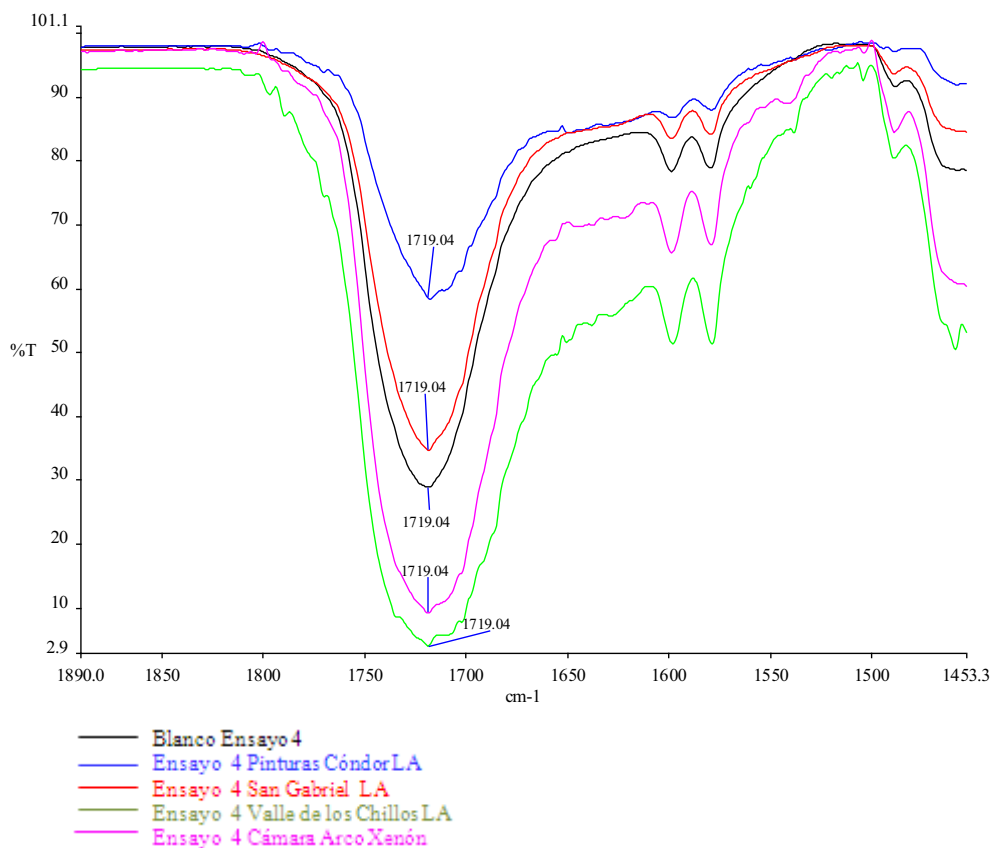


**Figura 3.140.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo Resina de las tres estaciones

#### 3.8.4.4.2. Comparación de la degradación de la Resina expuesta en campo con el expuesto en la cámara de arco de xenón

En el espectro de la probeta expuesta en la cámara de arco de xenón, se observa que la tendencia de degradación es la misma que la de los ensayos de campo.

Especialmente, éste espectro, se parece al espectro de la pintura expuesta en la estación Valle de los Chillies, pero, la degradación de la resina sometida al ensayo acelerado es menor, debido a que las pinturas se expusieron únicamente durante 300 horas en la cámara de arco de xenón. Esto se indica en la Figura 3.117.



**Figura 3.141.** Comparación de los espectros del lado anterior del ensayo resina expuesto en las tres estaciones con el espectro del ensayo realizado en la cámara de arco de xenón

En el lado expuesto y no expuesto de todos los sistemas de pintura existe la presencia de bandas en la región de los 3000 a 3500  $\text{cm}^{-1}$ , por la presencia de grupos  $\text{OH}^-$  y  $\text{COOH}^-$  que se producen por la oxidación de la cadena polimérica, y un incremento de la intensidad de la banda ubicada a los 2340  $\text{cm}^{-1}$ , que caracteriza la descompensación atmosférica.



### **3.8.5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON OTROS ESTUDIOS REALIZADOS ANTERIORMENTE**

Al comparar los espectros de todos los ensayos, y los cambios de los mismos después de la exposición, se consiguen resultados muy similares a los obtenidos por Ribadeneira y Hodson-Lander en el estudio que ellos realizan. Esto se presenta en la Figura 1.9 y 1.10. El incremento o la disminución de las bandas en los dos trabajos tienen la misma tendencia, se diferencian únicamente en la cantidad que ha incrementado o disminuido la intensidad de la banda, pero, esto es a causa de las diferencias en la formulación de los revestimientos y la atmósfera de exposición.

