



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo Experimental Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico

TEMA:

ANÁLISIS DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS SOBRE EL MATERIAL COMPUESTO (FIBRA DE CARBONO + RESINA EPOXI) Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE LAS AERONAVES FABRICADAS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA

AUTOR: Richard Gustavo *Mayorga Chávez*

TUTOR: *Ing. Juan Paredes, Mg.*

AMBATO –ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación, con el tema “*ANÁLISIS DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS SOBRE EL MATERIAL COMPUESTO (FIBRA DE CARBONO + RESINA EPOXI) Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE LAS AERONAVES FABRICADAS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AEREA ECUATORIANA*”, desarrollado por el estudiante Richard Gustavo Mayorga Chávez, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, me permito informar que este ha sido concluido en su totalidad, y por tanto puede continuar con el respectivo trámite de graduación.

Ambato, Mayo 2017

.....

Ing. Juan Paredes, Mg.

DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE TRABAJO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “***ANÁLISIS DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS SOBRE EL MATERIAL COMPUESTO (FIBRA DE CARBONO + RESINA EPOXI) Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE LAS AERONAVES FABRICADAS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AEREA ECUATORIANA***”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta original es auténtica y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado.

Ambato, Mayo 2017

EL AUTOR

.....

Egdo. Richard Gustavo Mayorga Chávez

CI: 180453442-6

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Richard Gustavo Mayorga Chávez de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ANÁLISIS DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS SOBRE EL MATERIAL COMPUESTO (FIBRA DE CARBONO + RESINA EPOXI) Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE LAS AEREONAVES FABRICADAS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AEREA ECUATORIANA”

Ambato, Mayo del 2017

Para Constancia firman:

.....
Ing. Mg. Henry Vaca

.....
Ing. Mg. Segundo Espín

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte de un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

.....

Egdo. Richard Gustavo Mayorga Chávez

CI: 180453442-6

DEDICATORIA

Una vez culminada mi presente investigación, me es grato dedicarla a tres personas en particular que sin su ayuda y motivación no habría podido culminar con mi carrera universitaria.

A mis padres que siempre estuvieron conmigo en todo momento, a mi madre Gladys, que nunca me ha fallado y ha festejado conmigo cada logro obtenido en el transcurso de mi vida así como también supo corregir mis faltas y errores con el amor y cariño que solo una madre abnegada lo puede hacer, a mi padre Gustavo que siempre me apoyo y brindo su ayuda en todos los momentos que los necesitaba, sé que están orgullosos de mi al convertirme en el primer ingeniero de la familia, y en especial a mi hijo Dylan Alejandro quien desde el momento que llego a mi vida se convirtió en mi mayor motivación para nunca darme por vencido y siempre seguir adelante. Este logro es de los cuatro, sin ustedes en mi vida no lo hubiese conseguido.

Richard

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme todas las capacidades necesarias para culminar mi carrera universitaria.

Al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana por abrirme las puertas y brindarme todas las facilidades para la realización de mi investigación ya que su colaboración fue un pilar importante para lograr la meta planteada.

A VERPAINTCORP CIA. LTDA, en especial al ingeniero Christian Paredes que me impartió su conocimiento adquirido y me brindo su ayuda para la realización de diversos ensayos realizados en los laboratorios de dicha institución.

A todos los docentes de la carrera de ingeniería mecánica que me supieron guiar al mismo tiempo que impartían su conocimiento en las aulas de clase.

A todas las personas me brindaron su ayuda de forma directa o indirecta para que la presente investigación llegara a su fin de manera exitosa.

Índice General

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE TRABAJO	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	IV
DERECHOS DE AUTOR	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
Índice General	VIII
Índice de Gráficos	XIII
Índice de Tablas	XIV
Índice de Fichas.....	XVI
Resumen ejecutivo	XVIII
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4

CAPÍTULO II	5
FUNDAMENTACIÓN	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.1 INGENIERÍA DE SUPERFICIES.....	5
2.1.2 RECUBRIMIENTOS SOBRE MATERIALES COMPUESTOS	6
2.1.3 RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS SOBRE FIBRA DE CARBONO + RESINA EPOXI.....	11
2.1.4 GESTIÓN DE CALIDAD	13
2.1.5 INDICADORES DE CALIDAD	15
2.1.6 CALIDAD DE AERONAVES FABRICADAS EN EL CIDFAE.....	22
2.2 HIPÓTESIS.....	22
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	22
2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	22
2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE	22
2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN	22
CAPÍTULO III.....	23
METODOLOGÍA	23
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.1.1. EXPLORATORIO	23
3.1.2. DESCRIPTIVO.....	23
3.1.3. EXPERIMENTAL	23

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	24
3.2.1 POBLACIÓN.....	24
3.2.2 MUESTRA.....	25
3.2.3 TAMAÑO DE LAS PROBETAS.....	28
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	28
3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	28
3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE	29
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	29
Proceso de recolección de información.....	30
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	30
3.5.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	30
3.5.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	30
CAPÍTULO IV.....	31
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	31
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	33
4.1.1 ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	33
4.1.2 RECUBRIMIENTOS A UTILIZAR	34
4.1.3 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS.....	41
4.1.4 MEDICIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS	59
4.1.5 MEDICIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS	69
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	72

4.2.1 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS	72
4.2.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS.....	75
4.2.3 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS	77
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	80
4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Espesor de Película Seca para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.....	81
4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Peso para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.....	84
4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Adhesividad para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.....	87
4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Rugosidad Superficial para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.....	87
4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo Envejecimiento Acelerado para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.....	90
CAPÍTULO V	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1 CONCLUSIONES	94
5.2 RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXO A.....	101

ELABORACIÓN DE PROBETAS CON GEL COAT POLIESTER.....	101
ANEXO B.....	103
Proceso y Fórmulas para el Cálculo Estadístico T - Student.....	103
ANEXO C.....	105
Tabla de Distribución T - Student.....	105
ANEXO D.....	106
Norma ASTM D3359.....	106
ANEXO C.....	112
Norma ASTM G155.....	112
ANEXO D.....	122
INFORME DE ENTREGA DE ENSAYO DE ESPESOR DE PELÍCULA.....	122

Índice de Gráficos

FIGURA 1. Composición básica de las pinturas	7
FIGURA 2. Aguja deflectora. Medidor de espesor de película seca	17
FIGURA 3. Materiales para ensayo de adhesividad	18
FIGURA 4. Diferencia entre la rugosidad y el defecto de forma	19
FIGURA 5. Rugosidad Media aritmética.....	20
FIGURA 6. Rugosidad media.....	20
FIGURA 7. Vista isométrica de la aeronave AUV Gavilán III	24
FIGURA 8. Orientación de las fibras.....	33
FIGURA 9. Conformado por Bolsas de Vacío	34
FIGURA 10. Capa de gel coat en moldeo por spray.....	37
FIGURA 11. Representación Gráfica de los Resultados de Espesor de Película. Comparación de Espesores Recomendado vs Promedio.....	73
FIGURA 12. Representación Gráfica de los Resultados de Peso. Comparación de Peso Antes y después de Aplicar el Recubrimiento	74
FIGURA 13. Representación Gráfica de los Resultados de Adherencia por Cinta. Comparación de Adherencia Promedio vs Óptima	75
FIGURA 14. Representación Gráfica de los Resultados de Rugosidad Superficial. Comparación de Rugosidad Media Promedio vs Tabla	77
FIGURA 15. Representación Gráfica de los Resultados de Envejecimiento Acelerado. Comparación de Antes vs Después del Envejecimiento Acelerado.....	78
FIGURA 16. Representación En Barras De Los Resultados Obtenidos.....	80

Índice de Tablas

Tabla 1. Área total de aeronave AUV GAVILÁN III.....	25
Tabla 2. Valores a considerar para el nivel de confianza.....	26
Tabla 3. Número total de probetas a elaborar	27
Tabla 4. Tamaño de probetas	28
Tabla 5. Variable independiente	28
Tabla 6. Variable dependiente.....	29
Tabla 7. Características de la Fibra de Carbono	33
Tabla 8. Ficha Técnica Recubrimiento Sherwin Williams	35
Tabla 9. Ficha Técnica Recubrimiento Barniz.....	36
Tabla 10. Ficha técnica Gel Coat Poliester	37
Tabla 11. Ficha técnica Gel Coat Epóxico.....	38
Tabla 12. Codificación para ensayo de espesor de película.....	41
Tabla 13. Codificación para ensayo de peso.....	54
Tabla 14. Codificación para ensayo de adherencia	59
Tabla 15. Codificación para ensayo de rugosidad	64
Tabla 16. Codificación para ensayo de envejecimiento acelerado	69
Tabla 17. Interpretación de Resultados Espesor de Película.....	72
Tabla 18. Interpretación de Resultados Peso	73
Tabla 19. Interpretación de Resultados Adherencia por Cinta	75

Tabla 20. Interpretación de Resultados Rugosidad Superficial	76
Tabla 21. Interpretación de Resultados Envejecimiento Acelerado	77
Tabla 22. Evaluación y Ponderación de los Resultados Obtenidos	79
Tabla 23. Resultados Espesor de Película.....	81
Tabla 24. Comprobación estadística del ensayo de Espesor de Película	81
Tabla 25. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis de Espesor de Película.....	83
Tabla 26. Resultados del Peso.....	84
Tabla 27. Comprobación estadística del ensayo del Peso.....	84
Tabla 28. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis del Peso.....	86
Tabla 29. Resultados Adherencia por Cinta.....	87
Tabla 30. Resultados Rugosidad Superficial	87
Tabla 31. Comprobación estadística del ensayo de Rugosidad Superficial.....	88
Tabla 32. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis de Rugosidad Superficial.....	90
Tabla 33. Interpretación de Resultados Envejecimiento Acelerado	90
Tabla 34. Comprobación estadística del ensayo de Envejecimiento Acelerado	91
Tabla 35. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis de Envejecimiento Acelerado.....	93

Índice de Fichas

Ficha 1. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “SHERWIN WILLIAMS”	42
Ficha 2. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “SHERWIN WILLIAMS”	43
Ficha 3. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “SHERWIN WILLIAMS”	44
Ficha 4. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “BARNIZ”	45
Ficha 5. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “BARNIZ”	46
Ficha 6. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “BARNIZ”	47
Ficha 7. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT EPÓXICO”	48
Ficha 8. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT EPÓXICO”	49
Ficha 9. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT EPÓXICO”	50
Ficha 10. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT FABRICADO”	51
Ficha 11. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT FABRICADO”	52
Ficha 12. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT FABRICADO”	53
Ficha 13. Reporte de Ensayo de Peso “SHERWIN WILLIAMS”	55
Ficha 14. Reporte de Ensayo de Peso “BARNIZ”	56
Ficha 15. Reporte de Ensayo de Peso “GEL COAT EPÓXICO”	57
Ficha 16. Reporte de Ensayo de Peso “GEL COAT FABRICADO”	58
Ficha 17. Reporte de Ensayo de Adherencia “SHERWIN WILLIAMS”	60
Ficha 18. Reporte de Ensayo de Adherencia “BARNIZ”	61
Ficha 19. Reporte de Ensayo de Adherencia “GEL COAT EPÓXICO”	62
Ficha 20. Reporte de Ensayo de Adherencia “GEL COAT FABRICADO”	63

Ficha 21. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “SHERWIN WILLIAMS”	65
Ficha 22. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “BARNIZ”	66
Ficha 23. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “GEL COAT EPÓXICO” ..	67
Ficha 24. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “GEL COAT FABRICADO”	68
Ficha 25. Reporte de Ensayo de Envejecimiento Acelerado “SHERWIN WILLIAMS/ BARNIZ/ GEL COAT EPÓXICO/ GEL COAT FABRICADO”	70

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Autor: Richard Gustavo Mayorga Chávez

Tutor: Ing. Juan Paredes, Mg.

Resumen ejecutivo

En la actualidad la Fuerza Aérea Ecuatoriana posee la capacidad y la tecnología necesaria para la creación y construcción de aeronaves no tripuladas denominadas UAV, por lo que el siguiente estudio estuvo enfocado a determinar la Calidad del Acabado de Superficies Pintadas, para lo cual se analizaron diferentes tipos de recubrimientos de pintura como lo son; SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ y GEL COATS.

Para el desarrollo de la investigación se realizaron probetas elaboradas de material compuesto (fibra de carbono + resina epoxi), analizando factores de calidad como son: Espesores de Película, Peso, Adherencia, Rugosidad y Envejecimiento Acelerado.

El estudio fue desarrollado bajo la fundamentación de normas internacionales como: ASTM D3359, ASTM G155 y SSPC-PA2.

Concluido el proceso investigativo, se encontró que las probetas a las cuales se aplicó el recubrimiento GEL COAT EPÓXICO, presentan mejores características de calidad superficial pintadas en comparación con los otros recubrimientos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO

FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING

Author: Richard Gustavo Mayorga Chávez

Tutor: Ing. Juan Paredes, Mg.

Executive Summary

At present, the Ecuadorian Air Force has the capacity and the necessary technology for the creation and construction of unmanned airship called UAV, so the following study was focused on determining the Quality of Painted Surfaces, for which were analyzed different types of paint such as; SHERWIN WILLIAMS, VARNISH and GEL COATS.

For the development of the investigation were made test pieces elaborated of composite material (carbon fiber + epoxy resin), analyzing factors of quality such as: Film Thickness, Weight, Adherence, Roughness and Accelerated Aging.

The study was developed on the basis of international standards such as: ASTM D3359, ASTM G155 and SSPC-PA2.

After the investigative process, it was found that the test pieces painted with EPOXIC GEL COAT had better surface quality compared to the other paints.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS SOBRE EL MATERIAL COMPUESTO (FIBRA DE CARBONO + RESINA EPOXI) Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE LAS AERONAVES FABRICADAS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AEREA ECUATORIANA

1.2 ANTECEDENTES

- En la tesis con tema “FORMULACIÓN DE RECUBRIMIENTOS A PARTIR DE PARTÍCULAS INCORPORADAS A UN POLÍMERO TERMOESTABLE”. Realizada en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) por los ingenieros Lenin Stalin Paz Enríquez y Roberto Carlos Rojas Molina se resume lo siguiente:

El objetivo de este proyecto era formular recubrimientos poliméricos en base a una resina termoestable que incorpore diferentes tipos y cantidades de material particulado.

Se describe la composición básica de las pinturas, preparación de la superficie y los mecanismos de protección de los revestimientos.

Los recubrimientos fueron formulados con proporciones de partículas que varían entre 2 y 10% en relación al volumen total del recubrimiento, de los cuales se describen los factores que influyen en la durabilidad de un revestimiento.

Se determinó que los recubrimientos deben poseer una viscosidad adecuada para cubrir toda la superficie sin que se produzca desvanecimiento del mismo así como también se comprobó que el espesor de película es independiente de la cantidad de solvente y la cantidad de carga que está presente en la pintura.

- En la tesis con tema “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA PINTURA EPOXI POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A.”. Realizada en la Universidad Técnica de Ambato (UTA) por el Ing. Álvaro Ricardo Valencia Medina se resume lo siguiente:

El objetivo de este proyecto era realizar un estudio de polimerización el cual mejorará la calidad de la pintura epoxi poliéster.

Una vez analizado y estudiado cada variable correspondiente se determinó que el resultado final está en base a la calidad y tipo de pintura a utilizarse ya que hay una gran variedad de pinturas destinadas a diferentes aplicaciones por tal razón si se elige el tipo de pintura equivocado no se obtendrán los resultados esperados.

Las condiciones en que se aplican las pinturas también inciden directamente ya que se debe tener en consideración las condiciones ambientales existentes el rato de realizar la mezcla de pintura ya que esta mezcla puede variar su composición dependiendo de la temperatura o humedad existente.

No solo es necesario tener cuidado con la pintura a utilizar sino también es necesario realizar un tratamiento a la superficie a la cual se va a pintar, este tratamiento consta de una limpieza para retirar posibles escombros que afecten a la adhesión de la pintura sobre la superficie.

- En la tesis con tema “ESTUDIO DEL PROCESO DE PINTURA BAJO LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES MARCAS DE RECUBRIMIENTOS SOBRE MATERIAL GALVANIZADO Y FIBRA DE VIDRIO Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL ACABADO SUPERFICIAL DE LOS BUSES FABRICADOS EN LA EMPRESA IMPEDSA”. Realizada en la Universidad Técnica de Ambato (UTA) por el Ing. Wellington Vinicio Santos Cueva se resume lo siguiente:

El objetivo de este proyecto era determinar la calidad del acabado de superficies pintadas destinadas al sector carrocerero.

Se realiza un análisis de diversos recubrimientos existentes en el mercado nacional que se utiliza en el sector carrocerero, para lo cual se propone cierto número de

probetas que serán revestidas de cada pintura existente para su posterior análisis individual para ver cómo reacciona cada una de ellas a los diversos ensayos.

Los ensayos a ser sometidos son de: espesor de película húmeda y seca, adhesividad, envejecimiento acelerado y rugosidad superficial.

Concluyó que a las probetas a las cuales se aplicó un recubrimiento denominado PPG, presentaron mejores características en acabado de superficies pintadas de autobuses en comparación con los otros recubrimientos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el Centro de Investigación y Desarrollo de las Fuerzas Armadas del Ecuador (CIDFAE) se ha posicionado como un importante centro de desarrollo tecnológico, en beneficio del mejoramiento de la capacidad operativa para la defensa, disminuyendo la dependencia tecnológica extranjera [1].

Entre los principales proyectos que realiza la presente entidad se trata del diseño y construcción de aeronaves no tripuladas, dentro de los procesos que se realizan para la construcción de dichas naves uno de vital importancia es el “Proceso de Pintura”, mediante el cual el recubrimiento utilizado debe garantizar la calidad superficial del material compuesto utilizado.

El análisis de recubrimientos aplicados sobre el material compuesto (fibra de carbono + resina epoxi) surge debido a que esta capa protectora debe cumplir con parámetros fundamentales que constan en el acabado superficial, para controlar la aerodinámica del prototipo y evitar turbulencia, así como también el peso final del recubrimiento que afecta directamente a la carga útil de la aeronave, entre otras. Dicha entidad no cuenta con un estudio relacionado a los tipos de recubrimientos y procesos utilizados, por tal razón han surgido diversos inconvenientes al no cumplir con los parámetros de calidad deseados.

Es por ello que se realizó un estudio del recubrimiento que se utiliza dentro de la entidad así como también proponer nuevos tipos de recubrimientos para conseguir la

mejor alternativa que cumpla con los requerimientos antes mencionados. Para la comparación de propiedades de las diferentes alternativas que se plantearon, se realizaron diversos ensayos con lo cual se eligió la mejor alternativa.

El estudio de los recubrimientos fue factible de realizarlo ya que se contaron con los requerimientos necesarios para su ejecución, se contó con citas bibliográficas, y laboratorios con equipos que se requiere para su desarrollo, también se dispuso del personal calificado con conocimiento del tema y experiencia de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato así como también del CIDFAE y los conocimientos adquiridos durante la Carrera de Ingeniería Mecánica.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar diferentes tipos de recubrimientos de pintura aplicadas sobre la superficie de las aeronaves no tripuladas fabricadas en el CIDFAE para mejorar su calidad.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros actuales y su influencia en las características físicas de las aeronaves no tripuladas.
- Determinar los posibles tipos de recubrimientos que pueden ser aplicados sobre la superficie de las aeronaves no tripuladas
- Determinar los ensayos mecánicos y térmicos que ayudan a determinar la calidad superficial de las aeronaves no tripuladas.
- Evaluar el mejor tipo de recubrimiento en base de los parámetros analizados para determinar la mejor opción a utilizar en las aeronaves no tripuladas

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 INGENIERÍA DE SUPERFICIES

“La ingeniería de superficies consiste en la modificación de la microestructura y/o la composición de la superficie de un componente, mediante métodos físicos o químicos que pueden implicar el aporte de otro material para cambiar las propiedades superficiales del mencionado componente” [2].

La ingeniería de superficies abarca un inmenso mundo el cual trata de impedir la degradación superficial de los materiales, para ello hacen uso de a una alta gama de procesos y tratamientos superficiales con el fin de modificar las propiedades superficiales de los materiales. Entre los diversos tratamientos físico-químico existentes el tratamiento más utilizados y eficaz debido a su precio y a su funcionalidad consiste en el depósito de recubrimientos y capas delgadas.

“El impacto de la ingeniería de superficies se puede medir a través del número de sectores donde tiene aplicaciones. Se han identificado al menos 15 sectores primarios donde esta disciplina es un importante recurso tecnológico, incluyendo los biomateriales, la generación de energía, la transformación de metales, la electrónica, la extracción de petróleo, la industria automotriz, la aeronáutica y la alimentaria. Por ejemplo, un estudio hecho en Inglaterra indica que el 80% de las industrias aeronáutica y automotriz depende de la ingeniería de superficies y se ha reconocido que es uno de los métodos más importantes para diferenciar un producto en términos de calidad, desempeño y costo” [3].

La finalidad de la ingeniería de superficies consiste en incrementar el tiempo de vida útil de un componente, esta vida útil se alarga debido a la mejora superficial del material el cual responderá de una mejor manera a diversos agentes externos, ya sean

estos generados por fricción o simplemente por el hecho de estar expuestos a la intemperie ya sean en condiciones climáticas y atmosféricas normales o extremas.

2.1.2 RECUBRIMIENTOS SOBRE MATERIALES COMPUESTOS

Los recubrimientos que se utilizan sobre los diversos materiales tienen como finalidad la protección del mismo así como también de cambiar su apariencia física brindándole un acabado final de buena presentación.

Las pinturas, en general, funcionan como una capa delgada que se adhiere sobre una superficie, que una vez finalizado su proceso de curado tiene la propiedad de transformarse en una película sólida con la cualidad de brindar un aspecto brillante, semibrillante o mate a la superficie con el fin de proteger y brindar ciertas mejoras mecánicas.

“Una pintura líquida, considerada desde un punto de vista fisicoquímico, es un sistema disperso. Está constituida generalmente por sólidos finamente particulados y dispersados en un medio fluido denominado vehículo. Este último está basado en una sustancia filmógena o aglutinante, también llamada formadora de película o ligante, dispuesta en un solvente o mezcla solvente al cual se le incorporan aditivos y eventualmente plastificantes” [4].

2.1.2.1 Composición General de las Pinturas

Todo recubrimiento posee una composición general de componentes, en la que solamente varían las cantidades de cada componente en función de la aplicación, así como también se agregan o eliminan ciertos componentes para mejorar la calidad del recubrimiento para adaptarlo de mejor manera al medio en que se va a desarrollar.