Con los resultados obtenidos en este estudio, y los realizados por Ribadeneira y Hodson-Lander, se establece que la degradación de una resina alquídica se basa principalmente en la pérdida de material alifático (grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$ ), rompimiento de dobles enlaces carbono-oxígeno o aparición de nuevos grupos carbonilo (grupo carbonilo éster) y, en el caso de que la resina contenga en su formulación carbonatos, incremento o disminución de la intensidad de la banda característica de este grupo por migración del pigmento hacia la superficie.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- La degradación de los siete sistemas de pintura expuestos en las tres estaciones de ensayo y a los ensayos acelerados, se produjo principalmente por corrosión y pérdida de color.
- La estación Valle de Chillos presenta factores meteorológicos más agresivos, como mayor porcentaje de humedad, mayor temperatura y radiación solar, así como el valor más alto de SO<sub>2</sub>, lo que le convierte en la estación que mayor perjuicio produce a los revestimientos ensayados, seguida de la estación Pinturas Cóndor por su atmósfera industrial y, finalmente, la estación que menor agresividad presenta es la estación San Gabriel.
- El parámetro atmosférico más influyente sobre la degradación de los sistemas de pintura es la radiación ultravioleta, ya que se presenta mayores niveles de corrosión y pérdida de color o amarillamiento en el lado expuesto que en el no expuesto.
- El ensayo con TiO<sub>2</sub> nano es el que mejor protección le provee al sustrato metálico durante los seis meses de exposición, por la presencia de nanopartículas de dióxido de titanio que al encontrarse más juntas, unas de otras evitan el paso de los agentes corrosivos.
- A pesar de lo mencionado anteriormente, el recubrimiento que posee dióxido de titanio micronizado (ensayo 2), presenta niveles de corrosión ligeramente superiores al del dióxido de titanio nanoparticulado. Por lo que el uso de

nanomateriales en la formulación realizada para este estudio, no presenta mayores ventajas al uso de pigmentos de tamaño común.

- El sistema de pintura con óxido de zinc nanoparticulado provee buena protección al sustrato, a pesar de que el porcentaje de pigmento en la formulación es bajo en comparación con las otras pinturas.
- La resina, es el revestimiento que mayor porcentaje de corrosión presentó en su lado expuesto y no expuesto, como consecuencia de no poseer pigmentos anticorrosivos ni cargas en su formulación, pero gracias a esto, se pudo evitar la interferencia de los grupos funcionales de cargas y pigmentos en los espectros.
- El ensayo  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  es el revestimiento que presentó mayor porcentaje de corrosión con la evidente presencia de herrumbre sobre su superficie y pérdida de color más significativa, debido al exceso de cargas y pigmentos en su formulación.
- Los ensayos  $\text{Zn}_3\text{PO}_4$  y  $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + \text{Zn}_3\text{PO}_4$  presentaron buena protección al sustrato, debido a la presencia de pigmentos anticorrosivos en su formulación. Pero la protección es menor que la de los ensayos  $\text{TiO}_2$  nano,  $\text{TiO}_2$  micro y  $\text{ZnO}$ , probablemente porque los pigmentos utilizados en el  $\text{Zn}_3\text{PO}_4$  y en el  $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + \text{Zn}_3\text{PO}_4$ , no proporcionan la misma protección que el  $\text{TiO}_2$  nano, el  $\text{TiO}_2$  micro y el  $\text{ZnO}$  a la radiación ultravioleta.
- El ensayo acelerado Prohesion realizado en la cámara salina bajo la norma ASTM G85-02, durante 600 horas provocó mayor degradación en los sistemas analizados, pero siguiendo la misma tendencia y presentando las mismas fallas de los ensayos realizados en campo. Pero en el ensayo acelerado se obtuvieron resultados similares a los ensayos de campo, cuando las placas estuvieron sometidas a 200 horas, aproximadamente para todos los sistemas de pintura, al ensayo Prohesion.

- Mediante el ensayo Prohesion realizado a las placas con corte en "X" (corte), se pudo determinar que todos los sistemas de pintura presentan buena adherencia al sustrato ya que no existió delaminación de la pintura ni siquiera en las zonas cercanas al corte, excepto para los ensayos ZnO y Resina, que presentaron leve delaminación en sitios cercanos al corte.
- Con el ensayo en la cámara de arco de xenón siguiendo la norma ASTM D6695-03b, Ciclo 1, se comprobó que el fenómeno meteorológico que mayor daño causó a todos los revestimientos es la radiación ultravioleta, ya que se presentaron los mismos cambios de los ensayos expuestos en campo, como fue un cambio de color con amarillamiento de la pintura.
- Mediante la comparación de los espectros de los blancos con los espectros de los ensayos expuestos en campo se pudo determinar que la degradación de las pinturas se da por cambios en la resina alquídica, aumento o disminución de los grupos  $\text{CH}_2$  y  $\text{CH}_3$  y del carbonilo éster.
- Para los ensayos  $\text{TiO}_2$  nano y  $\text{TiO}_2$  micro la disminución de la intensidad del grupo carbonato en el lado posterior de la probeta es a causa de la migración del pigmento (carbonato), es menor que la disminución de la misma banda en el lado anterior que se produce porque el carbonato también, migro de la matriz polimérica. Por lo tanto el agua de la lluvia cumple una función de lavado en el lado expuesto de la placa.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- La aplicación de las pinturas debe ser realizada por personas con experiencia en esta labor, para obtener un espesor uniforme en la capa de revestimiento y ahorrar tiempo.
- Ubicar las estaciones de ensayo en lugares donde CORPAIRE tenga el centro de monitorización meteorológico y de contaminación ambiental, para de esta manera tener los datos de la zona y no datos aproximados.
- Exponer a la intemperie, un tiempo más prolongado los ensayos TiO<sub>2</sub> nano y TiO<sub>2</sub> micro, para poder determinar la vida útil de estos sistemas de pintura.
- Preparar nuevas formulaciones usando las nanopartículas ya empleadas, pero variando la concentración de las mismas dentro de la formulación, para de esta manera determinar cuál es la concentración óptima del pigmento. En estas nuevas formulaciones además, se debería investigar que sucede cuando en la pintura contiene una mezcla de pigmentos nanoparticulados y micronizados.
- Emplear nuevas nanopartículas en formulaciones idénticas para establecer una comparación entre ellas y de ésta manera determinar que pigmento es el que mejora la calidad de la pintura.
- Para los análisis en infrarrojos, utilizar como sustrato además de acero al carbono, otro material que permita un mayor contacto entre la pintura y el cristal de espectrofotómetro, para mejorar la calidad de los espectros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aldás, M., 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 Previo a la Obtención del título de Ingeniero Químico, Escuela Politécnica Nacional, 2007.
- Almeida, E., 2005, "Minimisation of steel atmospheric corrosion: Updated structure of intervention", *Progress in Organic Coatings*, 54, 81.
- Amirudin, et al, 1995, "Evaluation of anti-corrosive pigments by pigment extract studies, atmospheric exposure and electrochemical impedance spectroscopy", Elsevier, 25, 339.
- ASTM D 610, "Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted", American Society for Testing and Materials, 1995.
- ASTM D 660, "Standard Test Method for Evaluating Degree of Checking on Exterior Paints", American Society for Testing and Materials, 1993.
- ASTM D 661, "Standard Test Method for Evaluating Degree of Cracking on Exterior Paints", American Society for Testing and Materials, 1993.
- ASTM D 714, "Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints", American Society for Testing and Materials, 1987.
- ASTM G1, "Standar Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens", American Society for Testing and Materials, 1984.
- ASTM G7 - 05, "Standar Practice for Atmosferic Enviromental Exposure Testing of Nonmetallic Materials", American Society for Testing and Materials, 2005.
- Buxbaum, G., y Pfaff, G., 2005, "Industrial Inorganic Pigments", Tercera Edición, Wiley-VCH, Alemania, p. 214.

- Caprari, J, 2003, "Pinturas, Volumen 1", Compobell, Murcia, España, pp. 58,67-69,108-110, 118-120.
- Cazco, P. y Recalde, P., 2002, "Determinación de la Corrosividad Atmosférica en la Ciudad de Quito", Proyecto Previo a la Obtención del título de Ingeniero Químico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Champion, F, 1964, "Corrosion Test", Chapman and Hall, Inglaterra, Londres, p. 437.
- Davis, A y Sims, D, 1986, "Weathering of Polymers", Elsevier Applied Science publishers, London Y New York, Estados Unidos.
- Deflorian, F., *et al*, 2007, "Comparison of organic coating accelerated test and natural weathering considering meteorological data", Progress in Organic Coatings, 59, 244.
- Dhoke, S., Khanna A.S., 2009, "Effect of nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles on the corrosion behaviour of alkyd based waterborne coatings", Corrosion Science, 51, 6.
- Forsgren, A., 2006, "Corrosion control through organic coatings", CRC Press Taylor & Francis Group, Estados Unidos, pp. 2-27.
- González, J., 1984, "Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión", Grafimad S.A., España, p. 81.
- Hare, C., 1994, "Protective Coatings. Fundamentals of chemistry and compositions", Technology Publishing Company, Pittsburgh, Estados Unidos, pp. 28-35.
- Hare, C., 2001, "Paint film degradation mechanisms and control", Copyright, Estados Unidos, p. 332.