A continuación en la figura 1 se detalla la composición básica de las pinturas

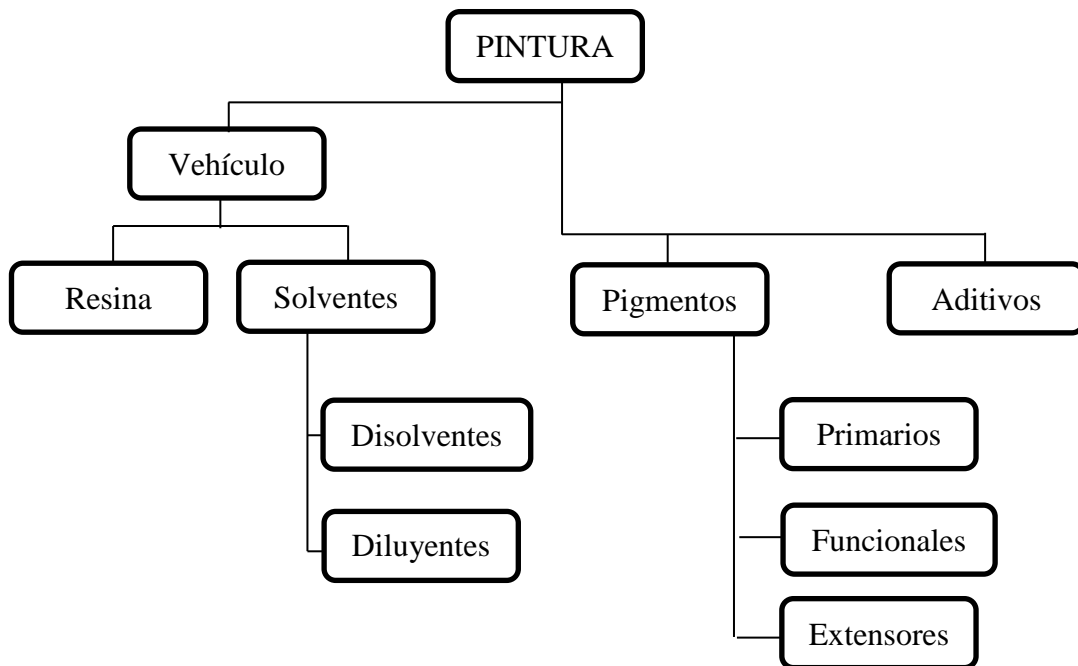


FIGURA 1. Composición básica de las pinturas

Fuente: [5]

a) Resina

También conocido como aglutinante, es la formadora de película es decir que contiene a los pigmentos así como también los diversos componentes de las pinturas.

En función de la aplicación, ciertos recubrimientos no poseen pigmentos como es el caso de los barnices. En los recubrimientos sólidos, no hay la presencia de solventes. Pero sea cual sea la aplicación, todo recubrimiento debe poseer un medio que sea la unión – sostén de la pintura y a su vez permita la adhesión con el sustrato, de esto se encarga el aglutinante que actúa como vehículo.

b) Solventes

Su principal uso y característica es el de ayudar y mejorar la aplicación de los recubrimientos sobre la superficie a pintar, disolviendo a los formadores de película así como también brindando una mayor fluidez.

Las mezclas de diferentes disolventes son en general los sistemas de solventes usados y diseñados con el fin de mejorar el acabado de la superficie, brindando una mejor estética y acabado superficial. Existe una gran variedad de métodos y formas

de aplicación de recubrimientos, pero el solvente debe garantizar el fácil manejo y aplicación del mismo.

Un sistema de solvente debe poseer disolventes y diluyentes, pero su mezcla debe ser equilibrada para garantizar las propiedades requeridas. Entre las propiedades de mayor envergadura que se deben considerar para la selección de un solvente son:

- ✓ Capacidad para disolver las cadenas formadoras de película
- ✓ Viscosidad o consistencia
- ✓ Punto de ebullición y velocidad de evaporación
- ✓ Temperatura de inflamabilidad
- ✓ Naturaleza química
- ✓ Toxicidad y olor
- ✓ Costo

c) Pigmentos

Los pigmentos hacen referencia a diversas sustancias coloreadas ya sean de compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas partículas se encuentran en suspensión y dispersas en la resina para poder ser incorporadas.

Los colorantes son frecuentemente asimilados como pigmentos, pero son diferentes, la insolubilidad es la propiedad que los diferencian unos de otros. Un colorante reacciona en el medio en el que es soluble, por otro lado los pigmentos son dispersados en el medio que los contiene mas no reaccionan con este.

Existe una amplia gama de pigmentos, cada uno de ellos aplicable a diferentes condiciones y para diversas aplicaciones. Por tal motivo se debe tener en cuenta las propiedades que deben poseer los pigmentos para seleccionar el pigmento adecuado a nuestra necesidad. Entre las principales propiedades a considerar tenemos:

- ✓ Capacidad de colorear
- ✓ Resistencia a la luz
- ✓ Poder cubridor
- ✓ Índice de refracción

- ✓ Tamaño de partículas
- ✓ Forma de partículas
- ✓ Estabilidad térmica

d) **Aditivos**

Son los encargados de mejorar las propiedades de los recubrimientos o a su vez poseen una influencia determinante sobre sus propiedades físicas y químicas. Se añaden a las pinturas en bajas cantidades que van desde el 0,001% hasta el 5%.

A pesar de su baja concentración dentro del recubrimiento, es capaz de alterar de forma considerable el normal desenvolvimiento de las pinturas. Como es el caso de los catalizadores y secantes, que aceleran el secado y el endurecimiento de los ligantes, así como también existen aditivos que modifican la dureza, flexibilidad y otras propiedades físicas del recubrimiento.

2.1.2.2 Propiedades Principales de una Película de Pintura

“Las pinturas protectoras deben presentar tolerancia a los defectos de preparación de superficies, facilidad de aplicación por métodos diversos, aptitud para un secado / curado adecuado y rápido en diferentes medios ambientales, cumplimentar las exigencias en servicio y fácil reparación de las zonas dañadas. Los aspectos económicos y ecológicos también resultan fundamentales”.

a) **Resistencia al agua**

Se relaciona directamente con la cantidad de agua que puede absorber la película de pintura, debido a que constantemente se encontrara en contacto con la humedad, ya sea por el medio en que se encuentra o por diversos agentes externos pero siempre estará en un proceso de humectación/secado.

Debido a esta exposición constante con el agua, la película de pintura debe ser resistente y no deberá presentar alteraciones en su adhesión (ampollamiento, escamación, delaminación, etc.), ablandamiento (disminución de la dureza, resistencia a la abrasión, excesiva flexibilidad, etc.) ni elevada retención (hinchamiento).

b) Resistencia a la intemperie

Después de estar un largo tiempo la pintura expuesta al medio ambiente, ya sea en condiciones de trabajo o simplemente estar almacenado en una bodega, la película de pintura se empezara a degradar de una u otra forma, ya sea en las propiedades protectoras o en las decorativas.

Lo que se pretende es evitar en lo máximo posible las degradaciones de la película de pintura como es la capacidad de retener el brillo original así como también que no se opaque su coloración.

“Otras características deseables son las siguientes: nulo o reducido tizado (degradación del material polimérico por la acción de la fracción UV de la luz solar) y adecuada dureza compatibilizada con la requerida flexibilidad de la película (satisfactoria eficiencia plastificante durante el envejecimiento)”.

c) Resistencia a los agentes químicos

Debido a diferentes aplicaciones a la que es expuesta la película de pintura, es posible que mantenga contacto con diversos agentes químicos externos a los que no se estaba contemplado su contacto, se pueden presentar salpicaduras de solventes, alcoholes, cetonas, ácidos, etc.

La película de pintura ante estos acontecimientos imprevistos debe actuar de una manera adecuada, sin presentar agrietamientos, desprendimientos de pintura, des adhesión, etc.

d) Resistencia a la abrasión

La mayoría de pinturas con excepción las que se aplica a naves industriales o edificaciones fijas, se aplican sobre superficies que están en constante movimiento (equipos, dispositivos o herramientas), dando como resultado que se genere un proceso abrasivo al ser transportados de un lugar a otro o por la manipulación de los mismos.

e) Elasticidad o capacidad de elongación

“Los sustratos en general y muy particularmente los metálicos presentan elevados coeficientes de expansión lineal y volumétrica”.

Todos los materiales sufren elongaciones en su estructura por efecto del calor, así como reducción de su tamaño en presencia del frío. La película de pintura debe ser capaz de mantener esta capacidad elástica para acompañar los movimientos de contracción y expansión del material base, incluso aun cuando la película de pintura ya este envejecida.

Por la composición misma de los recubrimientos, este presenta elasticidad; si se da el caso de ausencia o falta de elasticidad se debe adicionar aditivos plastificantes en una relación adecuada para generar un Índice de Young adecuado a nuestras exigencias (relación entre la tensión y la deformación específica) sin disminuir excesivamente la dureza.

f) Durabilidad

Se define como la capacidad que posee un revestimiento para permanecer intacto sin presentar cambios en sus propiedades físicas y químicas, mientras se encuentre expuesto a los diferentes factores medioambientales.

“La durabilidad de un esquema de pintura depende también del tipo de mantenimiento que se realice, el cual puede ser ideal y práctico. Es ideal cuando se detecta un deterioro del 3 al 5% del acabado. Es práctico cuando se detecta un deterioro del 10% del sistema de protección y se detecta corrosión del sustrato. El mantenimiento práctico es más costoso”.

2.1.3 RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS SOBRE FIBRA DE CARBONO + RESINA EPOXI

Existe una amplia gama de pinturas existentes que se aplican a nuestras necesidades, a continuación se detallaran los tipos de pintura que son utilizados a la aplicación requerida, en los que se toma en cuenta los factores que afectan directa e indirectamente la calidad final de la pintura.

2.1.3.1 Recubrimientos Epóxicas

Dichas pinturas son recubrimientos que poseen características de alta resistencia a diferentes ataques. Es un producto de dos componentes que vienen en envases separados: el componente A, que es una pintura epóxica y el componente B, que es un catalizador o endurecedor que normalmente son a base de aminas o poliamidas.

❖ Características

“Las pinturas Epóxicas presentan gran resistencia química, sin que les afecten los disolvente ni los aceites o grasas. Gran resistencia a la abrasión y tráfico pesado. Excelente adherencia sobre cemento.

Aunque presentan buena resistencia a los agentes atmosféricos, su color puede llegar a amarillarse o decolorarse debido al efecto de los rayos ultravioleta” [6].

❖ Aplicaciones de las pinturas epoxi

Debido a la resistencia que posee a los contaminantes químicos, al agua y a la intemperie, son utilizados como sistemas diseñados para la protección de larga duración sobre concreto y acero estructural. También usada como pintura de barcos y aeronaves.

Por su resistencia a ataques químicos, su uso se dirige a recubrir instalaciones industriales así como también lavaderos u otras instalaciones que estén sometidas a frecuentes limpiezas agresivas y desinfecciones, como hospitales.

2.1.3.2 Productos de Poliuretano

“Las pinturas y recubrimientos de Poliuretano son el resultado de la técnica más avanzada en la química de los Polímeros, y tienen características muy sobresalientes en muchos usos y aplicaciones por su gran versatilidad, como son su alto brillo, alta resistencia a los rayos UV, excelente resistencia química, alta resistencia a la abrasión, resistencia a los cambios bruscos de temperatura, flexibles, elásticos, etc.”

En la aviación son utilizadas debido a que estas pinturas soportan cambios bruscos de temperatura, la fricción provocada por el roce del aire así como también resisten agentes químicos usados para el aseo o mantenimiento de la superficie pintada.

Es resistente al agua salada, razón por la cual es utilizada en el sector marino, ya que no pierde su brillo ni su apariencia. La fácil remoción y limpieza de la superficie pintada es de gran ayuda ya que se puede remover con facilidad y limpiar pinturas en aerosol debido a las propiedades antigraffiti.

Posee una buena flexibilidad y adherencia así como también una gran dureza como para recubrir una pista de baile de madera sin sufrir un desgaste demasiado rápido.

2.1.4 GESTIÓN DE CALIDAD

“Debe entenderse por gestión de calidad el conjunto de caminos mediante los cuales se consigue la calidad; incorporándolo por tanto el proceso de gestión, que alude a dirección, gobierno y coordinación de actividades.

De este modo, una posible definición de gestión de calidad sería el modo en que la dirección planifica el futuro, implanta los programas y controla los resultados de la función calidad con vistas a su mejora permanente” [7].

Por lo mencionado se concluye que la gestión de calidad está dirigida a un conjunto de normas que se vinculan entre sí para el crecimiento continuo de la empresa.

La gestión de calidad no solo se basa en la calidad del producto final, sino que busca poseer una óptima calidad en todo el proceso que tiene el producto, empezando por la recolección de insumos hasta la culminación y entrega del producto terminado. Es función de todos los miembros del equipo de trabajo lograr la calidad final, el futuro de la empresa así como su competitividad se rige directamente al modelo de gestión de calidad que poseen.

2.1.4.1 Fundamentos de la Gestión de Calidad

Los fundamentos o bases en la que se basa la gestión de calidad se detallan a continuación.

- Su objetivo es el mismo de la empresa: ser competitivos y mejorar continuamente.
- Pretende ayudar a satisfacer las necesidades del cliente.
- Los recursos humanos son su elemento más importante.
- La comunicación, la información y la participación a todos los niveles son elementos imprescindibles.
- Se busca la disminución de costes mediante la prevención de anomalías.
- Implica fijar objetivos de mejora permanente y la realización de un seguimiento periódico de resultados
- Forma parte de la gestión de la empresa, de cuya política de actuación constituye un objetivo estratégico fundamental.

2.1.4.2 Ventajas de Implementar el Modelo de Gestión de Calidad

El poseer un modelo de gestión calidad nos conlleva a poseer una mentalización, dinamización de las estructuras, satisfacción del personal, comunicación, etc. Cualidades o efecto que se consigue cuando las personas trabajan verdaderamente unidas, escuchándose y ayudándose en la búsqueda de unos objetivos comunes.

- Ayuda a mejorar continuamente la productividad y la competitividad.
- Su fundamento es hacer las cosas bien a la primera.
- Consiste en dar al cliente lo que desea.
- Está basada en el sentido común.
- No supone hacer más que lo necesario
- Todos los niveles de la empresa están involucrados.
- Asegura el espíritu de equipo y el corporativismo.
- Su aplicación es altamente motivante.

2.1.5 INDICADORES DE CALIDAD

“Si se ha dado por terminada la aplicación del recubrimiento, se procede a realizar los ensayos destructivos en las probetas correspondientes a cada equipo o los ensayos no destructivos en el sustrato de los equipos. No hay que olvidar que los testigos debieron haber sido aplicados en el mismo tiempo y en las mismas condiciones que el equipo o equipos que se están pintando, en este deben intervenir la misma persona que intervino en el equipo para aplicar el recubrimiento, tal cual si fuese el equipo para obtener los resultados sin alteraciones o cambios significativos de la inspección” [8].

Los indicadores de calidad nos sirven para poder medir de forma estadística el acabado final que obtendremos, para ellos nos basaremos de los resultados obtenidos de los diferentes ensayos, procedimientos basados en las diferentes normas o especificaciones con las que trabajaremos y finalmente los criterios de juzgamiento con lo se obtendrán los resultados finales.

2.1.5.1 Aplicación de Pintura

La aplicación de las pinturas posee diversos fines, entre ellos es proteger a la superficie contra agentes externos, mejorar sus propiedades y apariencias ópticas y proporcionar un acabado superficial suave logrando así mejorar su estética.

La calidad final de la película de pintura depende de algunos factores entre los más importantes indicaremos los siguientes:

a) Preparación de Superficies

La preparación de superficies busca conseguir la mayor adherencia posible. Consiste en eliminar cualquier tipo de materiales o sustancias que se encuentren postrados sobre la superficie a pintar, para ello existen diversos métodos los cuales eliminan grasas, óxidos y otros materiales que impiden que el recubrimiento pueda anclarse con firmeza sobre el material [9].

b) Métodos de Aplicación

“El método para aplicar un revestimiento depende de varios factores como la composición del líquido de la pintura, el espesor requerido, la velocidad de producción y las consideraciones de costo, tamaño de partes y requerimientos ambientales. Con cualquier método de aplicación, la eficiencia de transferencia es muy importante. La eficiencia de transferencia es la proporción de pintura que se suministra para el proceso y se deposita sobre la superficie de trabajo.”

En función de las características finales que se desee, la aplicación de la pintura se la podría realizar de las siguientes maneras:

- ✓ Aplicación con brocha.
- ✓ Aplicación manual por rodillo.
- ✓ Aplicación por aspersión (pistola de aire)
- ✓ Aplicación por inmersión.
- ✓ Aplicación por flujo.
- ✓ Aplicación por cortina.
- ✓ Aplicación con rodillo mecánico.
- ✓ Aplicación por electro deposición.
- ✓ Auto deposición.

2.1.5.2 Espesor de Película.

“La naturaleza del sustrato y las características del medio agresivo definen un espesor óptimo para cada sistema de pinturas. Altos espesores aseguran buenas propiedades de flujo, satisfactorio poder cubriente y reducida permeabilidad al vapor de agua, gases, etc. Sin embargo, espesores elevados generalmente conducen al deterioro de las propiedades físico-mecánicas y consecuentemente a un desempeño en servicio menos eficiente.”

El objetivo de esta prueba es determinar el espesor total de pintura que se adhirió a la superficie del material, con esto se puede determinar y controlar el control de insumos así como también se determina si existe una aplicación excesiva o escasa de pintura, se puede determinar el espesor tanto en la película húmeda como en película seca. Para determinar dicho espesor existen varios equipos entre los principales son:

- a) **Galga:** Dispositivo diseñado para medir el espesor de la película húmeda, a través de sus dientes con medidas en mils o micras; estos se presionan contra la superficie en ángulo recto, y el diente que queda a ras de la superficie, es el que indica el espesor de la película. Este ensayo se rige bajo la norma ASTM D4414 (práctica estándar para la medición del espesor de película húmeda por la Galga Notch) [10].
- b) **Aguja deflectora:** Método destructivo debido a que perfora la película que se utiliza para la medición en películas secas. El dispositivo posa sus dos apoyos sobre la película y penetra su aguja de manera vertical hasta llegar al sustrato; de esta manera y mediante una escala circular localizada en la parte superior del mecanismo, se calcula el espesor de la película. Se emplea sobre superficies metálicas y no metálicas.

A continuación en la figura 2 se muestra una aguja deflectora, usada para medir los espesores de película seca.

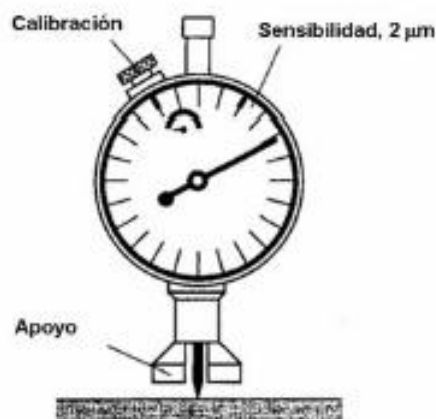


FIGURA 2. Aguja deflectora. Medidor de espesor de película seca

Fuente: [8]

2.1.5.3 Adherencia

“Las pruebas de adherencia después de la aplicación del revestimiento, cuantifica la resistencia de la unión entre el sustrato y el revestimiento, o entre diferentes capas de revestimiento o bien la fuerza cohesiva de algunos sustratos. Desde las estructuras más grandes hasta los electrodomésticos más pequeños, la mayor parte de los productos manufacturados tienen un revestimiento protector o embellecedor” [11].

Es de vital importancia conocer el grado de adherencia que tuvo la pintura para adherirse, este ensayo tiene como finalidad determinar la calidad de la pintura utilizada ya que esta no deberá presentar despoñillamientos o agrietamientos una vez que el objeto a pintar ya esté en servicio. Este ensayo se rige bajo la norma ASTM D3359 (Métodos de prueba estándar para medir la Adhesión por Prueba de Cinta.)

A continuación en la figura 3 se muestran los equipos utilizados para el ensayo de adherencia por cinta.



FIGURA 3. Materiales para ensayo de adhesividad

Fuente: [11]

2.1.5.4 Acabado Superficial

Para lograr evaluar el acabado superficial de una pieza es de vital importancia diferenciar la rugosidad y el defecto de forma [12].

A continuación en la figura 4 se detallan las diferencias existentes entre la rugosidad y los defectos de forma que se presentan en la superficie.

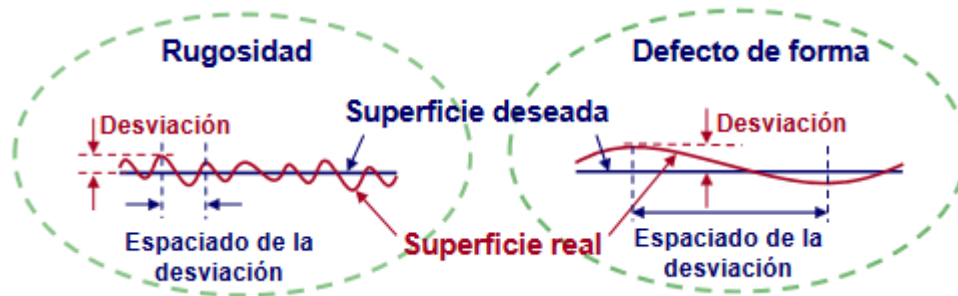


FIGURA 4. Diferencia entre la rugosidad y el defecto de forma

Fuente: [13]

Defecto de forma: Afectan al funcionamiento como a la excentricidad, falta de ajuste, holguras, ruidos/vibraciones, etc.

Rugosidad: Afecta al comportamiento de la superficie frente al rozamiento, lubricación, desgaste, rodadura, etc.

La rugosidad, está constituida de surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado o conformación (herramienta, partículas abrasivas, acción química, etc.) y se encuentra superpuesta al perfil de ondulación. Los espacios entre crestas varían entre 4 y 50 veces la profundidad de la depresión [13].

Es necesario utilizar parámetros estadísticos para cuantificar la rugosidad. Estos parámetros ya se encuentran normalizados bajo las normas ISO 4288:1996, y por la ASME B46.1-2002 y sus equivalentes.

Medición de la rugosidad

La medición de la rugosidad se lo realiza con el rugosímetro. Existe una gran variedad de parámetros con los que se mide la rugosidad, entre los más utilizados tenemos:

- ***Ra –Rugosidad media aritmética:*** Está definido como la media aritmética de los valores absolutos de las coordenadas de los puntos del perfil de rugosidad en relación a la Línea Media dentro de la longitud de medición L_m .

En la figura 5 se puede apreciar la rugosidad media aritmética, cuyo valor puede ser calculado mediante la ecuación 1 que se detalla a continuación.

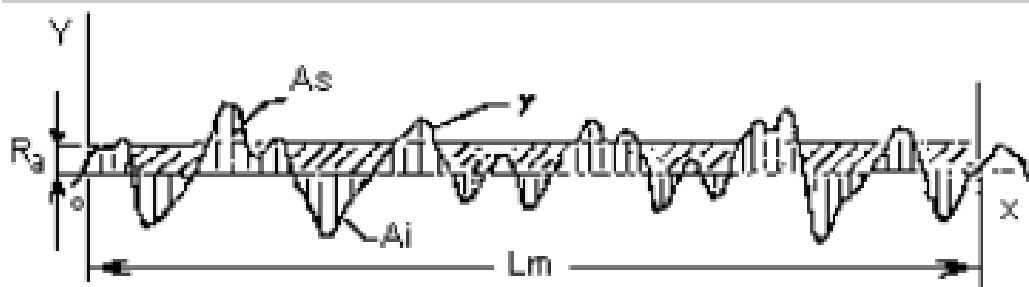


FIGURA 5. Rugosidad Media aritmética

Fuente: [12]

$$Ra = \frac{\Sigma As + \Sigma Ai}{Lm} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

As = Áreas superiores; Ai = Áreas inferiores; Lm = Longitud total

- **Rz –Rugosidad media:** Es la media aritmética de los valores de rugosidad parcial Zi correspondientes a cada uno de los cinco módulos integrantes de la longitud de medición (el tramo individual de mayor Zi se designa como Rmáx)

En la figura 6 se puede apreciar la rugosidad media, cuyo valor puede ser calculado mediante la ecuación 2 que se detalla a continuación.