- Hicks, L., y Crewdson, M., 1995, "Paint and Coating Testing Manual", 14<sup>va</sup> Edición, ASTM, Estados Unidos, pp. 1337-1362.
- Holmberg, K, 2006, "Coatings technology handbook", CRC Press Taylor & Francis Group, Estados Unidos, pp. 51-1 – 51-12.
- Jacques, L., 2000, "Accelerated and outdoor/natural exposure testing of coatings", Progress in polymer science, 25, 1337.
- Katangur, P., *et al*, Nanostructured ultraviolet resistant polymer coatings", Polymer Degradation and Stability, 91, 2437.
- Leygraf, C, 2000, "Atmospheric Corrosion", Volumen 1, Copyright, Canadá, pp. 96-97.
- Massey, L, 2000, "The effects of UV light and weather on plastics and elastomers", Segunda Edición, William Andrew Publishing, Norwich, Estados Unidos, pp 2,3.
- Morcillo M. *et al*, 1998, "Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica Parte I", Gráficas Salué S.A., Madrid, España, pp.428-439.
- Morcillo M. *et al*, 2002, "Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica Parte II", Gráficas Salué S.A., Madrid, España, pp. 64, 65.
- Norman, A., *et al*, 2004, "Degradation and stabilisation of polymers and coatings: nano versus pigmentary titania particles", Polymer Degradation and Stability, 85, 927.
- Palacios, M., 2006, "Características y ensayos de corrosión de pinturas modificadas con polímeros conductores", <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3162>, (Septiembre, 2006).
- Quiminet, 2006, "Hidrosulfito de zinc", <http://pr29.quiminet.com/hidrosulfito%2Bde%2Bzinc.htm?rq=1>, (2006).



- Radhakrishnan, S., *et al*, 2009, "Conducting Polyaniline-nano-TiO<sub>2</sub> composites for smart corrosion resistant coatings", *Electrochimica Acta*, 54, 1249.
- Ribadeneira, A., 2009, "Protección Anticorrosiva del Acero mediante el uso de Pinturas Alquílicas con Pigmento de Óxido de Hierro en Atmósferas Urbana y Subtropical", Proyecto Previo a la Obtención del título de Ingeniero Químico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Rabek, I, 1995, "Polymer photo degradation mechanisms and experimental methods", Primera Edición, Estados Unidos, pp. 569,570.
- Rossenbeck, B., *et al*, 2006, "Corrosion protection of Zn-Phosphate containing water borne dispersion coatings on steel Part 1: Dessing and analysis of model water based latex films on iron substrates", *Corrosion Science*, 48, 3703.
- Schweigger, E, 2005, "Manual de pinturas y recubrimientos plásticos", Editorial Díaz de Santos, España, pp. 39-41.
- Tracton, A., 2006, "Coatings technology handbook ", CRC Press Taylor & Francis Group, Estados Unidos, pp 102-1 – 102-9.
- Zhang, W., *Et al*, 2007, "Corrosion protection properties of lacquer coatings on steel modified by carbon black nanoparticles in NaCl solution", *Corrosion Science*, 49, 654.

## ANEXOS

## ANEXO I.

**RELACIÓN ENTRE LA ESCALA DEL ESTÁNDAR ASTM D 610-01  
Y EL PORCENTAJE DE CORROSIÓN**

<b>Escala</b>	<b>Porcentaje de Corrosión (%)</b>	<b>Promedio</b>
10	Menor o igual al 0,01%	0,01
9	Entre 0,01 y 0,03%	0,02
8	Entre 0,03 y 0,10%	0,065
7	Entre 0,10 y 0,30%	0,20
6	Entre 0,30 y 1,00%	0,65
5	Entre 1,00 y 3,00%	2,00
4	Entre 3,00 y 10,00%	6,50
3	Entre 10,00 y 16,00%	13,00
2	Entre 16,00 y 33,00%	24,50
1	Entre 33,00 y 50,00%	41,50
0	Mayor al 50%	50,00

Para conseguir un porcentaje que represente la corrosión alcanzada en cada ensayo, se realizó un promedio entre el mayor y el menor porcentaje según la escala ASTM D 610-01, de la siguiente manera:

- Si se tiene un grado de corrosión igual a 5, entonces el porcentaje es el promedio entre 1,00 y 3,00, es decir el porcentaje de corrosión será del 2%.

—————

La corrosión de algunos sistemas de pintura fue generalizada, mientras que para otros sistemas fue puntual. Los resultados obtenidos con éste estándar, para cada sistema de pintura se presentan para cada mes de exposición, por estación, en los Anexos I.1, I.2, I.3, I.4, I.5 y I.6.

**Anexo I.1.** Resultados de la evaluación de las pinturas según la escala del estándar ASTM D 610-01, Estación Pinturas Cóndor

Sistema de Pintura	No. de Placa	Meses de Exposición													
		Sin Exposición		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
Ensayo 1	1	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9	9	9	9
	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,67	9,67	9,33
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58
Ensayo 2	1	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9	10
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,67	10,00	9,33
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,00	0,58	0,58
Ensayo 3	1	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	7	8	6	7
	2	10	10	10	10	10	10	9	10	8	10	8	9	7	8
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	7	8
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	9,33	9,67	8,33	9,00	8,00	8,67	6,67	7,67
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	1,00	1,00	0,58	0,58	0,58	
Ensayo 4	1	8	9	7	8	5	6	4	5	3	4	2	3	1	3
	2	10	9	7	7	6	6	5	5	4	4	3	3	2	3
	3	9	10	7	7	5	6	5	4	4	3	3	3	2	2
	<b>Promedio</b>	9,00	9,33	7,00	7,33	5,33	6,00	4,67	4,67	3,67	3,67	2,67	3,00	1,67	2,67
<b>Desviación</b>	1,00	0,58	0,00	0,58	0,58	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,00	0,58	0,58	
Ensayo 5	1	10	10	8	9	7	7	6	6	5	5	4	5	4	4
	2	10	10	9	9	8	8	8	7	7	6	6	6	5	5
	3	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	8,67	9,00	7,67	7,67	7,00	6,67	6,00	5,67	5,00	5,33	4,33	4,33
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,58	1,00	0,58	1,00	0,58	1,00	0,58	0,58	0,58	
Ensayo 6	1	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	8
	2	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	8	7
	3	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	8	8	7	7
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	9,33	9,00	8,67	8,00	8,00	7,67	7,33	7,33
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,00	0,58	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	
Ensayo 7	1	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	9	8	8
	2	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8
	3	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	8
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,00	9,00	8,67	8,00	8,33	7,67	8,00
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,58	0,00	

Anexo I.2. Resultados del porcentaje de corrosión, Estación Pinturas Cóndor

Sistema de Pintura	No. de Placa	Meses de Exposición															
		Sin Exposición		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre			
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP		
Ensayo 1	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ensayo 2	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Ensayo 3	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,20	0,065	0,65	0,2		
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,01	0,065	0,02	0,20	0,065		
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,20	0,065		
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0,03	0,10	0,04	0,35	0,11		
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,09	0,03	0,26	0,08			
Ensayo 4	1	0,065	0,02	0,2	0,065	2,00	0,65	6,50	2,00	13,00	6,50	24,50	13,00	41,50	13,00		
	2	0,01	0,01	0,065	0,065	0,20	0,65	0,20	0,65	2,00	2,00	6,50	6,50	24,50	13,00		
	3	0,01	0,01	0,065	0,065	0,65	0,65	0,65	2,00	2,00	6,50	2,00	13,00	24,50	13,00		
	<b>Promedio</b>	0,03	0,01	0,11	0,07	0,95	0,65	2,45	1,55	5,67	5,00	11,00	10,83	30,17	13,00		
<b>Desviación</b>	0,03	0,01	0,08	0,00	0,94	0,00	3,51	0,78	6,35	2,60	11,91	3,75	9,81	0,00			
Ensayo 5	1	0,01	0,01	0,065	0,02	0,20	0,20	0,65	0,65	2,00	2,00	6,50	2,00	6,50	6,50		
	2	0,01	0,01	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,20	0,65	0,65	0,65	2,00	2,00		
	3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,065	0,065	0,20	0,20	0,65	0,65	2,00	2,00	6,50	6,50		
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,04	0,02	0,11	0,11	0,31	0,35	0,95	1,10	3,05	1,55	5,00	5,00		
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,08	0,08	0,31	0,26	0,94	0,78	3,06	0,78	2,60	2,60			
Ensayo 6	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,065	0,20	
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,065	0,20		
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,20		
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,07	0,07	0,11	0,16	0,16		
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08			
Ensayo 7	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,02	0,065	0,065		
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,065		
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,065		
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,07	0,05	0,11	0,07		
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,08	0,00			

**Anexo I.3.** Resultados de la evaluación de las pinturas según la escala del estándar ASTM D 610-01, Estación San Gabriel

Sistema de Pintura	No. de Placa	Meses de Exposición														
		Sin Exposición		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	
Ensayo 1	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9	9
	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,33	9,67
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,58	
Ensayo 2	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,67
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	
Ensayo 3	1	10	10	10	10	9	10	9	10	8	10	8	9	7	8	
	2	10	10	10	10	9	9	9	9	8	9	7	8	7	7	
	3	10	10	10	10	8	10	8	10	8	10	8	9	6	8	
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	8,67	9,67	8,67	9,67	8,00	9,67	7,67	8,67	6,67	7,67	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58		
Ensayo 4	1	10	10	7	8	5	7	5	7	4	7	3	6	2	5	
	2	9	9	7	8	6	7	6	6	5	5	4	5	3	5	
	3	10	9	8	7	5	6	5	6	4	6	2	5	1	4	
	<b>Promedio</b>	9,67	9,33	7,33	7,67	5,33	6,67	5,33	6,33	4,33	6,00	3,00	5,33	2,00	4,67	
<b>Desviación</b>	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	1,00	1,00	0,58	1,00	0,58		
Ensayo 5	1	10	10	10	10	10	10	8	8	7	7	5	5	4	5	
	2	10	10	10	10	9	10	8	7	8	7	6	6	5	5	
	3	10	10	10	10	10	10	7	8	7	7	6	6	5	5	
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	7,67	7,67	7,33	7,00	5,67	5,67	4,67	5,00	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,00	0,58	0,58	0,58		
Ensayo 6	1	10	10	10	10	10	10	9	9	8	8	8	8	7	8	
	2	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	7	7	
	3	10	10	10	10	10	10	8	9	8	9	8	9	8	8	
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,00	9,00	8,33	8,67	8,00	8,33	7,33	7,67	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,58	0,58	0,00	0,58	0,58	0,58		
Ensayo 7	1	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	8	8	8	
	2	10	10	10	10	10	10	9	10	8	9	8	9	8	8	
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	9	
	<b>Promedio</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,00	9,33	8,33	8,67	8,00	8,33	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	1,00	0,58	0,58	0,58	0,00	0,58		