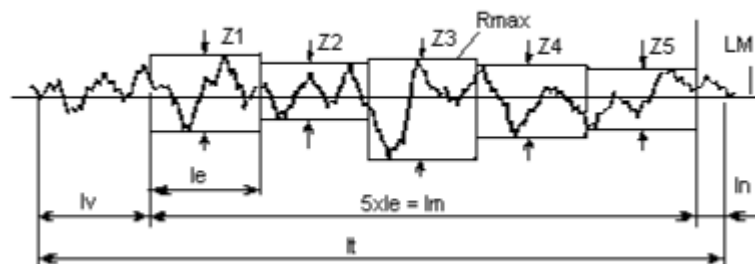


FIGURA 6. Rugosidad media

Fuente: [12]

$$Rz = \frac{1}{5} (Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Z_1, Z_2, \dots, Z_5 . = Distancia del pico inferior al pico superior del tramo de discontinuidad analizado.

2.1.5.5 Durabilidad

“La degradación de una película por los agentes atmosféricos resulta de la combinación de diversos factores, muchos de los cuales presentan variaciones cíclicas altamente destructivas. Algunos ejemplos surgen al considerar la luz solar, la temperatura, la humedad relativa, la lluvia, etc. Las diferentes atmósferas (rural, urbana industrial y marina) generan condiciones de distinta agresividad” [8].

Es un ensayo destructivo en los cuales usualmente las probetas a ensayar se las deja a la intemperie y se las revisa constantemente en un lapso largo de tiempo.

Existen equipos que ayudan a acelerar esta degradación de los materiales, los cuales simulan diferentes condiciones con lo cual se logran los mismos resultados pero en un tiempo considerablemente reducido.

Cámara de UV: Utiliza como fuente de energía una lámpara de xenón, debido a que su espectro de luz se asimila al de la luz solar. Para la realización del ensayo se requieren probetas o paneles que poseen características diferentes al someterse a la acción del espectro de luz.

“Los paneles pintados se ensayan a la acción de la luz ultravioleta en cámaras especiales durante un lapso determinado con el fin de comprobar en laboratorio los requisitos contemplados en normas o especificaciones.

Generalmente se realizan determinaciones de color y brillo con respecto a muestras no expuestas; otras propiedades físico-mecánicas igualmente pueden ser evaluadas.”

Para la aplicación de este ensayo nos regiremos a la norma ASTM G 155 “Standar Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure for Non-Metallic Materials”

2.1.6 CALIDAD DE AERONAVES FABRICADAS EN EL CIDFAE.

Lo que se pretendió lograr con el presente trabajo de investigación, fue lograr una óptima calidad en el recubrimiento utilizado en el proceso de pintura de la aeronave no tripulada “AUV GAVILÁN III” ya que este recubrimiento debe pesar lo mínimo posible, debido que este afecta directamente a la carga útil que posee la aeronave, el material usado en la construcción de sus partes es la fibra de carbono al presentar excelentes propiedades mecánicas en relación a su bajo peso, pero al someterse al proceso de pintado la aeronave eleva su peso final hasta un 10% a 15%, motivo por lo que la carga útil que puede llevar la aeronave se ve afectada directamente.

El acabado superficial fue otro factor que se pretendió mejorar, debido a que la rugosidad presente en la superficie de la aeronave tiende disminuir la capacidad aerodinámica de la misma, se pretendió disminuir al mínimo la presencia de discontinuidades ya que mientras la capa de pintura sea más uniforme se logra controlar y reducir la turbulencia que se puede presentar en condiciones de vuelo.

2.2 HIPÓTESIS

El análisis de la aplicación de los diferentes tipos de recubrimientos mejorará la calidad superficial de las aeronaves no tripuladas del CIDFAE.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tipos de Recubrimientos

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad Superficial

2.3.3. TÉRMINO DE RELACIÓN

Mejorará

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. EXPLORATORIO

Debido a que el personal en el área de mecánica es el encargado de diseñar las aeronaves y garantizar su aerodinámica, se consultó con ellos para la determinación de los requerimientos necesarios en el acabado superficial de las aeronaves.

El personal de “Pañol” son los encargados de realizar los procesos de pintura y elaboración de material compuesto, por tal motivo se visitó al personal a cargo para determinar e identificar los problemas existentes así como los resultados que se tienen en las aeronaves y así comparar con lo que diseña el área de mecánica.

3.1.2. DESCRIPTIVO

Se conoció los procedimientos de pintura así como el comportamiento de cada recubrimiento utilizado, con lo cual describimos ventajas y desventajas de cada uno de ellos ya que se especificó sus características y cualidades importantes, así como también se describirán las normas utilizadas en cada ensayo realizado además del procedimiento utilizado.

3.1.3. EXPERIMENTAL

El presente trabajo optó de una modalidad experimental, ya que se realizaron diferentes ensayos y con los resultados obtenidos de cada ensayo nos permitió obtener un estándar experimental para su futura aplicación en la industria aeronáutica.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

El universo para este estudio está comprendido en las aeronaves fabricadas en el CIDFAE, para delimitar nuestra población se considerara el área pintada de la aeronave no tripulada “AUV GAVILÁN III”, por ser el prototipo que en la actualidad presenta nuevos proyectos a futuro.

A continuación se detallará el área pintada de los diversos componentes de material compuesto presentes en la nave de la aeronave.

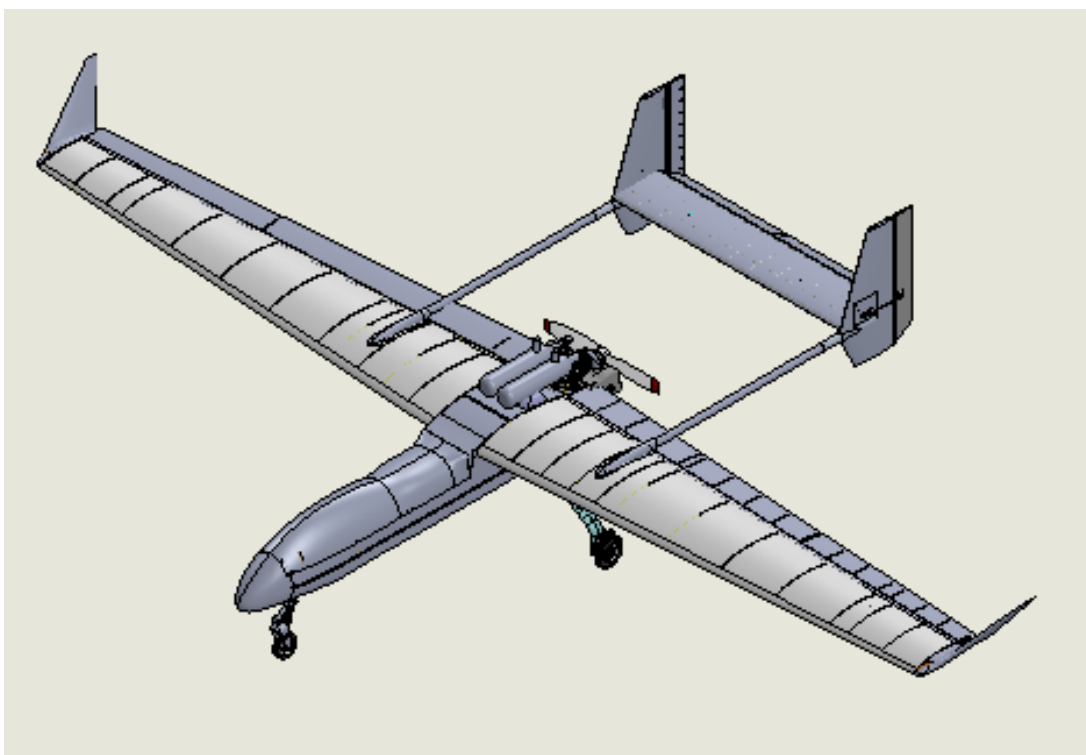
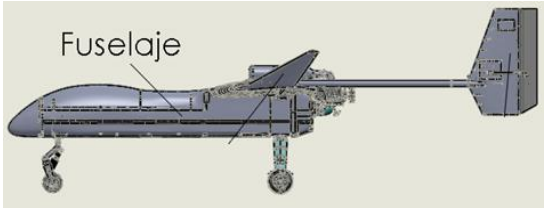
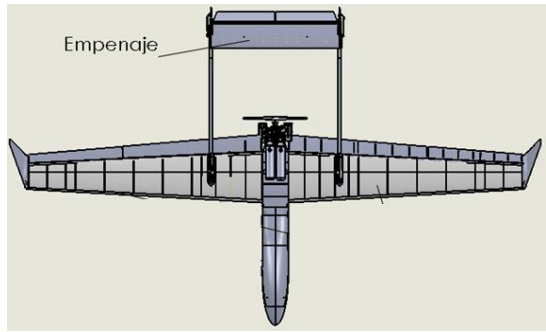
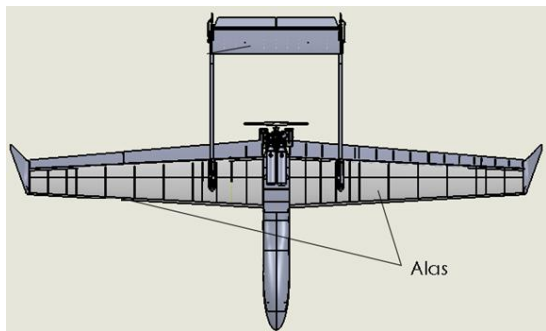


FIGURA 7. Vista isométrica de la aeronave AUV Gavilán III

Fuente: [14]

Tabla 1. Área total de aeronave AUV GAVILÁN III

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ÁREA UNITARIA (m ²)	ILUSTRACIÓN
Fuselaje	1	8,452	
Alas	1	1,035	
Empenaje	1	1,809	
	total	11,298	

Fuente: El autor

Nota: Todas las partes antes mencionadas son elaboradas dentro de la institución y en su totalidad son elaboradas de fibra de carbono + resina epoxi

3.2.2 MUESTRA

Para la elaboración de nuestras probetas se determinó la cantidad necesaria en base a la ecuación 3 que es la fórmula para determinar el tamaño de la muestra [15].

$$n = \frac{N * Z^2 \alpha^2}{(N-1)e^2 + Z^2 \alpha^2} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población.

σ = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Se detallan sus valores en la tabla 4 y son a criterios del investigador

e = Límite aceptable de error muestral.

Tabla 2. Valores a considerar para el nivel de confianza

Nivel de confianza	99,73%	99%	98%	96%	95,45%	95%	90%	80%	68,27%	50%
Zc	3,00	2,58	2,33	2,05	2,00	1,96	1,645	1,28	1,00	0,6745

Fuente: [15]

$$n = \frac{11298247,55 * 2,58^2 * 0,5^2}{(11298247,55 - 1)0,01^2 + 2,58^2 * 0,5^2}$$

$$n = 16616,527 \text{ mm}^2$$

$$n = 166,16 \text{ cm}^2$$

Lo que nos indica que el tamaño de la muestra del material compuesto es de 166,49 cm²

Tabla 3. Número total de probetas a elaborar

NÚMERO DE PROBETAS						
Revestimiento + Pintura	rugosidad	adhesividad	espesor	peso	envejecimiento	probetas
Sherwin Williams + Mat. Comp.	7	3	3	7	6	26
Gel Coat Epoxi + Material Compuesto	7	3	3	7	6	26
Gel Coat Poliéster +Material Compuesto	7	3	3	7	6	26
Gel Coat Fabricado + Material Compuesto	7	3	3	7	6	26
Barniz + Material Compuesto	7	3	3	7	6	26
					Total	130

Fuente: El autor

Nota: Para las siguientes veces que se mencione Gel Coat Fabricado, se refiere a una elaboración creada por el autor la cual se basa en los productos A, B, C, D. En el siguiente capítulo se indicaran las cantidades de cada producto que se utilizó para la elaboración del Gel Coat Fabricado

A: Pintura en polvo (Negro de humo)

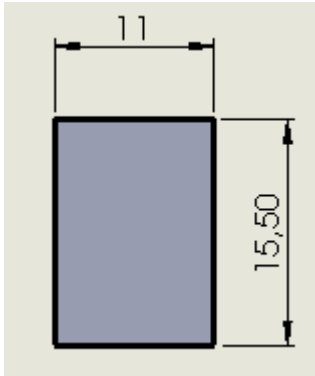
B: Aerosil (Antiglomerante)

C: Resina epoxi con endurecedor

D: Dióxido de titanio (Coloración blanca)

3.2.3 TAMAÑO DE LAS PROBETAS

Tabla 4. Tamaño de probetas

ZONA A PINTAR	PROBETA
Sherwin Williams + Mat. Comp.	
Gel Coat Epoxi + Material Compuesto	
Gel Coat Poliéster + Material Compuesto	
Gel Coat Fabricado + Material Compuesto	
Barniz + Material Compuesto	
Total	170 cm ²

Fuente: El autor

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Tabla 5. Variable independiente

Contextualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentación
El estudio de los recubrimientos utilizados sobre el material compuesto (fibra de carbono resina + epoxi) que influyen en la calidad superficial de las aeronaves no tripuladas.	Proceso de aplicación de recubrimiento	Tipo de recubrimiento utilizado	*Recubrimiento Actual Sherwin Williams *Nuevos Recubrimientos Gel Coat Epoxi + Material Compuesto Gel Coat Poliéster +Material Compuesto Gel Coat Fabricado + Material Compuesto Barniz + Material Compuesto	Observación directa Fichas técnicas Bibliográfica

Fuente: El autor

3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Tabla 6. Variable dependiente

Contextualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentación
Comportamiento mecánico, físico y térmico del recubrimiento que son evaluadas mediante ensayos específicos bajo normas y especificaciones	Parámetros físicos	Espesores de película	(50.8 – 250) μm	Observación directa Observación de laboratorio
		Peso	¿Cuál será el peso final de la aeronave una vez aplicado el recubrimiento	
	Superficie	Adherencia	Porcentaje (10 - 100) %	Reportes
		Rugosidad	¿Cuál será el valor de la rugosidad media?	Fichas técnicas
Durabilidad	Envejecimiento	¿Cómo puede afectar la temperatura, humedad y la luz en los diferentes tipos de recubrimientos?	Informes	

Fuente: El autor

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Mediante el presente plan de recolección de información, se pretendió obtener los datos necesarios así como los temas a investigar para el desarrollo óptimo de la investigación que se lleva a cabo y cumplir así con los objetivos planteados.

Para la investigación se consideró dos técnicas de investigación como lo son la técnica de observación y la técnica bibliográfica.

En la técnica de Observación, se la realizó directamente en el CIDFAE, en el departamento de pintura, lugar en el cual se pintan las aeronaves fabricadas en dicha institución, además se obtuvo información por el personal de diversos departamentos en los cuales gracias a su experiencia supieron indicar diversos parámetros necesarios así como características y propiedades de los recubrimientos que deben ser utilizados sobre las aeronaves para su óptimo desempeño.

La técnica Bibliográfica nos dió la facilidad de conocer el comportamiento de diferentes tipos de recubrimientos expuestos a diversas condiciones, así como también nos permitió determinar los recubrimientos que utilizaremos para la investigación y los ensayos respectivos que debemos realizar para cumplir con las condiciones óptimas de vuelo.

Proceso de recolección de información

a) Mediante Técnica de observación

- ✓ Se determinó el flujograma del procedimiento de pintura.
- ✓ Se determinaron los problemas existentes con el recubrimiento utilizado.

b) Mediante Técnica Bibliográfica

- ✓ Se determinaron ensayos necesarios a realizar con su respectiva norma.
- ✓ Se determinaron recubrimientos a utilizar.

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez terminada la recolección de la información necesaria y considerando la importancia que tiene la interpretación de resultados, el procesamiento de la información presentó los siguientes aspectos.

Se analizó y determinó parámetros importantes de información encontrada en diferentes tesis, artículos y diversas publicaciones relacionadas al tema.

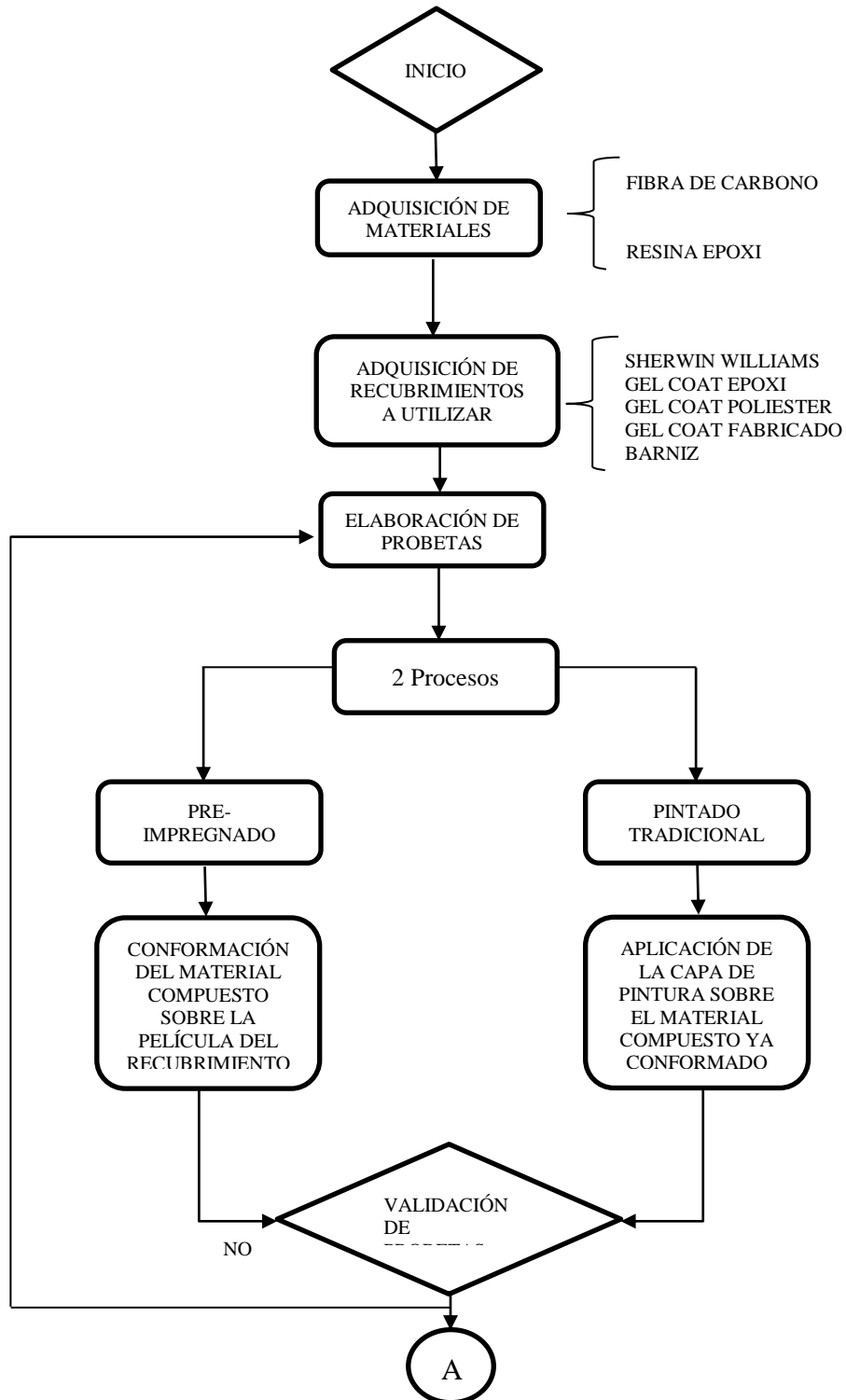
Se determinó el excedente del peso máximo que puede optar la aeronave después del proceso de pintura

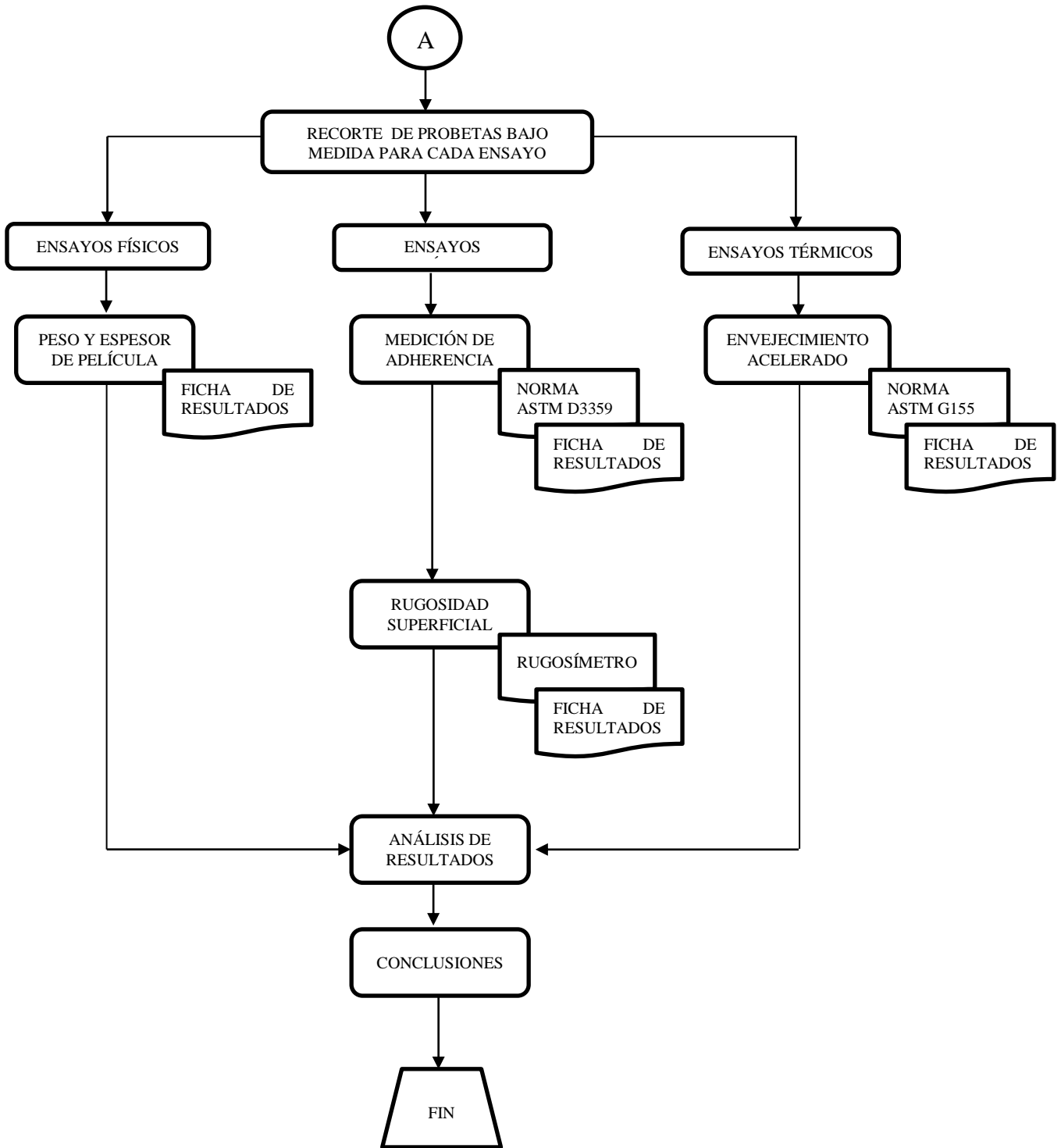
3.5.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez que se culminaron con todos los ensayos respectivos en base a cada una de las normas existentes para cada ensayo, se realizó un análisis estadístico con los datos ya obtenidos y con la información recopilada, pudiendo así determinar el mejor recubrimiento de las probetas ensayadas.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS





4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

La fibra de carbono, como material compuesto, consta de una matriz de resina. La cantidad utilizada de resina viene recomendada por el fabricante, dicha relación se muestra en dependencia del peso en gramos de la fibra utilizada. En la ecuación 4 se detalla la cantidad en peso de resina que se debe utilizar mientras que la ecuación 5 nos muestra la cantidad en peso del endurecedor a utilizar.

$$R = (\text{peso de fibra en gr.}) * 100 / 127 \quad \text{Ec. 4}$$

$$E = (\text{peso de fibra en gr.}) * 27 / 127 \quad \text{Ec. 5}$$

La fibra que se utilizó en la investigación presentó una disposición bidireccional, es decir que posee un entramado de fibras en dos direcciones a 90°.