Anexo I.4. Resultados del porcentaje de corrosión, Estación San Gabriel

Sistema de Pintura	No. de Placa	Tiempo de Exposición (meses)														
		Sin Exposición		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	
Ensayo 1	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	
Ensayo 2	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	
Ensayo 3	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,065	0,01	0,065	0,02	0,20	0,07	
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,065	0,02	0,20	0,065	0,20	0,20	
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,065	0,01	0,065	0,01	0,065	0,01	0,065	0,02	0,65	0,065	
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,07	0,01	0,11	0,04	0,35	0,11	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,08	0,03	0,26	0,08		
Ensayo 4	1	0,01	0,01	0,2	0,065	2,00	0,2	2,00	0,20	6,50	0,20	13,00	0,65	24,50	2,00	
	2	0,01	0,01	0,065	0,065	0,20	0,65	0,20	0,65	2,00	2,00	6,50	6,50	24,50	13,00	
	3	0,01	0,01	0,065	0,065	0,65	0,65	0,65	2,00	2,00	6,50	2,00	13,00	24,50	13,00	
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,11	0,07	0,95	0,50	0,95	0,95	3,50	2,90	7,17	6,72	24,50	9,33	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,08	0,00	0,94	0,26	0,94	0,94	2,60	3,24	5,53	6,18	0,00	6,35		
Ensayo 5	1	0,01	0,01	0,010	0,01	0,01	0,01	0,07	0,07	0,20	0,20	2,00	2,00	6,50	2,00	
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,020	0,010	0,065	0,20	0,07	0,20	0,65	0,65	2,00	2,00	
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,010	0,010	0,20	0,07	0,20	0,20	0,65	0,65	2,00	2,00	
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	0,11	0,16	0,20	1,10	1,10	3,50	2,00	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08	0,08	0,08	0,00	0,78	0,78	2,60	0,00		
Ensayo 6	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,065	0,20	0,065	
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,20	0,20	
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,065	0,02	0,065	0,02	0,065	0,02	0,07	0,07	
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,04	0,07	0,05	0,16	0,11	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03	0,08	0,08		
Ensayo 7	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,065	
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,02	0,065	0,02	0,065	0,065	
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,065	0,02	
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,04	0,07	0,05	
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,03	0,03	0,00	0,03		

**Anexo I.5.** Resultados de la evaluación de las pinturas según la escala del estándar ASTM D 610-01, Estación Valle de los Chillos

Sistema de Pintura	No. de Placa	Meses de Exposición													
		Sin Exposición		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
Ensayo 1	1	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9	9	9	9
	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9	10
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
<b>Promedio</b>		10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,67	10,00	9,33	9,67	9,00	9,67
<b>Desviación</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,58	0,00	0,58
Ensayo 2	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9	10
	2	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9
	3	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	8	10	8	10
<b>Promedio</b>		10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,67	8,67	9,67	8,67	9,67
<b>Desviación</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Ensayo 3	1	10	10	10	10	10	10	9	10	8	7	7	7	6	7
	2	10	10	10	10	9	10	8	10	7	9	6	9	6	7
	3	10	10	10	10	9	9	9	8	8	7	8	7	7	6
<b>Promedio</b>		10,00	10,00	10,00	10,00	9,33	9,67	8,67	9,33	7,67	7,67	7,00	7,67	6,33	6,67
<b>Desviación</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	1,15	0,58	1,15	1,00	1,15	0,58	0,58
Ensayo 4	1	8	9	6	8	5	7	3	4	3	4	2	3	1	2
	2	8	10	6	7	5	6	2	5	1	5	1	4	1	3
	3	9	9	8	8	6	6	4	4	3	4	3	3	2	2
<b>Promedio</b>		8,33	9,33	6,67	7,67	5,33	6,33	3,00	4,33	2,33	4,33	2,00	3,33	1,33	2,33
<b>Desviación</b>		0,58	0,58	1,15	0,58	0,58	0,58	1,00	0,58	1,15	0,58	1,00	0,58	0,58	0,58
Ensayo 5	1	10	10	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5	4	4
	2	10	10	8	9	7	8	6	6	5	5	5	5	4	4
	3	10	10	9	9	8	8	6	7	5	5	4	5	3	4
<b>Promedio</b>		10,00	10,00	8,33	8,67	7,33	7,67	6,00	6,33	5,00	5,00	4,67	5,00	3,67	4,00
<b>Desviación</b>		0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,00	0,58	0,00	0,00	0,58	0,00	0,58	0,00
Ensayo 6	1	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	8	7	7
	2	10	10	9	10	9	9	8	8	8	7	7	7	6	7
	3	10	10	10	10	9	10	8	9	8	8	8	7	7	7
<b>Promedio</b>		10,00	10,00	9,67	10,00	9,00	9,33	8,33	8,33	8,00	7,67	7,33	7,33	6,67	7,00
<b>Desviación</b>		0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,00
Ensayo 7	1	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7	6	7
	2	10	10	10	10	9	10	8	9	7	8	6	7	5	6
	3	10	10	10	10	9	10	8	9	8	7	7	7	6	6
<b>Promedio</b>		10,00	10,00	10,00	10,00	9,00	9,67	8,33	8,67	7,67	7,67	6,67	7,00	5,67	6,33
<b>Desviación</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,00	0,58	0,58



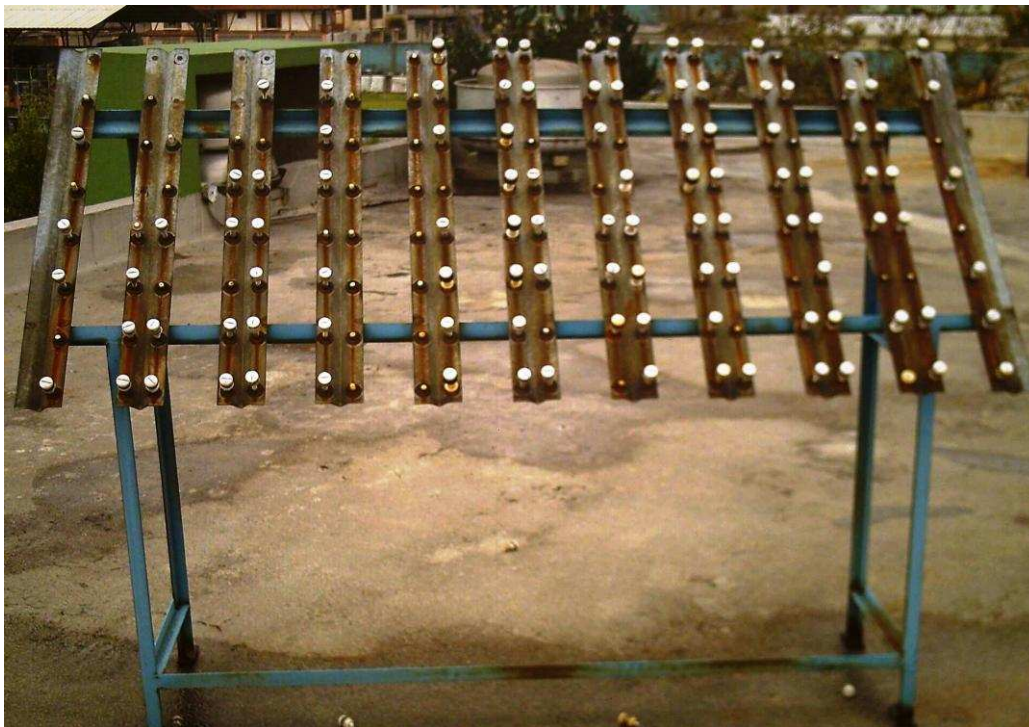
**Anexo I.6. Resultados del porcentaje de corrosión, Estación Valle de los Chillos**

Sistema de Pintura	No. de Placa	Meses de Exposición													
		Sin Exposición		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
		LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP	LA	LP
Ensayo 1	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
Ensayo 2	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,01	0,065	0,01
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	
Ensayo 3	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,20	0,2	0,20	0,65	0,20
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,01	0,20	0,02	0,65	0,02	0,65	0,2
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,20	0,065	0,20	0,20	0,65
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,11	0,14	0,31	0,14	0,50	0,35
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,08	0,10	0,31	0,10	0,26	0,26	
Ensayo 4	1	0,065	0,02	0,65	0,065	2,00	0,2	13,00	6,50	13,00	6,50	24,50	13,00	41,50	24,50
	2	0,01	0,01	0,065	0,065	0,20	0,65	0,20	0,65	2,00	2,00	6,50	6,50	24,50	13,00
	3	0,01	0,01	0,065	0,065	0,65	0,65	0,65	2,00	2,00	6,50	2,00	13,00	24,50	13,00
	<b>Promedio</b>	0,03	0,01	0,26	0,07	0,95	0,50	4,62	3,05	5,67	5,00	11,00	10,83	30,17	16,83
<b>Desviación</b>	0,03	0,01	0,34	0,00	0,94	0,26	7,26	3,06	6,35	2,60	11,91	3,75	9,81	6,64	
Ensayo 5	1	0,01	0,01	0,065	0,07	0,20	0,20	0,65	0,65	2,00	2,00	2,00	2,00	6,50	6,50
	2	0,01	0,01	0,07	0,02	0,20	0,065	0,650	0,65	2,00	2,00	2,00	2,00	6,50	6,50
	3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,065	0,065	0,65	0,20	2,00	2,00	6,50	2,00	13,00	6,50
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,05	0,04	0,16	0,11	0,65	0,50	2,00	2,00	3,50	2,00	8,67	6,50
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,03	0,03	0,08	0,08	0,00	0,26	0,00	0,00	2,60	0,00	3,75	0,00	
Ensayo 6	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,065	0,20	0,20
	2	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,20	0,20	0,65	0,20
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,20	0,20
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	0,07	0,11	0,16	0,16	0,35	0,20
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,08	0,08	0,08	0,26	0,00	
Ensayo 7	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,065	0,065	0,065	0,20	0,20	0,65	0,20
	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,02	0,20	0,065	0,65	0,20	2,00	0,65
	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,065	0,02	0,065	0,20	0,20	0,20	0,65	0,65
	<b>Promedio</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0,04	0,11	0,11	0,35	0,20	1,10	0,50
<b>Desviación</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,08	0,08	0,26	0,00	0,78	0,26	