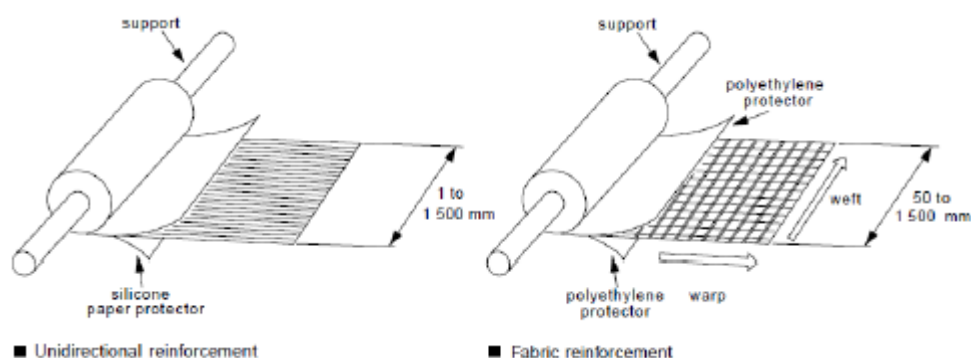


FIGURA 8. Orientación de las fibras

Fuente: [16]

Tabla 7. Características de la Fibra de Carbono

Peso	Anchura	Espesor	Dimensión	Tejido
5,7 Oz/yd ²	50 plg	0.007 plg	12 x 12 plg	Tela asargada

Fuente: El autor

Conformado de la fibra de carbono

El método de conformado es el denominado “Vacuum Bag” (bolsa de vacío), es un método que utiliza el vacío para generar el laminado de las diferentes partes logrando conseguir un mejor acabado y a la vez que se reduce el apareamiento de burbujas mientras se elimina el exceso de resina. Este método utiliza la presión atmosférica para sujetar el laminado de capas entre sí dentro de una envoltura herméticamente sellada. Con una bomba de vacío se evacua el aire del interior, la presión de aire en el interior de la envoltura se reduce mientras que la presión de aire fuera de la envoltura se mantiene en la presión atmosférica. El diferencial de presión entre el interior y el exterior de la envoltura determina la cantidad de fuerza de sujeción sobre el laminado.

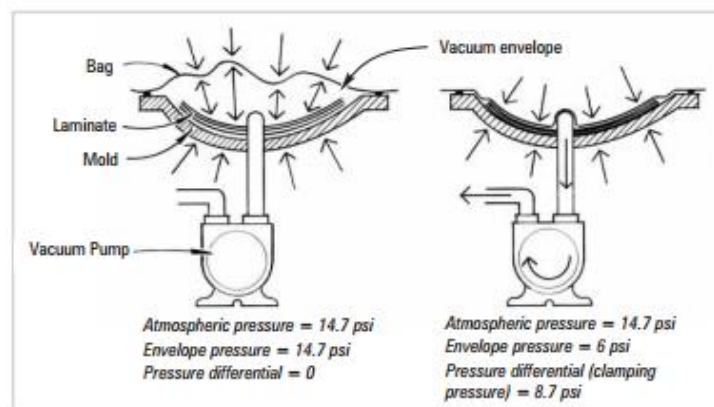


FIGURA 9. Conformado por Bolsas de Vacío

Fuente: [17]

4.1.2 RECUBRIMIENTOS A UTILIZAR

4.1.2.1 Pintura Poliuretánica de Aviación SHERWIN WILLIAMS

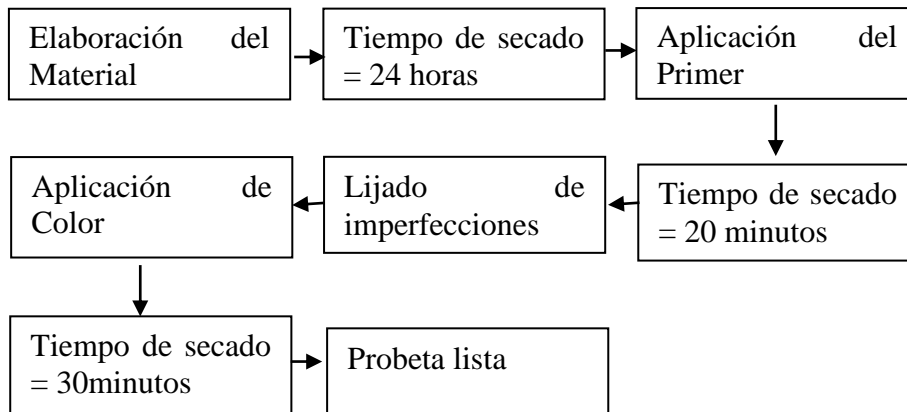
La pintura poliuretánica de aviación de la marca SHERWIN WILLIAMS, está entre las reconocidas a nivel nacional debido a que ofrece una amplia gama de colores y características aerodinámicas.

Tabla 8. Ficha Técnica Recubrimiento Sherwin Williams

Especificaciones Técnicas		
Propiedad	Unidades	Valores
Densidad	g/cm^3	1,16
Sólidos en peso	%	> 60
Sólidos en volumen	%	> 47,5
Propiedades Físicas (resistencia a)		
Luz		Excelente
Corrosión		Excelente
Abrasión		Excelente
Temperatura		Máximo 120 °C
Adherencia		100 %

Fuente: El autor

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para la conformación de probetas con el recubrimiento SHERWIN WILLIAMS



4.1.2.2 Barniz

Es de base solvente, y es uno de los mejores recubrimientos para brindar protección así como también para la decoración de superficies al brindar un acabado de brillo. Este recubrimiento actúa de mejor manera cuando se encuentra en ambientes

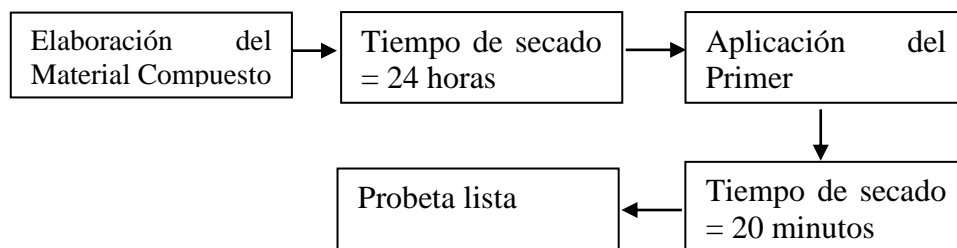
interiores que no estén expuestos directamente con la luz solar, humedad o a la abrasión.

Tabla 9. Ficha Técnica Recubrimiento Barniz

Especificaciones Técnicas		
Propiedad	Unidades	Valores
Densidad	g/cm^3	1,16
Sólidos en peso	%	> 60
Sólidos en volumen	%	> 47,5
Propiedades Físicas (resistencia a)		
Luz		Excelente
Corrosión		Excelente
Abrasión		Excelente
Temperatura		Máximo 120 °C
Adherencia		100 %

Fuente: El autor

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para la conformación de probetas con el recubrimiento BARNIZ



4.1.2.3 Gel Coat

Es un material que se utiliza para brindar un acabado superficial de óptima calidad. Los gel coats son resinas que se depositan en los moldes en estado líquido, su curación se da a la forma de polímeros entrecruzados y, posteriormente, son cubiertos con matrices de polímeros compuestos, generalmente mezclas de resina de poliéster y fibra de vidrio o resina epoxi con fibra de vidrio o carbono.

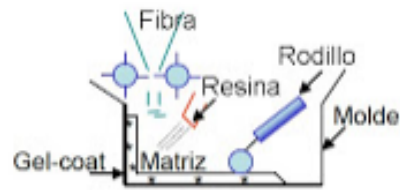


FIGURA 10. Capa de gel coat en moldeo por spray

Fuente: [18]

Los usos normales del gel coat en embarcaciones y aeronaves poseen una capa exterior del recubrimiento, normalmente de 0,5 mm a 0,8 mm, mientras que las pinturas convencionales tienen un espesor mucho más bajo. Las funciones que desempeña el gel coat son:

- Proteger el laminado contra la acción de la intemperie y la humedad.
- Proporcionar un acabado coloreado, liso y brillante a la superficie de la pieza.

El gel coat coloreado requiere menor cantidad de pigmento, que el utilizado por las pinturas, cubriendo la misma superficie y obteniendo el mismo color. Esto es una consecuencia directa de su mayor espesor comparado al de las pinturas [19].

Tabla 10. Ficha técnica Gel Coat Poliester

Características físicas del producto sin polimerizar		
Proporción de la mezcla	100% resina por 35% estireno	
Propiedad	Unidades	Valores
Densidad	g/cm^3	1,32
Viscosidad	c.p.s	10,000
Tiempo de trabajo	minutos	15 (2% MEK a 23°C)
Tiempo de curado	minutos	70 (2% MEK a 23°C)
Propiedades del material polimerizado (datos optativos)		
Propiedad	Unidades	Valores
Resistencia a la tracción	N/mm^2	45
Alargamiento a la rotura	%	3
Módulo de flexión	N/mm^2	4000

Fuente: El autor

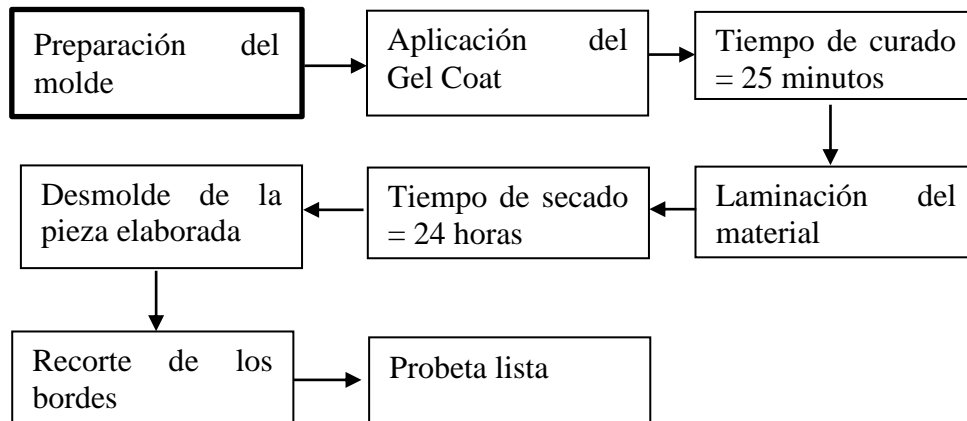
Una vez que se analizó y evaluó el recubrimiento Gel Coat Poliéster se procedió a la elaboración de las probetas con dicho material, se realizaron varias pruebas con diferentes variaciones entre las cuales se modificó la cantidad de endurecedor así como también el tiempo de curado antes de proceder a la laminación de la fibra de carbono. Estas modificaciones se dieron por motivo de que con las recomendaciones del fabricante no se logró la completa adhesión del recubrimiento sobre el material base. En el ANEXO A se detalla la cantidad utilizada así como los tiempos de curado previo al proceso de laminación con su respectivo resultado. En todos los casos no se logró con el resultado esperado, por tal motivo el recubrimiento Gel Coat Poliéster fue descartado automáticamente como una opción a considerar dentro de la presente investigación y no fue sometido a ninguno de los ensayos antes mencionados.

Tabla 11. Ficha técnica Gel Coat Epóxico

Características físicas del producto sin polimerizar		
Proporción de la mezcla	70 % resina por 30% endurecedor (en peso)	
Propiedad	Unidades	Valores
Viscosidad resina	c.p.s	700-1100
Viscosidad endurecedor	c.p.s	300-400
Tiempo de trabajo	minutos	25 (a 20°C)
Tiempo de curado	horas	24 (a 20°C)
Propiedades del material polimerizado (datos optativos)		
Propiedad	Unidades	Valores
Resistencia a la tracción	N/mm^2	50-55
Alargamiento a la rotura	%	6-7
Resistencia a la flexión	N/mm^2	70-80
E- Módulo	KN/mm^2	3

Fuente: Autor

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para la conformación de probetas con el recubrimiento GEL COAT



4.1.2.4 Gel Coat Fabricado

Resina Epoxi.- El tipo de resina epóxica que se ocupe interfiere directamente en el precio final del gel coat, por lo general se utilizan resinas rígidas y flexibles. Presentan una buena resistencia a la intemperie y ambientes moderadamente agresivos. En nuestro caso se utilizara la resina que se muestra en la siguiente imagen con su respectivo endurecedor. El uso del endurecedor se lo aplicará en proporciones que recomienda el fabricante a diferencia de la resina poliéster, el tiempo de curado se reduce a la mitad cada 10 grados de aumento de temperatura.

Pigmentos y Colorantes.- “Los pigmentos son partículas sólidas, insolubles en la resina y disolventes, mientras que los colorantes si son solubles en la resina y en sus disolventes. Los pigmentos proporcionan cobertura (es decir, opacidad) y coloración al gel coat, mientras que los colorantes, al ser solubles en la resina, no tienen poder cubriente y por ello no se usan en la formulación de gel coat.” El pigmento que se utilizara es el “óxido de titanio” el cual le brinda una coloración blanca y volumen y otro pigmento opcional utilizado será el denominado “negro de humo”, que es una pintura en polvo la cual solo se utilizará para brindar una coloración ploma, su aplicación no es importante ya que solo brinda color oscuro.

Cargas.- Se adicionan cargas minerales que a diferencia de los pigmentos estos no aportan color. Su aplicación es netamente para modificar o adicionar las propiedades del gel coat. Se utilizó el producto “Aerosil”, este material es el que le aporta viscosidad a la mezcla además de brindarle dureza, pero su principal objetivo es el de dar cuerpo al gel coat para evitar que se chorree o se derrame en la superficie al aplicar.

Formula de Gel Coat Fabricado

La ecuación 4.1 nos representa la fórmula para la elaboración de Gel Coat Fabricado, dicha fórmula se basa en el peso de la resina considerando la utilización de 100% en peso de la resina utilizada.

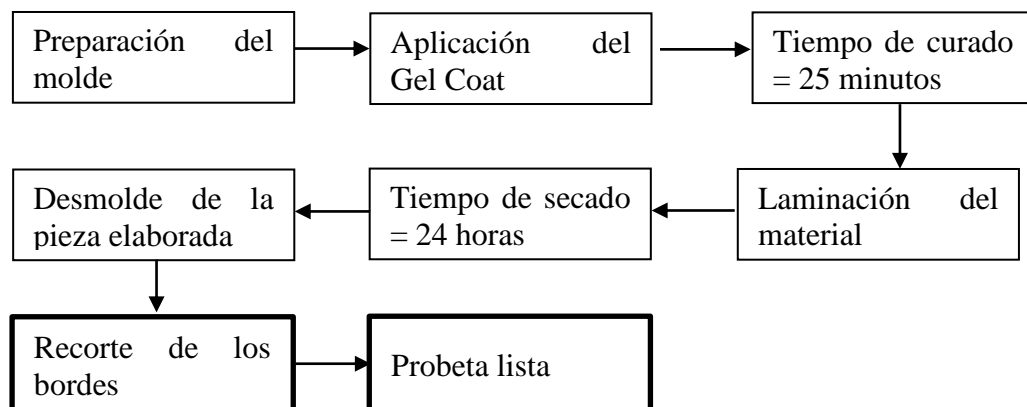
$$\text{Resina epoxi} + 30\% \text{ óxido de titanio} + 5\% \text{ Aerosil} = \text{Gel Coat Fabricado} \quad \text{Ec. 6}$$

Nota. Los porcentajes de los materiales utilizados se los han tomado de diversas fuentes bibliográficas, foros, blocs así como también de experiencia de personas con un amplio conocimiento sobre el tema. Presenta un error del 1% al 4% de cada dosis aplicada ya que en la elaboración, se adicionó material conforme se iba observando el comportamiento y la apariencia final de del gel coat.

Modo de preparación.

1. Usar un batidor especial tipo propela, que no genere demasiada burbuja al mezclar.
2. Añadir el óxido de titanio sobre la resina, poco a poco para evitar la formación de grumos.
3. Añadir el aerosil, de manera más lenta y cuidadosamente ya que este se aglutina con mayor facilidad.
4. Añadir el des burbujeante.
5. Batir hasta observar una mezcla homogénea sin la aparición de grumos.
6. Añadir el negro de humo a consideración hasta obtener el color deseado.

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para la conformación de probetas con el recubrimiento GEL COAT FABRICADO



4.1.3 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS

4.1.3.1 Espesor de Película

La cantidad de sustrato adicionada sobre el material base es directamente proporcional al peso final del material base, para nuestro caso la capa protectora de pintura influye directamente sobre el peso final de las aeronaves fabricadas con fibra de carbono + resina epoxi. La medición del espesor de película nos servirá para determinar si la capa protectora deseada se ha alcanzado con lo requerido por el fabricante.

Para obtener la lectura del espesor de película se realizó el estudio en el Laboratorio de Microscopia perteneciente al Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la Escuela Superior Politécnica del Ejército campus Sangolquí.



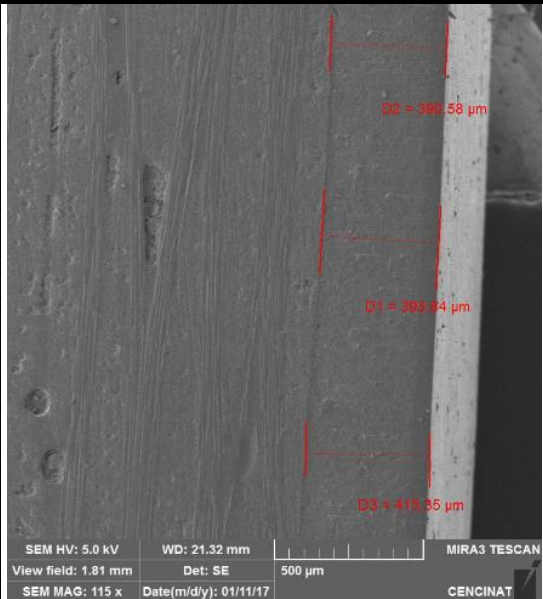
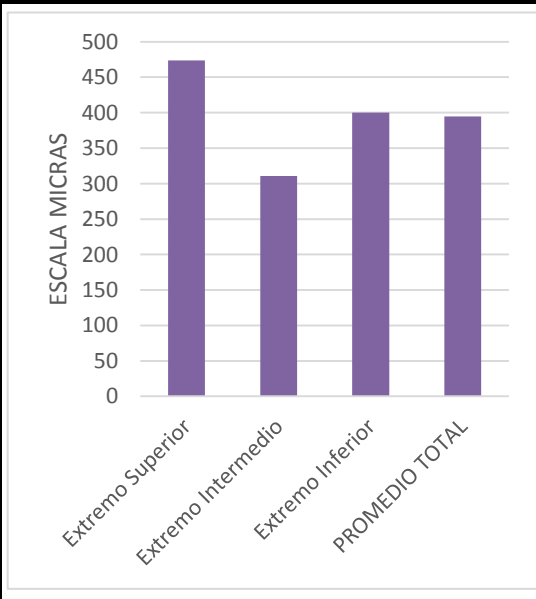
Para esta fase del proyecto de investigación se elaboraron probetas de fibra de carbono + resina epoxi a las cuales se les aplicó 4 recubrimientos de pintura diferentes (BARNIZ, GEL COAT POLIÉSTER, GEL COAT EPÓXICO, PINTURA SHERWIN WILLIAMS), cada probeta tiene un código el cual se detalla en la tabla 12.

Tabla 12. Codificación para ensayo de espesor de película



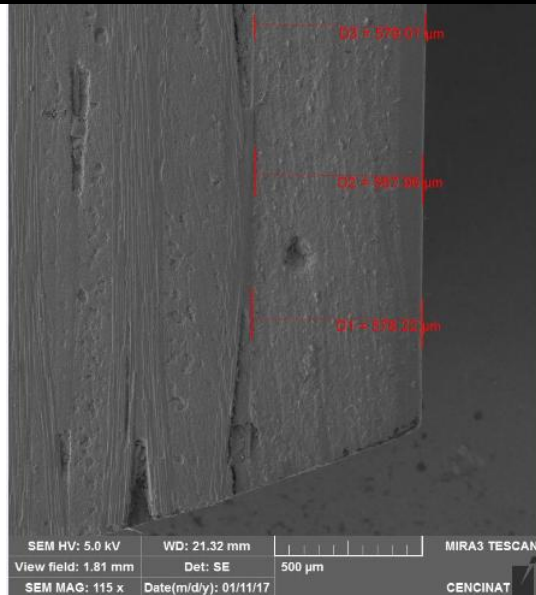
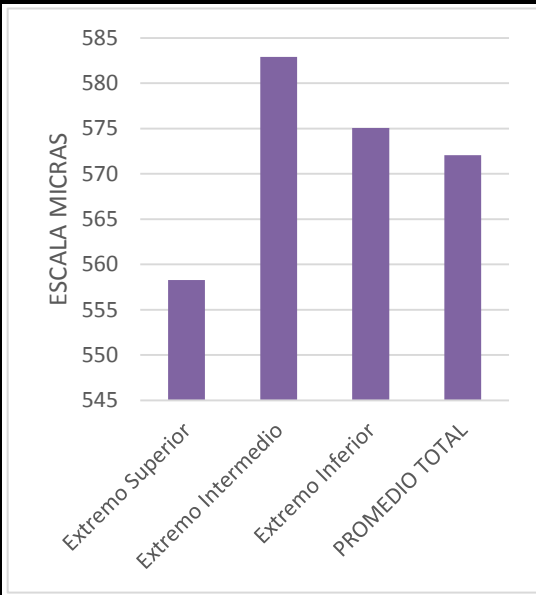
<i>PROBETAS PARA ENSAYOS</i>			
<i>Denominación Recubrimiento</i>	<i>Pintura</i>	<i>Denominación Ensayo</i>	<i>Código</i>
<i>P</i>	Sherwin Williams	E	PE
<i>B</i>	Barniz	E	BE
<i>G</i>	Gel Coat Epóxico	E	GE
<i>F</i>	Gel Coat Fabricado	E	FE

Fuente: El autor



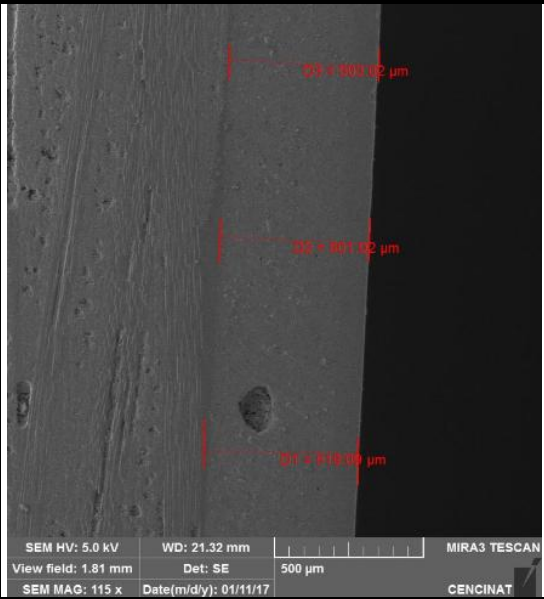
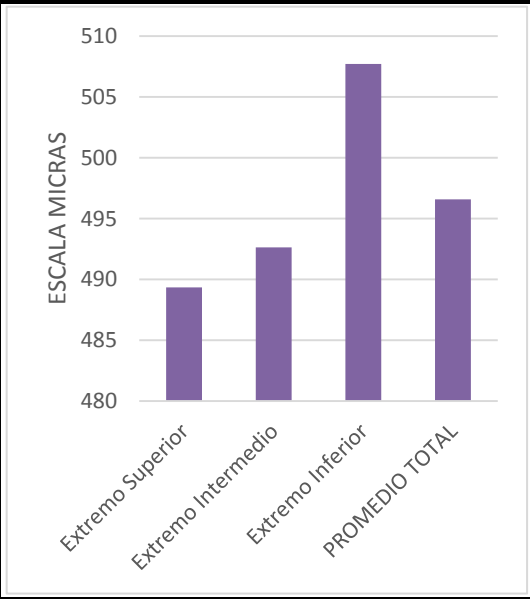
Ficha 1. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “SHERWIN WILLIAMS”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	PE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	SHERWIN WILLIAMS / PINTURA DE POLIURETANO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
PE 1	Extremo Superior	481,89	465,60	472,89	473,46
	Extremo Intermedio	286,88	321,95	322,81	310,54
	Extremo Inferior	393,84	390,58	415,35	399,92
	PROMEDIO TOTAL				394,64
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
Observaciones: En el extremo superior se presentó una mayor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	

Ficha 2. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “SHERWIN WILLIAMS”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	PE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	SHERWIN WILLIAMS / PINTURA DE POLIURETANO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
PE 2	Extremo Superior	550,93	550,32	573,52	558,25
	Extremo Intermedio	582,92	580,31	585,44	582,89
	Extremo Inferior	578,22	567,96	579,01	575,06
	PROMEDIO TOTAL				
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
Observaciones: En el extremo intermedio se presentó una mayor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



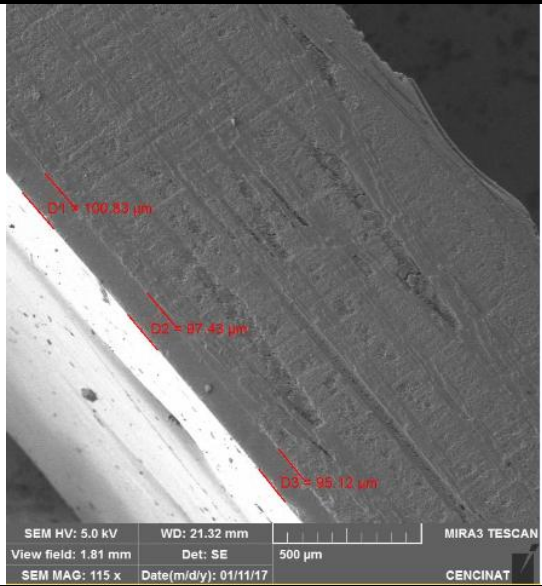
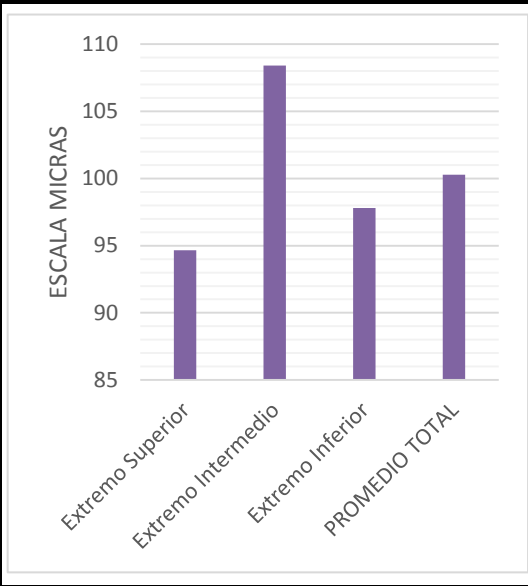
Ficha 3. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “SHERWIN WILLIAMS”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	PE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	SHERWIN WILLIAMS / PINTURA DE POLIURETANO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
PE 3	Extremo Superior	479,25	492,31	496,48	489,34
	Extremo Intermedio	491,25	500,20	486,46	492,63
	Extremo Inferior	519,09	501,02	503,02	507,71
	PROMEDIO TOTAL				496,56
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
Observaciones: En el extremo inferior se presentó una mayor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



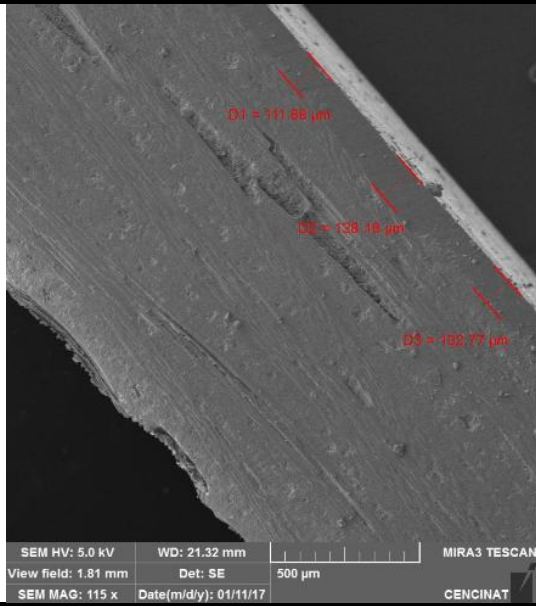
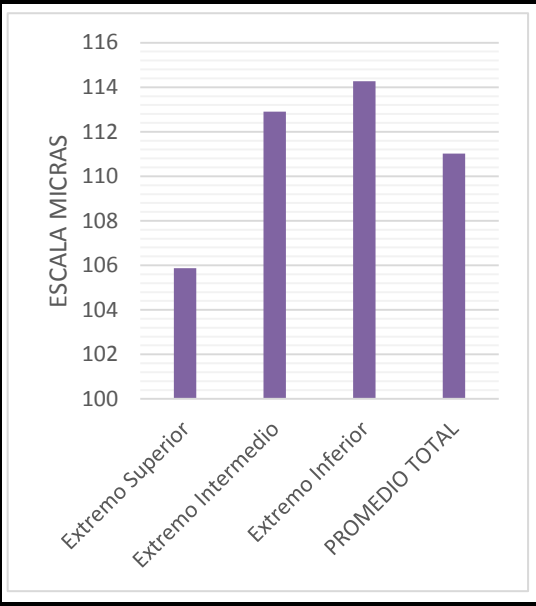
Ficha 4. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “BARNIZ”

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	BE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	BARNIZ				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
BE 1	Extremo Superior	100,90	101,58	92,37	98,28
	Extremo Intermedio	85,81	128,95	104,33	106,36
	Extremo Inferior	91,41	87,98	95,41	91,60
	PROMEDIO TOTAL				
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
Observaciones: En el extremo intermedio se presentó una mayor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



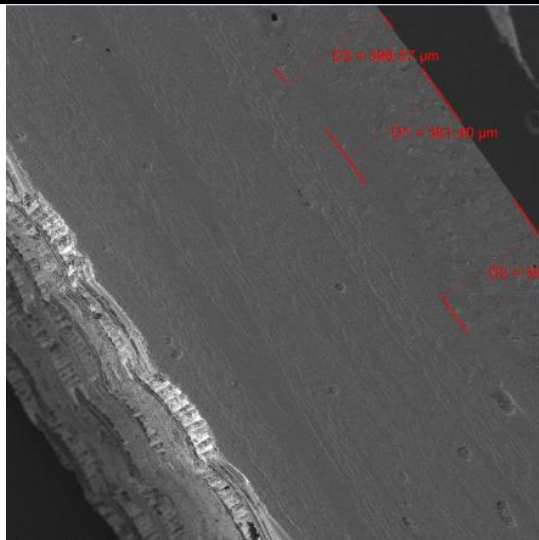
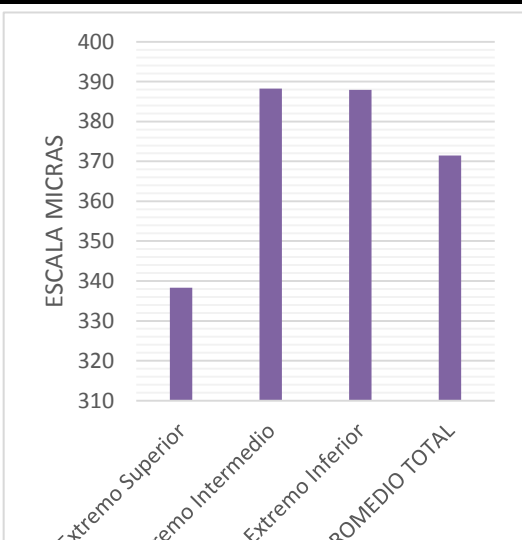
Ficha 5. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “BARNIZ”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	BE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	BARNIZ				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
BE 2	Extremo Superior	102,10	93,88	87,98	94,65
	Extremo Intermedio	95,36	134,85	95,01	108,40
	Extremo Inferior	100,83	97,43	95,12	97,79
	PROMEDIO TOTAL				
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
<p>Observaciones: En el extremo intermedio se presentó una mayor concentración del recubrimiento.</p>					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



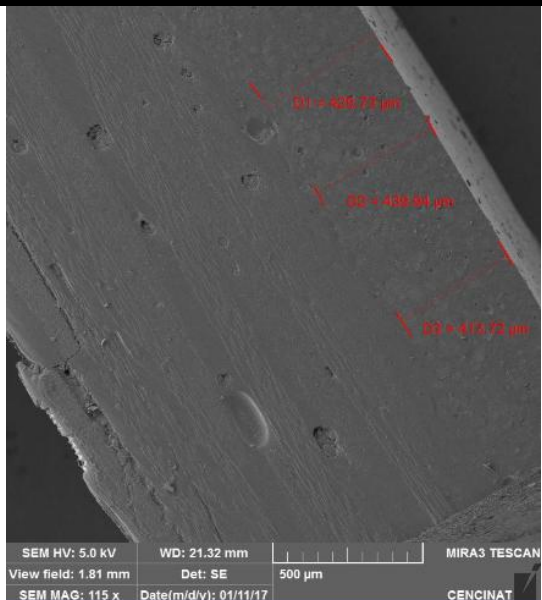
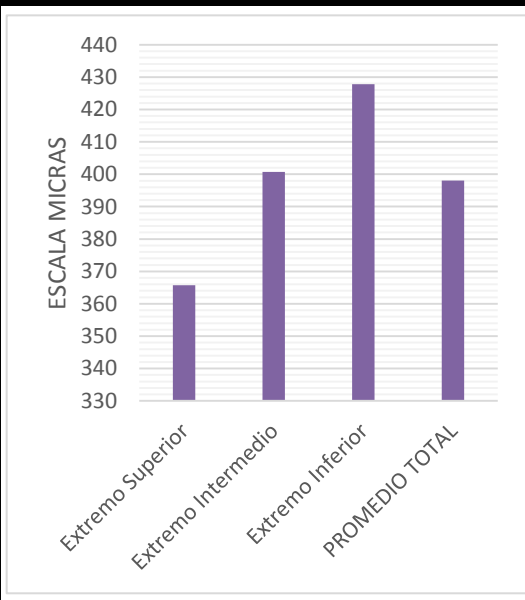
Ficha 6. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “BARNIZ”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	BE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	BARNIZ				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
BE 3	Extremo Superior	129,55	101,39	86,68	105,87
	Extremo Intermedio	123,53	103,06	112,13	112,90
	Extremo Inferior	111,88	128,16	102,77	114,27
	PROMEDIO TOTAL				
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
Observaciones: En el extremo superior se presentó la menor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



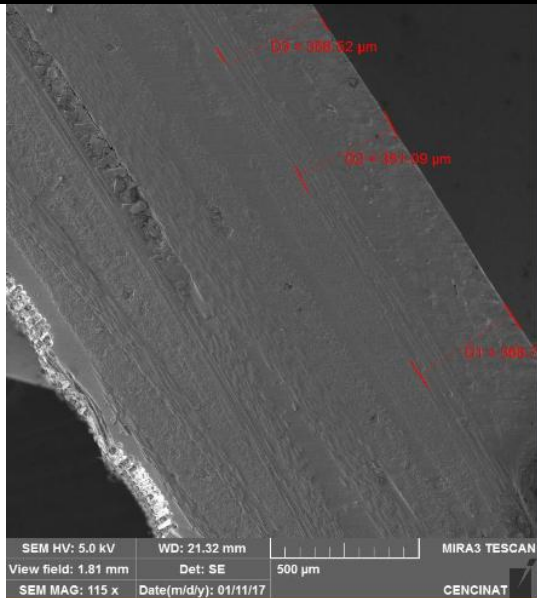
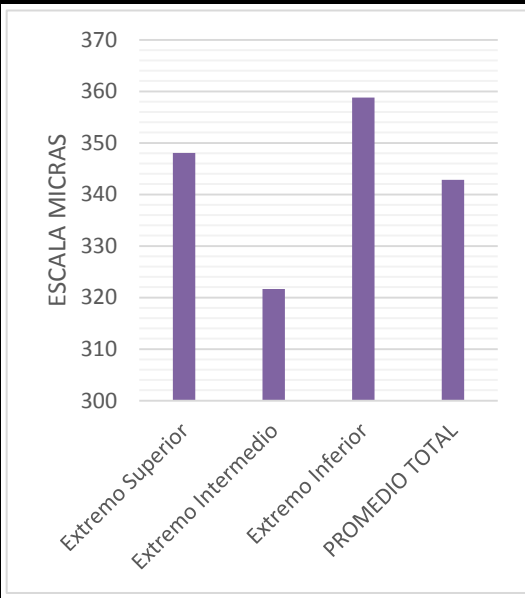
Ficha 7. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT EPÓXICO”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	GE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT EPÓXICO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
GE 1	Extremo Superior	340,16	347,46	327,25	338,29
	Extremo Intermedio	411,82	381,68	371,25	388,25
	Extremo Inferior	381,40	383,90	398,57	387,95
	PROMEDIO TOTAL				
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
<p>Observaciones: En el extremo superior se presentó la menor concentración del recubrimiento.</p>					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN 07/02/2017	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes		



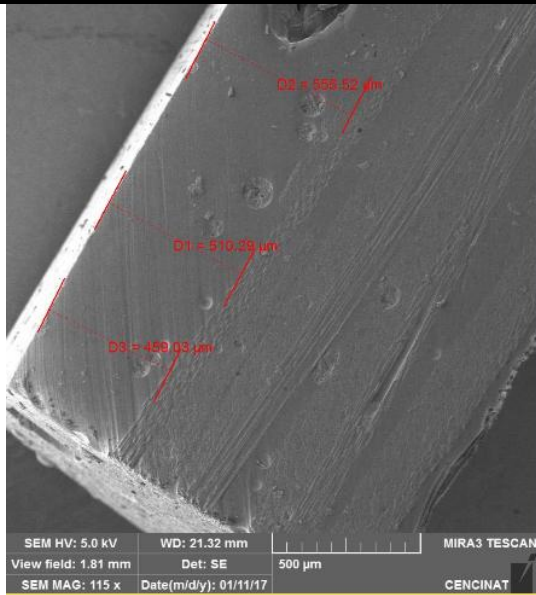
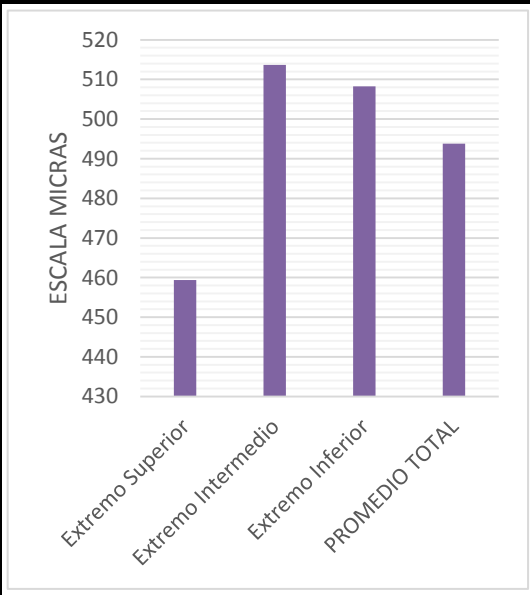
Ficha 8. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT EPÓXICO”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	GE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT EPÓXICO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
GE 2	Extremo Superior	375,77	356,79	364,61	365,72
	Extremo Intermedio	369,92	391,54	440,60	400,68
	Extremo Inferior	429,73	439,94	413,72	427,79
	PROMEDIO TOTAL				398,06
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
<p>Observaciones: En el extremo inferior se presentó la mayor concentración del recubrimiento.</p>					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



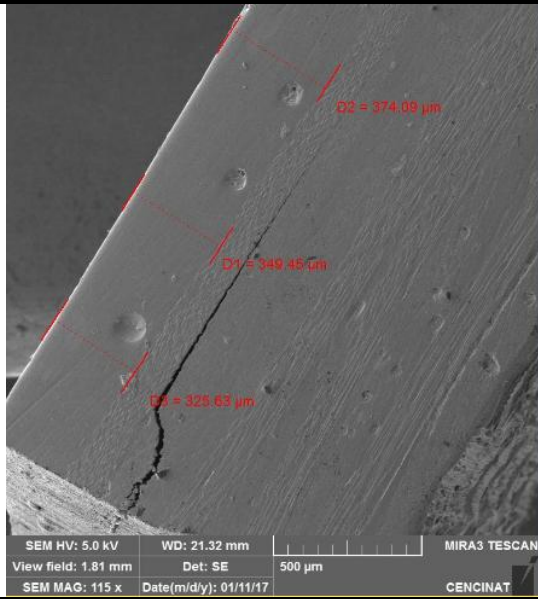
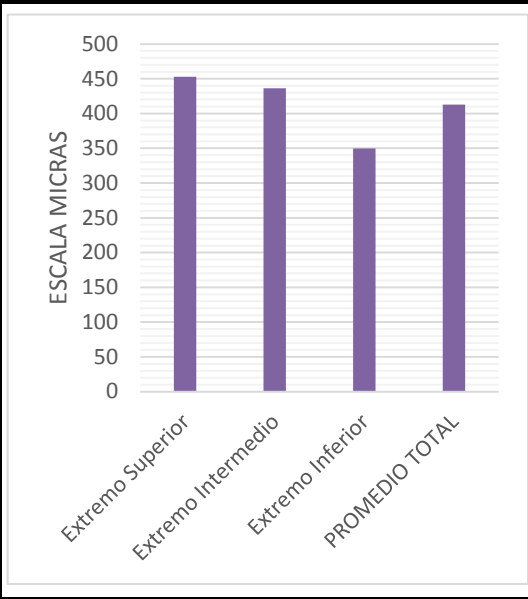
Ficha 9. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT EPÓXICO”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	GE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT EPÓXICO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
GE 3	Extremo Superior	337,85	337,99	368,28	348,04
	Extremo Intermedio	351,49	313,83	299,59	321,63
	Extremo Inferior	368,70	351,09	356,52	358,77
	PROMEDIO TOTAL				342,81
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
<p>Observaciones: En el extremo intermedio se presentó la menor concentración del recubrimiento.</p>					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



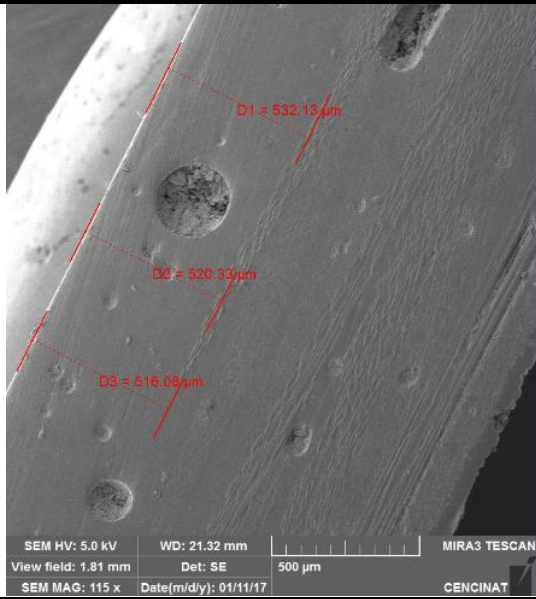
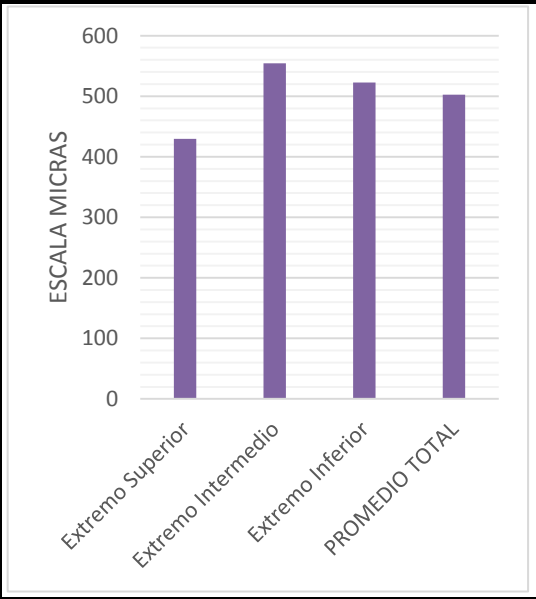
Ficha 10. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT FABRICADO”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	FE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT FABRICADO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
FE 1	Extremo Superior	450,87	449,59	477,68	459,38
	Extremo Intermedio	506,98	542,63	491,35	513,65
	Extremo Inferior	510,29	555,52	459,03	508,28
	PROMEDIO TOTAL				493,77
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
Observaciones: En el extremo superior se presentó la menor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ :	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	

Ficha 11. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT FABRICADO”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	FE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT FABRICADO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
FE 2	Extremo Superior	432,01	450,63	475,77	452,80
	Extremo Intermedio	454,98	438,86	415,21	436,35
	Extremo Inferior	349,45	374,09	325,63	349,72
	PROMEDIO TOTAL				412,95
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
Observaciones: En el extremo intermedio se presentó la menor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	

Ficha 12. Reporte de Ensayo de Espesor de Película “GEL COAT FABRICADO”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR DE PELÍCULA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	FE		
Fecha de Ejecución:	11/01/2017	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CENCINAT	Solicitado por:	CIDFAE – U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Microscopio Electrónico de Barrido				
Normas de Referencia:	-----				
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT FABRICADO				
REGISTRO DE MEDICIONES				UNIDADES	um (micras)
PROBETA	PARTE	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
FE 3	Extremo Superior	398,74	428,08	462,52	429,78
	Extremo Intermedio	531,68	555,16	576,77	554,53
	Extremo Inferior	532,13	520,33	516,08	522,84
	PROMEDIO TOTAL				502,38
FOTOGRAFÍA (EXTREMO INFERIOR)			RESULTADOS		
					
Observaciones: En el extremo superior se presentó la menor concentración del recubrimiento.					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	

4.1.3.2 Peso

El peso final que posee la aeronave después del proceso de pintura es de vital importancia por eso a cada probeta elaborada se sometió a este ensayo y en base al peso se tomó la decisión final una vez que se analizó el comportamiento de cada recubrimiento a cada uno de los diferentes ensayos analizados.