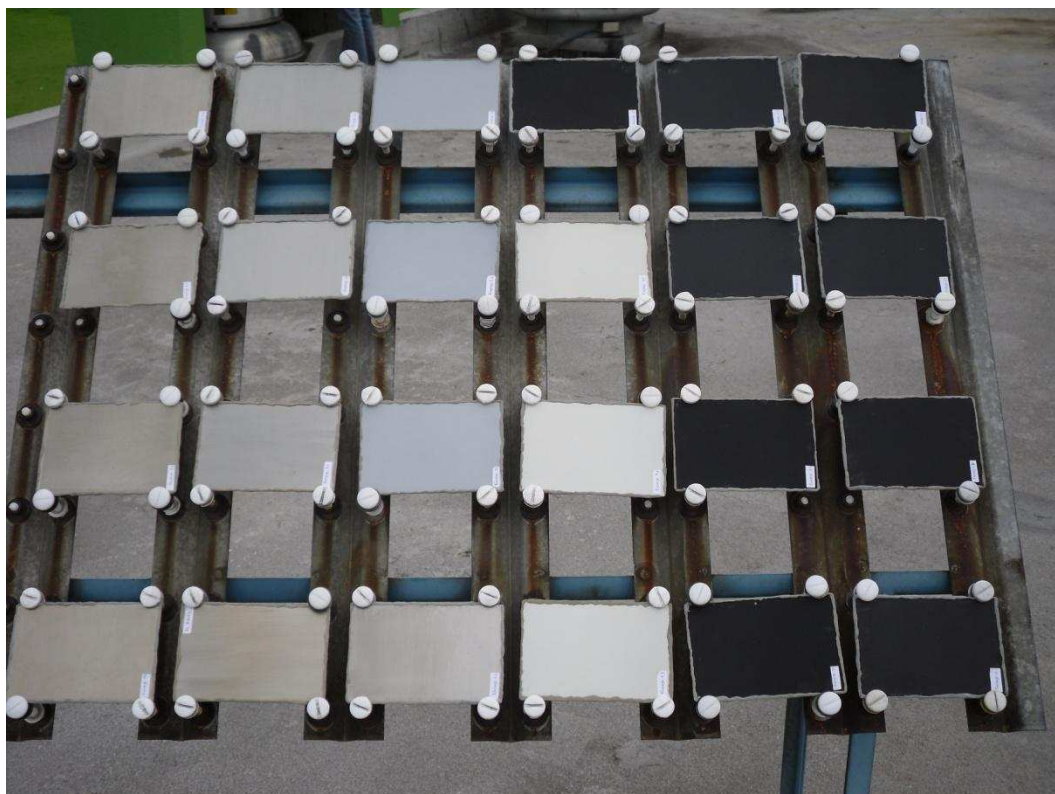
**Anexo I.7.** Observaciones Generales de los Revestimientos en las tres Estaciones

- Durante los seis meses, existió presencia de polvo en el lado expuesto (LA) y el no expuesto (LP), de todos los sistemas de pintura, pero en mayor cantidad el mes de agosto.
- Los ensayos 2 ( $\text{TiO}_2$  micro), 1 ( $\text{TiO}_2$  nano) y 3 (ZnO), presentan en este orden una buena protección del sustrato, con porcentajes muy bajos de corrosión. El ensayo  $\text{TiO}_2$  nano y  $\text{TiO}_2$  micro presentaron un ligero cambio en la tonalidad de su color.
- La resina sin pigmentos (Ensayo 4) presentó un amarillamiento paulatino con el paso del tiempo.
- En los ensayos  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$  y  $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + \text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ , tanto en el LA como en el LP, se pudo observar pérdida de color con el transcurso del tiempo y aparición de puntos blancos a lo largo de toda el área de exposición. Los puntos blancos, con el paso de los meses se fueron tornando de color amarillo, es decir empezó la formación de herrumbre sobre el film de pintura. En el ensayo  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  existió mayor porcentaje de corrosión, mientras que los ensayos  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$  y  $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + \text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$  alcanzaron un porcentaje de corrosión muy similar.
- La corrosión en esta estación es mayor que en la estación San Gabriel.

## ANEXO II. MUEBLES PORTA PLACAS



Anexo II.1. Estado Inicial del mueble porta placas



Anexo II.2. Disposición de las placas en el mueble portaplacas