Para obtener la lectura del peso final de cada probeta, se realizó el estudio en una balanza digital del Taller de Materiales Compuestos, perteneciente al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana



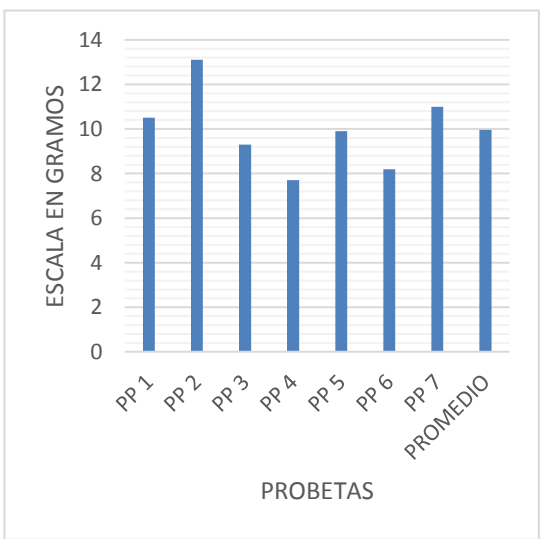

Para esta fase del proyecto de investigación se elaboraron probetas de fibra de carbono + resina epoxi a las cuales se les aplicó 4 recubrimientos de pintura diferentes (BARNIZ, GEL COAT POLIÉSTER, GEL COAT EPÓXICO, PINTURA SHERWIN WILLIAMS), cada probeta tiene un código el cual se detalla en la tabla 13.

Tabla 13. Codificación para ensayo de peso



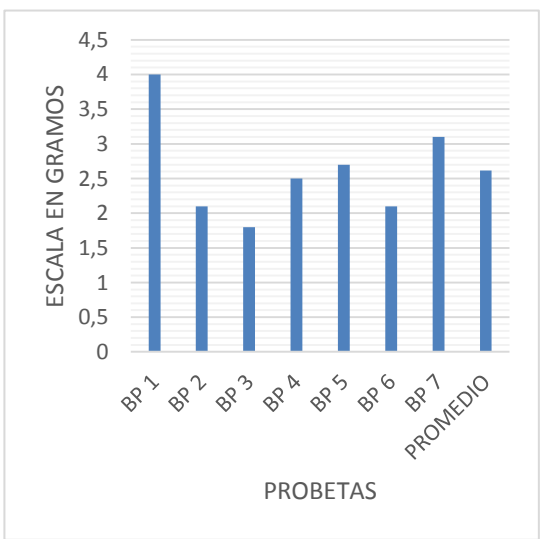

<i>PROBETAS PARA ENSAYOS</i>			
<i>Denominación Recubrimiento</i>	<i>Pintura</i>	<i>Denominación Ensayo</i>	<i>Código</i>
<i>P</i>	Sherwin Williams	P	PP
<i>B</i>	Barniz	P	BP
<i>G</i>	Gel Coat Epóxico	P	GP
<i>F</i>	Gel Coat Fabricado	P	FP

Fuente: El autor



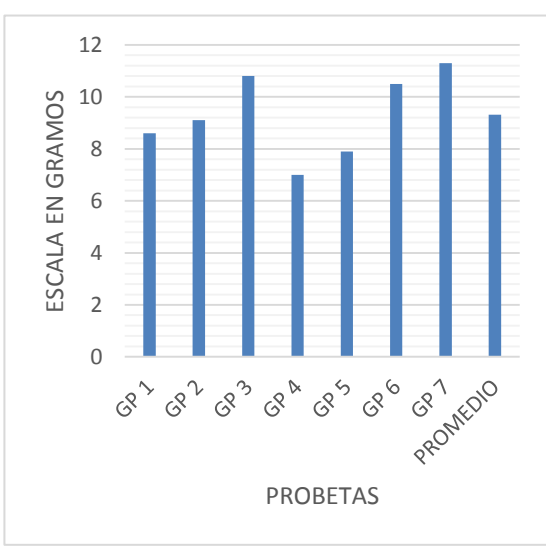

Ficha 13. Reporte de Ensayo de Peso “SHERWIN WILLIAMS”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE PESO					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	PP		
Fecha de Ejecución:	12/09/2016	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Balanza Digital				
Normas de Referencia:	N/A				
Recubrimiento evaluado:	SHERWIN WILLIAMS/ PINTURA POLIURETANO				
REGISTRO DE MEDICIONES				Unidades:	gr (gramos)
PROBETA	SIN RECUBRIMIENTO	CON RECUBRIMIENTO	AUMENTO	%	
PP 1	26,5	37,0	10,5	39,6	
PP 2	27,5	40,6	13,1	47,6	
PP 3	27,6	36,9	9,3	33,7	
PP 4	28,9	36,6	7,7	26,6	
PP 5	29,2	39,1	9,9	33,9	
PP 6	28,5	36,7	8,2	28,8	
PP 7	26,5	37,5	11,0	41,5	
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN				9,9	36,0
RESULTADOS			EQUIPO UTILIZADO		
					
<p>Observaciones: Una vez aplicado el recubrimiento SHERWIN WILLIAMS el aumento de peso en las probetas es de aproximadamente al 36 %, lo que equivale a aproximadamente 9,95 gr</p>					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	



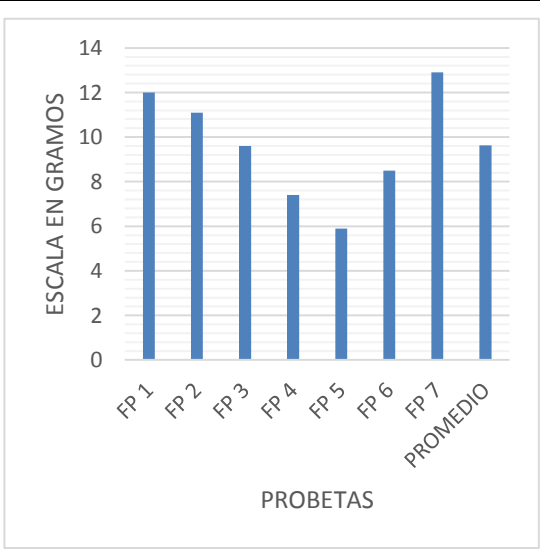

Ficha 14. Reporte de Ensayo de Peso “BARNIZ”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE PESO					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	BP		
Fecha de Ejecución:	16/09/2019	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Balanza Digital				
Normas de Referencia:	N/A				
Recubrimiento evaluado:	BARNIZ				
REGISTRO DE MEDICIONES				Unidades:	gr (gramos)
PROBETA	SIN RECUBRIMIENTO	CON RECUBRIMIENTO	AUMENTO	%	
BP 1	26,8	30,8	4	14,9	
BP 2	29,2	31,3	2,1	7,2	
BP 3	27,6	29,4	1,8	6,5	
BP 4	26,2	28,7	2,5	9,5	
BP 5	28,2	30,9	2,7	9,6	
BP 6	29,2	31,3	2,1	7,2	
BP 7	26,8	29,9	3,1	11,6	
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN				2,6	9,5
RESULTADOS			EQUIPO UTILIZADO		
					
<p>Observaciones: Una vez aplicado el recubrimiento SHERWIN WILLIAMS el aumento de peso en las probetas es de aproximadamente al 9,5 %, lo que equivale a aproximadamente 2,61 gr</p>					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	

Ficha 15. Reporte de Ensayo de Peso “GEL COAT EPÓXICO”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
REPORTE DE MEDICIÓN DE PESO			
DATOS GENERALES			
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	GP
Fecha de Ejecución:	09/11/2016	Reporte N°:	
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
PARÁMETROS PRINCIPALES			
Instrumento Utilizado:	Balanza Digital		
Normas de Referencia:	N/A		
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT EPÓXICO		
REGISTRO DE MEDICIONES		Unidades:	gr (gramos)
PROBETA	SIN RECUBRIMIENTO	CON RECUBRIMIENTO	AUMENTO
GP 1	25,7	34,3	8,6
GP 2	26,3	35,4	9,1
GP 3	27,1	37,9	10,8
GP 4	27,8	34,8	7,0
GP 5	28,7	36,6	7,9
GP 6	27,4	37,9	10,5
GP 7	25,8	37,1	11,3
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN			9,3
			34,7
RESULTADOS		EQUIPO UTILIZADO	
			
<p>Observaciones: Una vez aplicado el recubrimiento SHERWIN WILLIAMS el aumento de peso en las probetas es de aproximadamente al 34,7 %, lo que equivale a aproximadamente 9,31 gr</p>			
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes
			FECHA DE REVISIÓN 07/02/2017

Ficha 16. Reporte de Ensayo de Peso “GEL COAT FABRICADO”

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE PESO				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	FP	
Fecha de Ejecución:	11/11/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Balanza Digital			
Normas de Referencia:	N/A			
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT FABRICADO			
REGISTRO DE MEDICIONES		Unidades:	gr (gramos)	
PROBETA	SIN RECUBRIMIENTO	CON RECUBRIMIENTO	AUMENTO	%
FP 1	25,9	37,9	12,0	46,3
FP 2	26,1	37,2	11,1	42,5
FP 3	27,3	36,9	9,6	35,2
FP 4	27,5	34,9	7,4	26,9
FP 5	28,9	34,5	5,4	20,4
FP 6	27,3	35,8	8,5	31,1
FP 7	25,2	38,1	12,9	51,2
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN			9,6	36,2
RESULTADOS		EQUIPO UTILIZADO		
				
<p>Observaciones: Una vez aplicado el recubrimiento SHERWIN WILLIAMS el aumento de peso en las probetas es de aproximadamente al 36,2 %, lo que equivale a aproximadamente 9,62 gr</p>				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017

4.1.4 MEDICIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS

4.1.4.1 Adherencia

La fuerza con la que un recubrimiento se adhiere al material base, nos indica o nos brinda una percepción de como el revestimiento actuará a diversas condiciones o acciones a las que sea sometido.

Este ensayo se lo realizará mediante adhesión por cinta, el cual consiste en pegar un adhesivo especial durante aproximadamente 90 segundos al recubrimiento analizado, una vez transcurrido este tiempo se procede a desprenderla con fuerza. En caso de existir desprendimiento se determinara la dureza del recubrimiento en base a la norma especificada y al porcentaje de pintura desprendida.

Para obtener la lectura de adherencia de cada probeta se realizó el estudio en los Laboratorios de VERPAINTCORP CIA. LTDA.






Para esta fase del proyecto de investigación se elaboraron probetas de fibra de carbono + resina epoxi a las cuales se les aplicó 4 recubrimientos de pintura diferentes (BARNIZ, GEL COAT POLIÉSTER, GEL COAT EPÓXICO, PINTURA SHERWIN WILLIAMS), cada probeta tiene un código el cual se detalla en la tabla 14.

Tabla 14. Codificación para ensayo de adherencia

<i>PROBETAS PARA ENSAYOS</i>			
<i>Denominación Recubrimiento</i>	<i>Pintura</i>	<i>Denominación Ensayo</i>	<i>Código</i>
<i>P</i>	Sherwin Williams	A	PA
<i>B</i>	Barniz	A	BA
<i>G</i>	Gel Coat Epóxico	A	GA
<i>F</i>	Gel Coat Fabricado	A	FA

Fuente: El autor






Ficha 17. Reporte de Ensayo de Adherencia “SHERWIN WILLIAMS”

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ADHERENCIA POR CINTA				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	PA	
Fecha de Ejecución:	08/12/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	VERPAINTCORP CIA. LTDA.	Solicitado por:	U.T.A.	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Cortador de Trama Cruzada Elcometer			
Normas de Referencia:	ASTM D3359			
Recubrimiento evaluado:	SHERWIN WILLIAMS / PINTURA DE POLIURETANO			
Certificado de Calibración:	17563; escala 6 x 2 mm kit			
Serial:	N° PK17701			
REGISTRO DE MEDICIONES				
PROBETA	CARGA NORMAL	CLASIFICACIÓN	EQUIPO UTILIZADO	
PA 1	100	5B		
PA 2	100	5B		
PA 3	100	5B		
FOTOGRAFÍAS				
				
RESULTADOS				
PA 1	No se encontró desprendimiento alguno			
PA 2	No se encontró desprendimiento alguno			
PA 3	No se encontró desprendimiento alguno			
<p>Observaciones: Todas las probetas analizadas presentaron un comportamiento 5B (0% del área ha sido afectada)</p>				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017







Ficha 18. Reporte de Ensayo de Adherencia “BARNIZ”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ADHERENCIA POR CINTA					
DATOS GENERALES					
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	BA		
Fecha de Ejecución:	08/12/2016	Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	VERPAINTCORP CIA. LTDA.	Solicitado por:	U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES					
Instrumento Utilizado:	Cortador de Trama Cruzada Elcometer				
Normas de Referencia:	ASTM D3359				
Recubrimiento evaluado:	BARNIZ				
Certificado de Calibración:	17563; escala 6 x 2 mm kit				
Serial:	N° PK17701				
REGISTRO DE MEDICIONES					
PROBETA	CARGA NORMAL	CLASIFICACIÓN	EQUIPO UTILIZADO		
BA 1	100	5B			
BA 2	100	5B			
BA 3	100	5B			
FOTOGRAFÍAS					
					
RESULTADOS					
BA 1	No se encontró desprendimiento alguno				
BA 2	No se encontró desprendimiento alguno				
BA 3	No se encontró desprendimiento alguno				
<p>Observaciones: Todas las probetas analizadas presentaron un comportamiento 5B (0% del área ha sido afectada)</p>					
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN	
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017	

Ficha 19. Reporte de Ensayo de Adherencia “GEL COAT EPÓXICO”

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE ADHERENCIA POR CINTA				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	GA	
Fecha de Ejecución:	08/12/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	VERPAINTCORP CIA. LTDA.	Solicitado por:	U.T.A.	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Cortador de Trama Cruzada Elcometer			
Normas de Referencia:	ASTM D3359			
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT EPÓXICO			
Certificado de Calibración:	17563; escala 6 x 2 mm kit			
Serial:	N° PK17701			
REGISTRO DE MEDICIONES				
PROBETA	CARGA NORMAL	CLASIFICACIÓN	EQUIPO UTILIZADO	
GA 1	100	5B		
GA 2	100	5B		
GA 3	100	5B		
FOTOGRAFÍAS				
				
RESULTADOS				
GA 1	No se encontró desprendimiento alguno			
GA 2	No se encontró desprendimiento alguno			
GA 3	No se encontró desprendimiento alguno			
Observaciones: Todas las probetas analizadas presentaron un comportamiento 5B (0% del área ha sido afectada)				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017

Ficha 20. Reporte de Ensayo de Adherencia “GEL COAT FABRICADO”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 				
REPORTE DE MEDICIÓN DE ADHERENCIA POR CINTA				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	FA	
Fecha de Ejecución:	08/12/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	VERPAINTCORP CIA. LTDA.	Solicitado por:	U.T.A.	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Cortador de Trama Cruzada Elcometer			
Normas de Referencia:	ASTM D3359			
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT FABRICADO			
Certificado de Calibración:	17563; escala 6 x 2 mm kit			
Serial:	N° PK17701			
REGISTRO DE MEDICIONES				
PROBETA	CARGA NORMAL	CLASIFICACIÓN	EQUIPO UTILIZADO	
FA 1	100	5B		
FA 2	100	5B		
FA 3	100	5B		
FOTOGRAFÍAS				
  				
RESULTADOS				
FA 1	No se encontró desprendimiento alguno			
FA 2	No se encontró desprendimiento alguno			
FA 3	No se encontró desprendimiento alguno			
Observaciones: Todas las probetas analizadas presentaron un comportamiento 5B (0% del área ha sido afectada)				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017

4.1.4.2 Rugosidad

La rugosidad superficial nos permitirá determinar qué tan irregular es la superficie, evaluando este parámetro podremos identificar fácilmente cuál de todos los recubrimientos analizados presentara una mejor aerodinámica cuando la aeronave esté en vuelo.

Para obtener la lectura de la rugosidad superficial se realizó el estudio mediante el equipo “Rugosímetro 2000” perteneciente al Laboratorio de Metrología de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



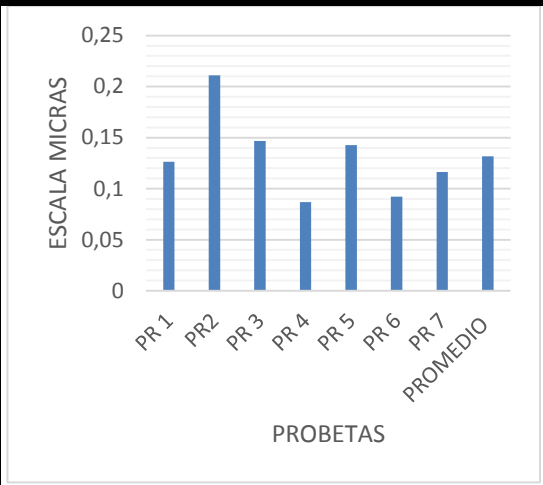

Para esta fase del proyecto de investigación se elaboraron probetas de fibra de carbono + resina epoxi a las cuales se les aplicó 4 recubrimientos de pintura diferentes (BARNIZ, GEL COAT POLIÉSTER, GEL COAT EPÓXICO, PINTURA SHERWIN WILLIAMS), cada probeta tiene un código el cual se detalla en la tabla 15.

Tabla 15. Codificación para ensayo de rugosidad



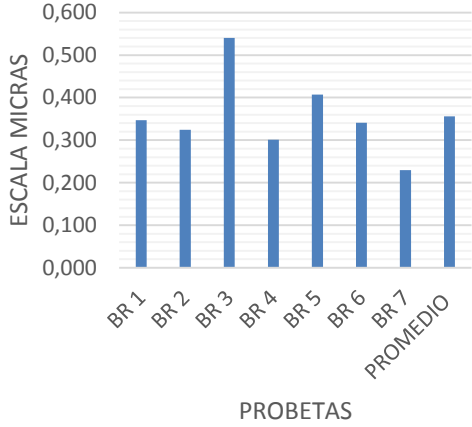
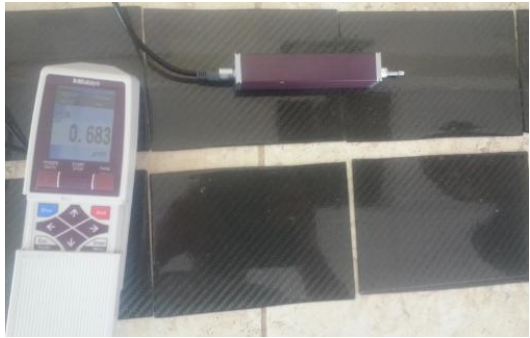
<i>PROBETAS PARA ENSAYOS</i>			
<i>Denominación Recubrimiento</i>	<i>Pintura</i>	<i>Denominación Ensayo</i>	<i>Código</i>
<i>P</i>	Sherwin Williams	R	PR
<i>B</i>	Barniz	R	BR
<i>G</i>	Gel Coat Epóxico	R	GR
<i>F</i>	Gel Coat Fabricado	R	FR

Fuente: El autor



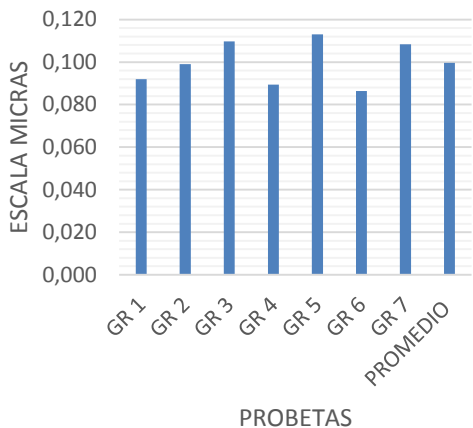

Ficha 21. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “SHERWIN WILLIAMS”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE MEDICIÓN RUGOSIDAD SUPERFICIAL				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	PR	
Fecha de Ejecución:	19/12/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Rugosímetro 2000			
Normas de Referencia:	N/A			
Recubrimiento evaluado:	SHERWIN WILLIAMS / PINTURA DE POLIURETANO			
REGISTRO DE MEDICIONES			Unidades:	um (micras)
PROBETA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PROMEDIO
PR 1	0,101	0,153	0,125	0,126
PR2	0,228	0,195	0,210	0,211
PR 3	0,174	0,105	0,161	0,147
PR 4	0,062	0,110	0,089	0,087
PR 5	0,188	0,095	0,145	0,143
PR 6	0,071	0,108	0,098	0,092
PR 7	0,154	0,093	0,102	0,116
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN				0,132
RESULTADOS			EQUIPO UTILIZADO	
				
<p>Observaciones: De acuerdo al promedio total de la medición, el estado superficial corresponde a un LAPEADO, lo que equivale a una clase de rugosidad N3</p>				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	



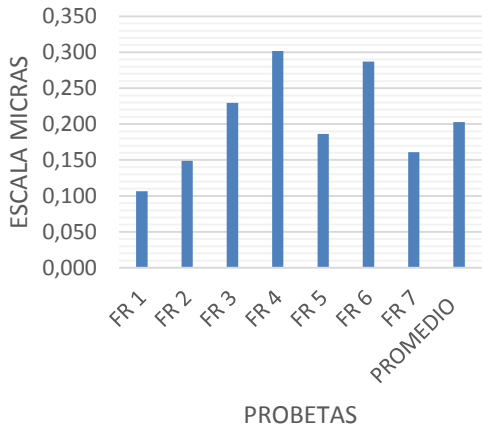

Ficha 22. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “BARNIZ”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE MEDICIÓN RUGOSIDAD SUPERFICIAL				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	BR	
Fecha de Ejecución:	19/12/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Rugosímetro 2000			
Normas de Referencia:	N/A			
Recubrimiento evaluado:	BARNIZ			
REGISTRO DE MEDICIONES			Unidades:	um (micras)
PROBETA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PROMEDIO
BR 1	0,425	0,312	0,303	0,347
BR 2	0,228	0,455	0,289	0,324
BR 3	0,683	0,436	0,502	0,540
BR 4	0,254	0,329	0,321	0,301
BR 5	0,534	0,429	0,258	0,407
BR 6	0,351	0,212	0,459	0,341
BR 7	0,151	0,209	0,328	0,229
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN				0,356
RESULTADOS			EQUIPO UTILIZADO	
				
<p>Observaciones: De acuerdo al promedio total de la medición, el estado superficial corresponde a un BRUÑIDO, lo que equivale a una clase de rugosidad N5</p>				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017

Ficha 23. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “GEL COAT EPÓXICO”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE MEDICIÓN RUGOSIDAD SUPERFICIAL				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	GR	
Fecha de Ejecución:	19/12/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Rugosímetro 2000			
Normas de Referencia:	N/A			
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT EPÓXICO			
REGISTRO DE MEDICIONES			Unidades: um (micras)	
PROBETA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PROMEDIO
GR 1	0,105	0,101	0,070	0,092
GR 2	0,119	0,080	0,098	0,099
GR 3	0,120	0,099	0,110	0,110
GR 4	0,070	0,112	0,086	0,089
GR 5	0,113	0,108	0,118	0,113
GR 6	0,107	0,056	0,096	0,086
GR 7	0,126	0,089	0,110	0,108
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN				0,100
RESULTADOS			EQUIPO UTILIZADO	
				
<p>Observaciones: De acuerdo al promedio total de la medición, el estado superficial corresponde a un SUPER ACABADO, lo que equivale a una clase de rugosidad N3</p>				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017

Ficha 24. Reporte de Ensayo de Rugosidad Superficial “GEL COAT FABRICADO”

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE MEDICIÓN RUGOSIDAD SUPERFICIAL				
DATOS GENERALES				
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono	Identificación:	FR	
Fecha de Ejecución:	19/12/2016	Reporte N°:		
Lugar de Ejecución:	CIDFAE	Solicitado por:	CIDFAE	
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
PARÁMETROS PRINCIPALES				
Instrumento Utilizado:	Rugosímetro 2000			
Normas de Referencia:	N/A			
Recubrimiento evaluado:	GEL COAT FABRICADO			
REGISTRO DE MEDICIONES		Unidades:	um (micras)	
PROBETA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PROMEDIO
FR 1	0,107	0,112	0,101	0,107
FR 2	0,135	0,108	0,203	0,149
FR 3	0,135	0,252	0,301	0,229
FR 4	0,352	0,301	0,252	0,302
FR 5	0,192	0,260	0,107	0,186
FR 6	0,201	0,310	0,350	0,287
FR 7	0,108	0,175	0,200	0,161
PROMEDIO TOTAL DE LA MEDICIÓN			0,203	
RESULTADOS		EQUIPO UTILIZADO		
				
<p>Observaciones: De acuerdo al promedio total de la medición, el estado superficial corresponde a un LAPEADO, lo que equivale a una clase de rugosidad N4</p>				
ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017

4.1.5 MEDICIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS

4.1.5.1 Envejecimiento Acelerado

Este ensayo se constituyó en tres partes, la primera consistió en medir brillo a las probetas elaboradas, dicho ensayo se lo elaboró en los Laboratorios de VERPAINTCORP CIA. LTDA. La segunda parte consistió en someter a las probetas a 200 horas dentro de una Cámara de Arco de Xenón perteneciente a los laboratorios del Centro de Investigación Aplicada a Polímeros, perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional. La tercera parte consistió en volver a medir el brillo a las probetas después de haberse sometido al envejecimiento acelerado en la cámara de arco de xenón, dicho ensayo se lo realizo con el brillómetro perteneciente a los Laboratorios de VERPAINTCORP CIA. LTDA.



Para esta fase del proyecto de investigación se elaboraron probetas de fibra de carbono + resina epoxi a las cuales se les aplicó 4 recubrimientos de pintura diferentes (BARNIZ, GEL COAT POLIÉSTER, GEL COAT EPÓXICO, PINTURA SHERWIN WILLIAMS), cada probeta tiene un código el cual se detalla en la tabla 16.

Tabla 16. Codificación para ensayo de envejecimiento acelerado

<i>PROBETAS PARA ENSAYOS</i>			
<i>Denominación Recubrimiento</i>	<i>Pintura</i>	<i>Denominación Ensayo</i>	<i>Código</i>
<i>P</i>	Sherwin Williams	D	PD
<i>B</i>	Barniz	D	BD
<i>G</i>	Gel Coat Epóxico	D	GD
<i>F</i>	Gel Coat Fabricado	D	FD

Fuente: El autor

Ficha 25. Reporte de Ensayo de Envejecimiento Acelerado “SHERWIN WILLIAMS/ BARNIZ/ GEL COAT EPÓXICO/ GEL COAT FABRICADO”

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 							
REPORTE DE MEDICIÓN DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO							
DATOS GENERALES							
Ítem a inspeccionar:	Probetas fibra de carbono			Identificación:	----		
Fecha de Ejecución:	08/12/2016			Reporte N°:			
Lugar de Ejecución:	VERPAINTCORP CIA. LTDA./ CIAP			Solicitado por:	U.T.A.		
Elaborado por:	Richard Gustavo Mayorga Ch.			Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
PARÁMETROS PRINCIPALES							
Instrumento Utilizado:	CAMARA DE XENÓN			Instrumento de medición:	BRILLÓMETRO		
Normas de Referencia:	ASTM G155			Normas de Referencia:	ASTM D523		
	Unidades			Unidades de Brillo	(GU) Gloss Units		
REGISTRO DE MEDICIONES RECUBRIMIENTO SHERWIN WILLIAMS (GU)							
Lecturas:	ANTES DEL ENVEJECIMIENTO			DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO			
PROBETA	< 80°	< 60°	< 20°	< 80°	< 60°	< 20°	VARIACIÓN
PD1-PD2	23,5	55,2	71,3	12,9	44,2	65,7	19,93 %
PD3-PD4	24,4	56,3	70,5	13,2	45,3	65,3	19,54 %
PD5-PD6	23,1	56,5	70,6	13,0	40,5	65,6	28,32 %
Observación: Se obtuvo una variación promedio del 22,60 % en todas las probetas ensayadas							
REGISTRO DE MEDICIONES RECUBRIMIENTO BARNIZ (GU)							
	ANTES DEL ENVEJECIMIENTO			DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO			
PROBETA	< 80°	< 60°	< 20°	< 80°	< 60°	< 20°	VARIACIÓN
BD1-BD2	24,1	63,2	82,7	9,0	46,0	76,1	27,22 %
BD3-BD4	23,5	62,5	81,9	9,8	46,8	74,7	25,12 %
BD5-BD6	23,7	62,2	82,3	9,2	46,6	76,0	25,08 %
Observación: Se obtuvo una variación promedio del 25,81 % en todas las probetas ensayadas							
REGISTRO DE MEDICIONES RECUBRIMIENTO GEL COAT EPÓXICO (GU)							
Lecturas:	ANTES DEL ENVEJECIMIENTO			DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO			
PROBETA	< 80°	< 60°	< 20°	< 80°	< 60°	< 20°	VARIACIÓN
GD1-GD2	30,6	67,8	90,3	26,6	59,3	86,8	12,54 %
GD3-GD4	30,4	68,3	68,1	25,1	58,7	85,3	14,06 %
GD5-GD6	30,8	68,1	89,9	25,2	58,0	86,2	14,83 %

Observación: Se obtuvo una variación promedio del 13,81 % en todas las probetas ensayadas

REGISTRO DE MEDICIONES RECUBRIMIENTO GEL COAT FABRICADO (GU)

Lecturas:	ANTES DEL ENVEJECIMIENTO			DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO			VARIACIÓN
	< 80°	< 60°	< 20°	< 80°	< 60°	< 20°	
FD1-FD2	15,4	32,9	76,5	10,1	20,9	58,3	36,4 %
FD3-FD4	14,5	33,9	76,6	9,9	21,2	20,5	37,4 %
FD5-FD6	15,7	33,1	76,3	10,7	20,5	49,9	38,0 %

Observación: Se obtuvo una variación promedio del 37,33 % en todas las probetas ensayadas

OBSERVACIÓN GENERAL: Todas las variaciones analizadas se los realizaron con la medida del ángulo 60°, la recomendación del fabricante es realizar todas las medidas con el ángulo universal de 60°, si con este ángulo se obtiene una medida de 0 – 10 GU se considera de brillo bajo y se considerara la medida con 80°. Si con el ángulo universal se obtiene una medida entre 70 – 100 GU, se considera de brillo alto y se considerara la medida con 20°

EQUIPO DE ENVEJECIMIENTO



EQUIPO DE MEDICIÓN



ELABORADO POR:	Richard Mayorga	VERIFICÓ:	Ing.Mg. Juan Paredes	FECHA DE REVISIÓN
REVISÓ:	Richard Mayorga	VALIDÓ	Ing.Mg. Juan Paredes	07/02/2017

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS

4.2.1.1 Espesor de Película

Tabla 17. Interpretación de Resultados Espesor de Película

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ESPESOR DE PELÍCULA							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	resultado (um)	código	resultado (um)	código	resultado (um)	código	resultado (um)
PE 1	394,64	BE 1	98,28	GE 1	371,49	FE 1	493,77
PE 2	572,07	BE 2	100,28	GE 2	398,06	FE 2	412,95
PE 3	496,56	BE 3	111,01	GE 3	342,81	FE 3	502,38
Promedio	487,76	Promedio	103,19	Promedio	370,79	Promedio	469,70
Desv. Estándar	89,04	Desv. Estándar	6,84	Desv. Estándar	27,63	Desv. Estándar	49,33

Fuente: El autor

En la Tabla 17, se puede apreciar mediante la desviación estándar, que las probetas aplicadas con el recubrimiento de pintura **BARNIZ** sobre el material compuesto Fibra de Carbono + Resina Epoxi, tiene menos variabilidad con respecto a las probetas aplicadas con los demás recubrimientos. A continuación se compara el promedio de medición de espesores de película con el espesor recomendado por el proveedor de cada proceso de pintura respectivamente.

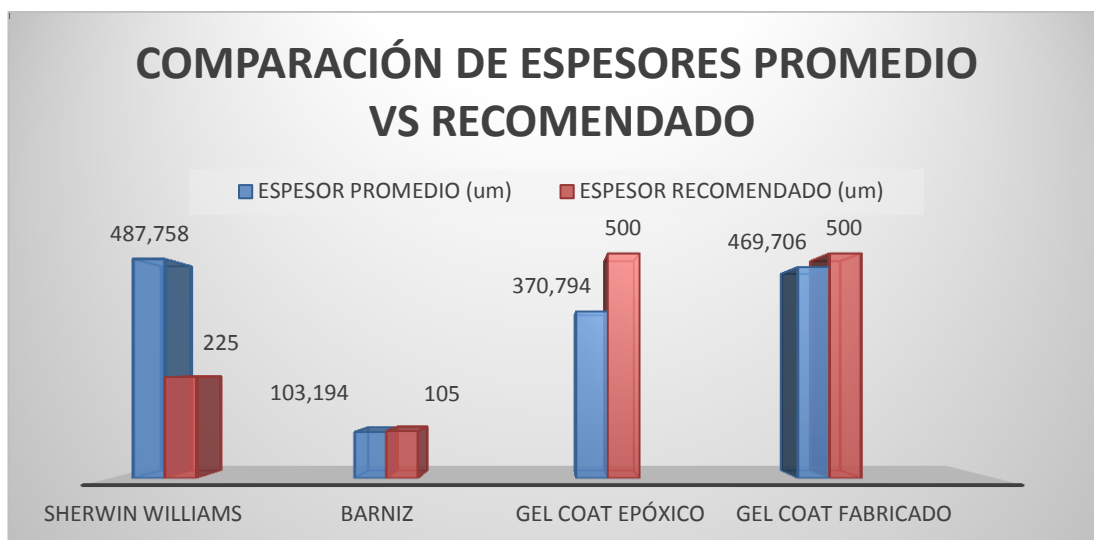


FIGURA 11. Representación Gráfica de los Resultados de Espesor de Película. Comparación de Espesores Recomendado vs Promedio

Fuente: El autor

4.2.1.2 Peso

Tabla 18. Interpretación de Resultados Peso

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL PESO							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	aumento (gr)	código	aumento (gr)	código	aumento (gr)	código	aumento (gr)
PR 1	10,5	BR 1	4,0	GR 1	8,6	FR 1	12,0
PR 2	13,1	BR 2	2,1	GR 2	9,1	FR 2	11,1
PR 3	9,3	BR 3	1,8	GR 3	10,8	FR 3	9,6
PR 4	7,7	BR 4	2,5	GR 4	7	FR 4	7,4
PR 5	9,9	BR 5	2,7	GR 5	7,9	FR 5	5,9
PR 6	8,2	BR 6	2,1	GR 6	10,5	FR 6	8,5
PR 7	11,0	BR 7	3,1	GR 7	11,3	FR 7	12,9
Promedio	9,9	Promedio	2,6	Promedio	9,3	Promedio	9,6
Desv. Estándar	1,82	Desv. Estándar	0,7	Desv. Estándar	1,6	Desv. Estándar	2,5

Fuente: El autor

En la Tabla 18, se puede apreciar mediante la desviación estándar, que las probetas aplicadas con el recubrimiento de pintura **BARNIZ** sobre el material compuesto Fibra de Carbono + Resina Epoxi, tiene menos variabilidad con respecto a las probetas aplicadas con los demás recubrimientos. A continuación se compara el peso antes de aplicar el recubrimiento con el peso final de las probetas una vez aplicado el recubrimiento.

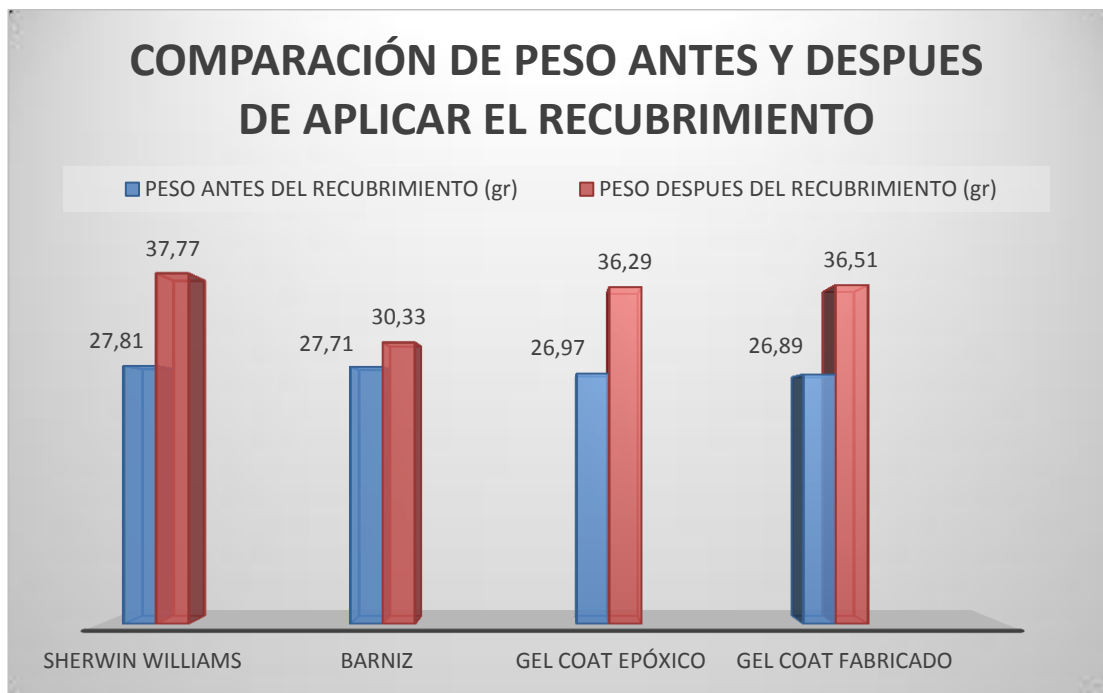


FIGURA 12. Representación Gráfica de los Resultados de Peso. Comparación de Peso Antes y después de Aplicar el Recubrimiento

Fuente: El autor

4.2.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS

4.2.2.1 Adherencia

Tabla 19. Interpretación de Resultados Adherencia por Cinta

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ADHERENCIA POR CINTA							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	resultado (C. N.)	código	resultado (C. N.)	código	resultado (C. N.)	código	resultado (C. N.)
PA 1	100	BA 1	100	GA 1	100	FA 1	100
PA 2	100	BA 2	100	GA 2	100	FA 2	100
PA 3	100	BA 3	100	GA 3	100	FA 3	100
Promedio	100	Promedio	100	Promedio	100	Promedio	100
Desv. Estándar	0,0	Desv. Estándar	0,0	Desv. Estándar	0,0	Desv. Estándar	0,0

Fuente: El autor

En la Tabla 19, se puede apreciar mediante la desviación estándar, que todas las probetas aplicadas con los cuatro tipos de recubrimientos diferentes presentan la misma desviación sobre el material compuesto Fibra de Carbono + Resina Epoxi. A continuación se compara la carga normal óptima con la carga normal del resultado obtenido después del estudio realizado en los diferentes recubrimientos.

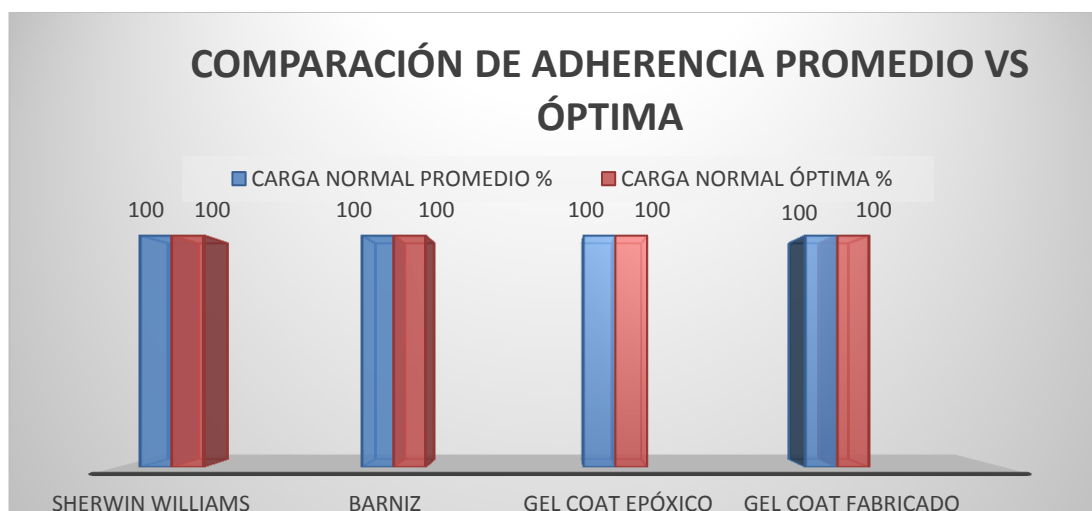


FIGURA 13. Representación Gráfica de los Resultados de Adherencia por Cinta. Comparación de Adherencia Promedio vs Óptima

Fuente: El autor

4.2.2.2 Rugosidad

Tabla 20. Interpretación de Resultados Rugosidad Superficial

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	resultado (um)	código	resultado (um)	código	resultado (um)	código	resultado (um)
PR 1	0,126	BR 1	0,347	GR 1	0,092	FR 1	0,107
PR 2	0,211	BR 2	0,324	GR 2	0,099	FR 2	0,149
PR 3	0,147	BR 3	0,540	GR 3	0,110	FR 3	0,229
PR 4	0,087	BR 4	0,301	GR 4	0,089	FR 4	0,302
PR 5	0,143	BR 5	0,407	GR 5	0,113	FR 5	0,186
PR 6	0,092	BR 6	0,341	GR 6	0,086	FR 6	0,287
PR 7	0,116	BR 7	0,229	GR 7	0,108	FR 7	0,161
Promedio	0,132	Promedio	0,356	Promedio	0,100	Promedio	0,203
LAPEADO	0,225	BRUÑIDO	0,450	SUP. ACABADO	0,125	LAPEADO	0,225
Desv. Estándar	0,040	Desv. Estándar	0,090	Desv. Estándar	0,010	Desv. Estándar	0,070

Fuente: El autor

En la Tabla 20, se observa mediante su desviación estándar, que las probetas aplicadas con el proceso de pintura **GEL COAT EPÓXICO** sobre el material compuesto Fibra de Carbono + Resina Epoxi, tiene menos variabilidad con respecto a las probetas aplicadas con los demás recubrimientos. A continuación se compara el valor de la rugosidad promedio con el valor de rugosidad media de tablas obtenido después del estudio realizado en los diferentes recubrimientos.

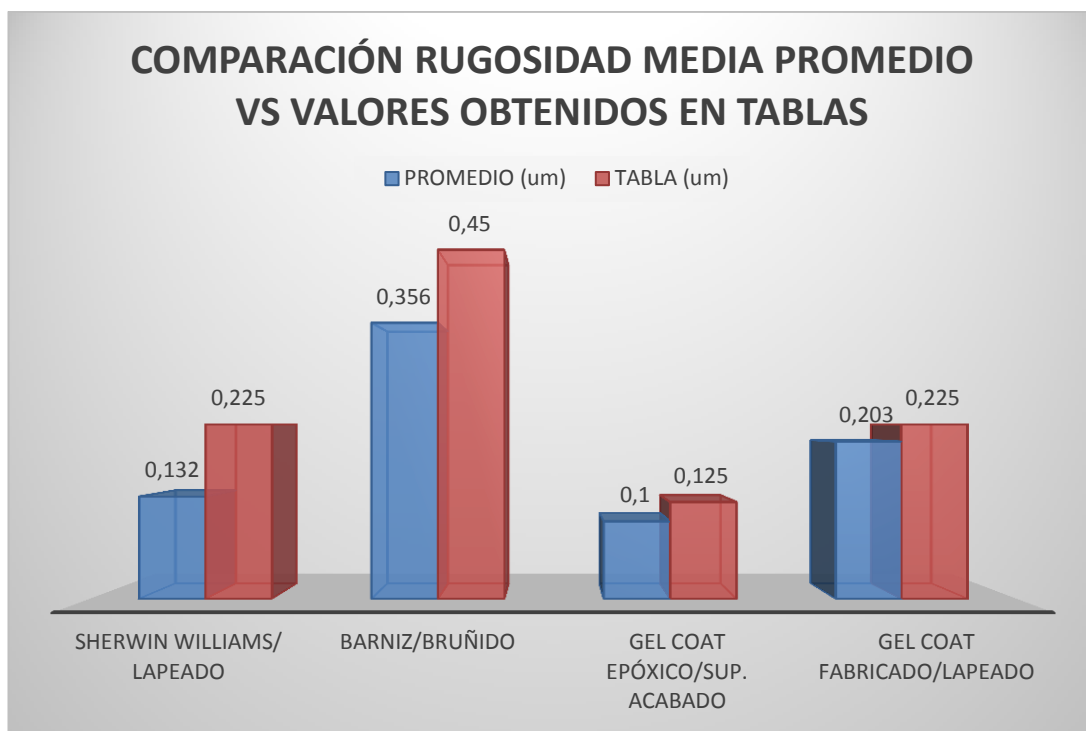


FIGURA 14. Representación Gráfica de los Resultados de Rugosidad Superficial. Comparación de Rugosidad Media Promedio vs Tabla

Fuente: El autor

4.2.3 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS

4.2.3.1 Envejecimiento Acelerado

Tabla 21. Interpretación de Resultados Envejecimiento Acelerado

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENVEJECIMIENTO ACCELERADO							
ANTES DEL ENVEJECIMIENTO							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	resultado (GU)	código	resultado (GU)	código	resultado (GU)	código	resultado (GU)
PD 1 – PD 2	55,2	BD 1 – BD 2	63,2	GD 1 – GD 2	67,8	FD 1 – FD 2	32,9
PD 3 – PD 4	56,3	BD 3 – BD 4	62,5	GD 3 – GD 4	68,3	FD 3 – FD 4	33,9
PD 5 – PD 6	56,5	BD 5 – BD 6	62,2	GD 5 – GD 6	68,1	FD 5 – FD 6	33,1
Promedio	56,0	Promedio	62,6	Promedio	68,0	Promedio	33,3

DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO							
código	resultado (GU)	código	resultado (GU)	código	resultado (GU)	código	resultado (GU)
PD 1 – PD 2	44,2	BD 1 – BD 2	46	GD 1 – GD 2	59,3	FD 1 – FD 2	20,9
PD 3 – PD 4	45,3	BD 3 – BD 4	46,8	GD 3 – GD 4	58,7	FD 3 – FD 4	21,2
PD 5 – PD 6	40,5	BD 5 – BD 6	46,6	GD 5 – GD 6	58,0	FD 5 – FD 6	20,5
Promedio	43,3	Promedio	46,4	Promedio	58,6	Promedio	20,8

Observación: Los valores GU son unidades de brillo

Fuente: El autor

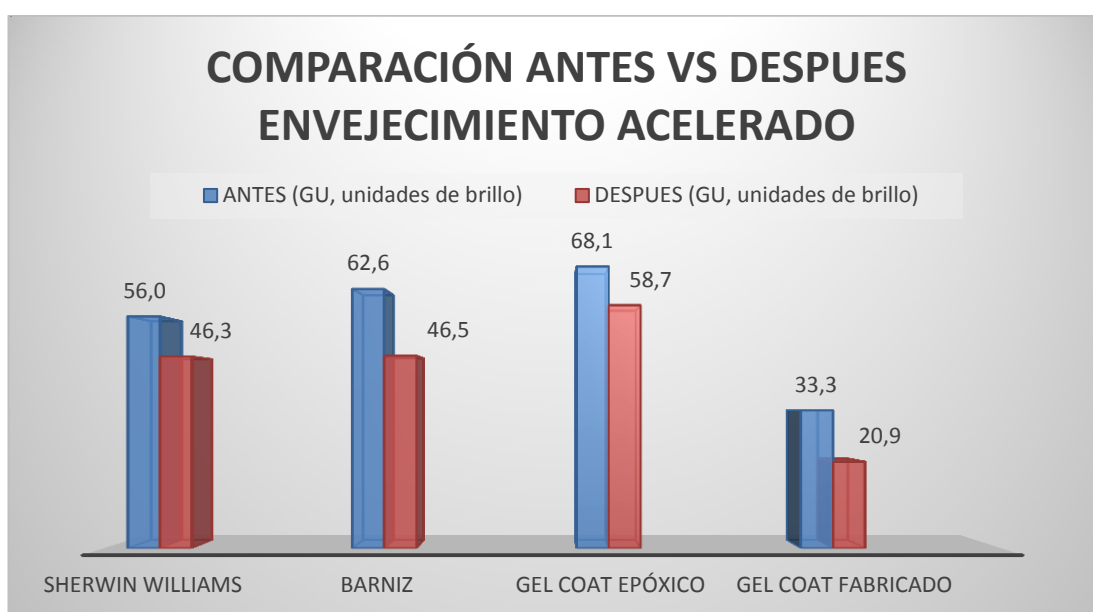


FIGURA 15. Representación Gráfica de los Resultados de Envejecimiento Acelerado. Comparación de Antes vs Después del Envejecimiento Acelerado

Fuente: El autor

En la Figura 15, se observa la comparación del valor del antes y después del envejecimiento acelerado que se obtuvo en nuestro estudio, observando así que el recubrimiento de pintura **GEL COAT EPÓXICO** obtuvo menor variación de brillo en las diferentes marcas de recubrimientos aplicados sobre el material compuesto Fibra de Carbono + Resina Epoxi, después de haber realizado el estudio de Envejecimiento Acelerado en la Cámara de Xenón en las diferentes probeta

Tabla 22. Evaluación y Ponderación de los Resultados Obtenidos

EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS												
Recubrimiento	Parámetros Físicos				Parámetros Mecánicos				Parámetros Térmicos			Acepta o No Acepta (sobre 10)
	Espesor de película	Dif.	Peso	Dif.	Adhesión	Dif.	Rugosidad	Dif.	Antes Envejecimiento	Después Envejecimiento	Dif.	
Barniz	103,19	384,57	2,61	7,15	100	0	0,35	0,22	62,63	46,46	16,17	6,4
Gel Coat Epóxico	370,79	116,97	9,31	0,45	100	0	0,10	0,03	68,07	58,66	9,41	8,4
Gel Coat Fabricado	469,70	18,06	9,62	0,14	100	0	0,20	0,07	33,3	20,86	12,44	5,4
Sherwin Williams (actual)	Promedio = 487,76 Desv. Estándar = 89,04		Promedio = 9,76 Desv. Estándar = 1,82		Promedio = 100 Desv. Estándar = 0,0		Promedio = 0,132 Desv. Estándar = 0,04		Promedio = 56 Desv. Estándar = 0,7		Promedio = 43,33 Desv. Estándar = 2,51	12,67
OBSERVACIONES												
<p>Parámetros de Aceptación o Rechazo Se aceptará de los cinco parámetros de evaluación, quien alcance el mayor promedio, respecto al puntaje de ponderación de igualdad o mejoramiento de la propiedad. PONDERACIÓN SOBRE 10: Relleno Rojo (valorado a 3) = Disminuyen características al recubrimiento actual. Resultado NO ACEPTABLE Relleno Anaranjado (valorado a 6) = Mismas características que el recubrimiento actual. Resultado MEDIANAMENTE ACEPTABLE Relleno Verde (valorado a 10) = Mejoran características al recubrimiento actual. Resultado ACEPTABLE</p>												

Fuente: El autor

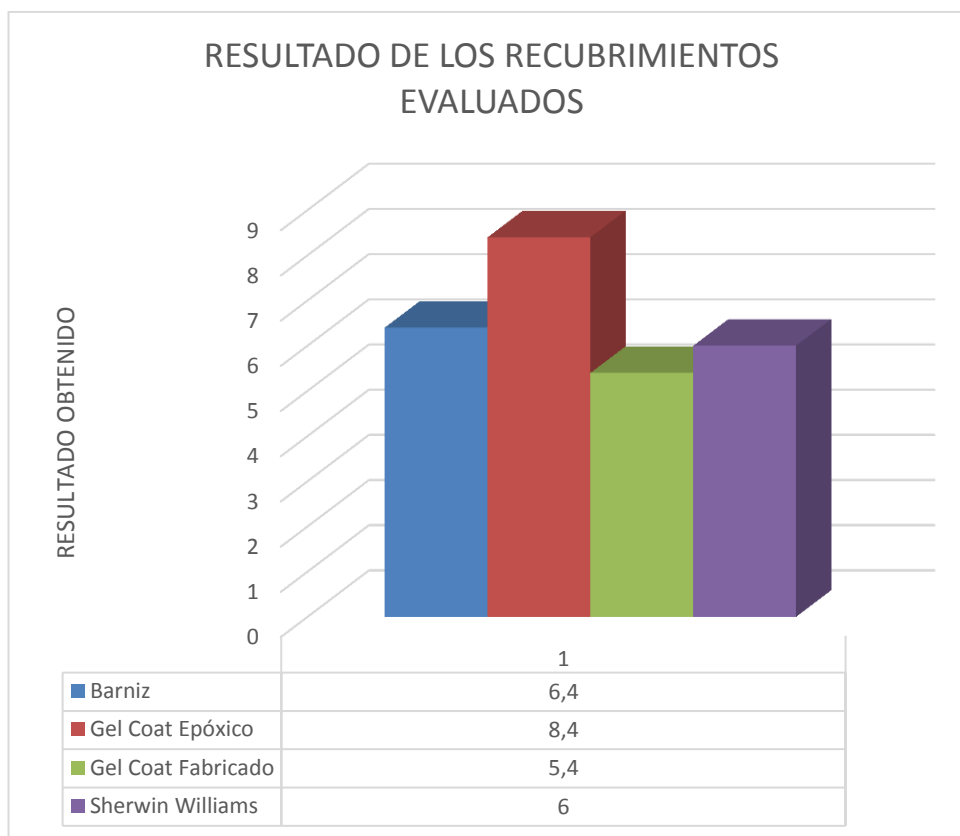


FIGURA 16. Representación En Barras De Los Resultados Obtenidos

Como se ha demostrado en la Figura 16, el recubrimiento con mayor puntuación y a su vez mejorará la calidad superficial de las aeronaves no tripuladas del CIDFAE es el recubrimiento GEL COAT EPÓXICO presentando los siguientes resultados en las probetas ensayadas: Espesor de película = 370,79 μm ; Peso = 9,31 gr; Adhesión = 100%; Rugosidad = 0,1 μm (súper acabado); Envejecimiento Acelerado = 58,66 GU (unidades de brillo)

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En la presente investigación, la hipótesis se la comprobó estadísticamente y de forma comparativa. El método estadístico utilizado es el denominado T-Student.

Ho (Hipótesis Nula)

El análisis de la aplicación de los diferentes tipos de recubrimientos no mejorará la calidad superficial de las aeronaves no tripuladas del CIDFAE.

Ha (Hipótesis Alterna)

El análisis de la aplicación de los diferentes tipos de recubrimientos mejorará la calidad superficial de las aeronaves no tripuladas del CIDFAE.

Comprobación

Para todos los casos analizados, la hipótesis se la comprobó con un ensayo bilateral es decir hacia los dos lados y además con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

En el Anexo B se detallan las fórmulas utilizadas para el método estadístico T-Student, así como también en el Anexo C se muestra la tabla de datos que se utiliza para determinar la t de tabla con los valores de probabilidad y grado de libertad calculados.

4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Espesor de Película Seca para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.

Tabla 23. Resultados Espesor de Película

TIPOS DE RECUBRIMIENTOS							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
probeta	resultado (um)	probeta	resultado (um)	probeta	resultado (um)	probeta	resultado (um)
PE 1	394,64	BE 1	98,28	GE 1	371,49	FE 1	493,77
PE 2	572,07	BE 2	100,28	GE 2	398,06	FE 2	412,95
PE 3	496,56	BE 3	111,01	GE 3	342,81	FE 3	502,38

Fuente: El autor

Tabla 24. Comprobación estadística del ensayo de Espesor de Película

CASO 1		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs BARNIZ		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	3
Grados de Libertad	Gl	2
Diferencia entre los datos	H	1153,690

Desviación	$S^2 d$	2564,853
t de tabla	t_{tab}	4,302
t calculada	t_{cal}	7,593
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis H_a y se rechaza H_o		
CASO 2		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	3
Grados de Libertad	Gl	2
Diferencia entre los datos	H	350,891
Desviación	$S^2 d$	2234,852
t de tabla	t_{tab}	4,302
t calculada	t_{cal}	2,474
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis H_o y se rechaza H_a		
CASO 3		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	3
Grados de Libertad	Gl	2
Diferencia entre los datos	H	54,156
Desviación	$S^2 d$	5699,927
t de tabla	t_{tab}	4,302
t calculada	t_{cal}	0,239
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis H_o y se rechaza H_a		
CASO 4		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	3
Grados de Libertad	Gl	2
Diferencia entre los datos	H	802,799
Desviación	$S^2 d$	370,742
t de tabla	t_{tab}	4,302
t calculada	t_{cal}	13,897
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis H_a y se rechaza H_o		

CASO 5		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	3
Grados de Libertad	Gl	2
Diferencia entre los datos	H	407347,700
Desviación	S^2d	726,00
t de tabla	t_{tab}	4,302
t calculada	t_{cal}	13,602
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis H_a y se rechaza H_0		
CASO 6		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS GEL COAT EPÓXICO vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	3
Grados de Libertad	Gl	2
Diferencia entre los datos	H	296,735
Desviación	S^2d	1880,857
t de tabla	t_{tab}	4,302
t calculada	t_{cal}	1,226
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis H_0 y se rechaza H_a		

Fuente: El autor

Tabla 25. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis de Espesor de Película

RESULTADOS VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS							
ESPESOR DE PELÍCULA							
RECUBRIMIENTO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	RESULTADO
SHERWIN WILLIAMS							
BARNIZ	√			√	√		√√√
GEL COAT EPÓXICO		√				√	√√
GEL COAT FABRICADO			√				√
Observaciones: De los recubrimientos analizados se determinó que BARNIZ , es el que presenta un menor espesor de película.							

Fuente: El autor

4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Peso para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.

Tabla 26. Resultados del Peso

TIPOS DE RECUBRIMIENTOS							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	aumento (gr)	código	aumento (gr)	código	aumento (gr)	código	aumento (gr)
PR 1	10,5	BR 1	4,0	GR 1	8,6	FR 1	12,0
PR 2	13,1	BR 2	2,1	GR 2	9,1	FR 2	11,1
PR 3	9,3	BR 3	1,8	GR 3	10,8	FR 3	9,6
PR 4	7,7	BR 4	2,5	GR 4	7,0	FR 4	7,4
PR 5	9,9	BR 5	2,7	GR 5	7,9	FR 5	5,9
PR 6	8,2	BR 6	2,1	GR 6	10,5	FR 6	8,5
PR 7	11,0	BR 7	3,1	GR 7	11,3	FR 7	12,9

Fuente: El autor

Tabla 27. Comprobación estadística del ensayo del Peso

CASO 1		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs BARNIZ		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	51,400
Desviación	S^2d	0,489
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	10,490
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 2		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	4,500

Desviación	S^2d	0,686
t de tabla	t_{tab}	2,446
t calculada	t_{cal}	0,776
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ho y se rechaza Ha		
CASO 3		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	2,3
Desviación	S^2d	0,604
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	0,423
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ho y se rechaza Ha		
CASO 4		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	46,900
Desviación	S^2d	0,524
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	9,253
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 5		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	49,1
Desviación	S^2d	0,778
t de tabla	t_{tab}	2,447

t calculada	t_{cal}	7,950
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 6		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS GEL COAT EPÓXICO vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	2,2
Desviación	S^2d	0,644
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	0,392
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ho y se rechaza Ha		

Fuente: El autor

Tabla 28. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis del Peso

RESULTADOS VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS							
PESO							
RECUBRIMIENTO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	RESULTADO
SHERWIN WILLIAMS							
BARNIZ	√			√	√		√√√
GEL COAT EPÓXICO		√				√	√√
GEL COAT FABRICADO			√				√
Observaciones: De los recubrimientos analizados se determinó que BARNIZ , es el que presenta un menor aumento de peso después de aplicar el recubrimiento.							

Fuente: El autor

4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Adhesividad para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.

Tabla 29. Resultados Adherencia por Cinta

TIPOS DE RECUBRIMIENTOS							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	resultado (C. N.)	código	resultado (C. N.)	código	resultado (C. N.)	código	resultado (C. N.)
PA 1	100	BA 1	100	GA 1	100	FA 1	100
PA 2	100	BA 2	100	GA 2	100	FA 2	100
PA 3	100	BA 3	100	GA 3	100	FA 3	100

Fuente: El autor

Al ser evaluados todos los recubrimientos, se determinó que todos responden de la misma manera al presentar los mismos resultados sin ninguna variación, por tal motivo no se puede realizar un estudio estadístico debido a que al ser los mismos valores a comparar se van a eliminar entre sí.

4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Rugosidad Superficial para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.

Tabla 30. Resultados Rugosidad Superficial

TIPOS DE RECUBRIMIENTOS							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	resultado (um)	código	resultado (um)	código	resultado (um)	código	resultado (um)
PR 1	0,126	BR 1	0,347	GR 1	0,092	FR 1	0,107
PR 2	0,211	BR 2	0,324	GR 2	0,099	FR 2	0,149
PR 3	0,147	BR 3	0,540	GR 3	0,110	FR 3	0,229
PR 4	0,087	BR 4	0,301	GR 4	0,089	FR 4	0,302
PR 5	0,143	BR 5	0,407	GR 5	0,113	FR 5	0,186
PR 6	0,092	BR 6	0,341	GR 6	0,086	FR 6	0,287
PR 7	0,116	BR 7	0,229	GR 7	0,108	FR 7	0,161

Fuente: El autor

Tabla 31. Comprobación estadística del ensayo de Rugosidad Superficial

CASO 1		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs BARNIZ		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	1,567
Desviación	S^2d	0,001
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	6,156
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 2		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	0,225
Desviación	S^2d	0,00021
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	2,215
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ho y se rechaza Ha		
CASO 3		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	0,499
Desviación	S^2d	0,002
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	1,833
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ho y se rechaza Ha		
CASO 4		

VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	1,792
Desviación	S^2d	0,001
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	7,217
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 5		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	1,068
Desviación	S^2d	0,002
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	3,532
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 6		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS GEL COAT EPÓXICO vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	7
Grados de Libertad	Gl	6
Diferencia entre los datos	H	0,724
Desviación	S^2d	0,0008
t de tabla	t_{tab}	2,447
t calculada	t_{cal}	3,537
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		

Fuente: El autor

Tabla 32. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis de Rugosidad Superficial

RESULTADOS VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS							
RUGOSIDAD SUPERFICIAL							
RECUBRIMIENTO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	RESULTADO
SHERWIN WILLIAMS	√		√				√√
BARNIZ							
GEL COAT EPÓXICO		√		√		√	√√√
GEL COAT FABRICADO					√		√

Observaciones: De los recubrimientos analizados se determinó que **GEL COAT EPÓXICO**, es el que presenta un mejor acabado superficial.

Fuente: El autor

4.3.1 Verificación de la hipótesis para el ensayo de Envejecimiento Acelerado para los recubrimientos SHERWIN WILLIAMS, BARNIZ, GEL COAT EPÓXICO, GEL COAT FABRICADO.

Tabla 33. Interpretación de Resultados Envejecimiento Acelerado

TIPOS DE RECUBRIMIENTOS							
SHERWIN WILLIAMS		BARNIZ		GEL COAT EPÓXICO		GEL COAT FABRICADO	
código	disminución (GU)	código	disminución (GU)	código	disminución (GU)	código	disminución (GU)
PD 1 -PD 2	11,0	BD 1 -BD 2	17,2	GD 1 -GD 2	8,5	FD 1 -FD 2	12
PD 3 -PD 4	11,0	BD 3 -BD 4	15,7	GD 3 -GD 4	9,6	FD 3 -FD 4	12,7
PD 5 -PD 6	16,0	BD 5 -BD 6	15,6	GD 5 -GD 6	10,1	FD 5 -FD 6	12,6

Observación: Los valores GU son unidades de brillo

Fuente: El autor

Tabla 34. Comprobación estadística del ensayo de Envejecimiento Acelerado

CASO 1		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs BARNIZ		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	6
Grados de Libertad	Gl	5
Diferencia entre los datos	H	
Desviación	S^2d	1,411
t de tabla	t_{tab}	2,571
t calculada	t_{cal}	2,947
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 2		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	6
Grados de Libertad	Gl	5
Diferencia entre los datos	H	9,8
Desviación	S^2d	0,900
t de tabla	t_{tab}	2,571
t calculada	t_{cal}	3,443
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 3		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS SHERWIN WILLIAMS vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	6
Grados de Libertad	Gl	5
Diferencia entre los datos	H	0,7
Desviación	S^2d	0,512
t de tabla	t_{tab}	2,571
t calculada	t_{cal}	0,326
Observaciones: Al ser la t calculada menor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ho y se rechaza Ha		
CASO 4		

VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT EPÓXICO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	6
Grados de Libertad	Gl	5
Diferencia entre los datos	H	20,3
Desviación	S^2d	2,482
t de tabla	t_{tab}	2,571
t calculada	t_{cal}	4,295
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 5		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS BARNIZ vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	6
Grados de Libertad	Gl	5
Diferencia entre los datos	H	11,200
Desviación	S^2d	0,804
t de tabla	t_{tab}	2,571
t calculada	t_{cal}	4,162
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		
CASO 6		
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS GEL COAT EPÓXICO vs GEL COAT FABRICADO		
Probabilidad	P	0,025
Número de muestras	n	6
Grados de Libertad	Gl	5
Diferencia entre los datos	H	9,100
Desviación	S^2d	0,477
t de tabla	t_{tab}	2,571
t calculada	t_{cal}	4,392
Observaciones: Al ser la t calculada mayor a la t de tabla, se acepta la hipótesis Ha y se rechaza Ho		

Fuente: El autor

Tabla 35. Calificación de Resultados de Verificación de Hipótesis de Envejecimiento Acelerado

RESULTADOS VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS							
ENVEJECIMIENTO ACELERADO							
RECUBRIMIENTO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	RESULTADO
SHERWIN WILLIAMS	√						√
BARNIZ							
GEL COAT EPÓXICO		√		√		√	√√√
GEL COAT FABRICADO			√		√		√√
Observaciones: De los recubrimientos analizados se determinó que GEL COAT EPÓXICO , es el que presenta una menor disminución de brillo después del ensayo de envejecimiento acelerado.							

Fuente: El autor

En la parte final de la presente investigación se determinó que la hipótesis que se estructuró para dicho estudio se comprobó estadísticamente y comparativamente, lo que nos ha servido para determinar que el recubrimiento **GEL COAT EPÓXICO**, es el que mejores resultados presentó en los diferentes estudios realizados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La razón de la no adhesión del Gel Coat Poliéster sobre el material base fue debido a que la composición química del recubrimiento, no es apta para trabajar con el material compuesto objeto de estudio ya que el gel coat evaluado está hecho a base de resina poliéster que en el momento de su aplicación libera gases propios de su configuración, dichos gases al estar en contacto con la resina epoxi no permiten que se adhieran entre sí formando así una capa entre recubrimiento y material base.
- El recubrimiento Gel Coat Fabricado no presentó las mismas cualidades y características que el recubrimiento Gel Coat Epóxico y por el contrario disminuyó las mismas mostrando un desempeño de baja calidad.
- La principal razón del bajo desempeño del Gel Coat Fabricado radicó en la falta de homogenización de sus componentes, dando como resultado grumosidad y porosidad que se pudo apreciar en las imágenes brindadas por el microscopio de barrido.
- En el ensayo de espesor de película se puede apreciar que cada recubrimiento posee su espesor característico, aunque se observó que el recubrimiento Barniz fue el de menos espesor con un valor promedio de 103,19 micras, pero al ser un recubrimiento transparente no brinda la protección requerida en las aeronaves.
- El porcentaje de aumento del peso de las probetas después del proceso de pintura no representó el porcentaje de aumento real del peso final de la aeronave objeto de estudio, esto se dio debido a que en el ensamble total de las partes que conforman el UAV GAVILÁN son más complejas y en ciertas uniones se necesita gran cantidad de masilla para cubrir imperfecciones o lograr la forma esperada, incrementando así el peso total de la aeronave.

- Según los criterios de aceptación de la norma ASTM D3359 método B, en el ensayo de adherencia por cinta, todos los recubrimientos evaluados presentan una excelente adhesión entre recubrimiento y material base con un 0% de desprendimiento en el área afectada, obteniendo una clasificación de dureza 5B.
- Gracias al ensayo de rugosidad superficial se palpó que el recubrimiento Gel Coat Epóxico presenta menor rugosidad superficial con un valor promedio de 0,1 micras lo que es considerado como Súper Acabado, dicha rugosidad superficial mejorará la aerodinámica de las aeronaves al presentar menos imperfecciones y reduciendo la posible turbulencia que puede sufrir las aeronaves en condiciones de vuelo.
- A pesar de ser el recubrimiento con menos peso el Barniz presentó la mayor rugosidad superficial entre todos los recubrimientos así como también fue el recubrimiento que tuvo mayor afectación en el ensayo de envejecimiento acelerado reduciendo un total de 16,17 unidades de brillo.
- Con el ensayo de envejecimiento acelerado se pudo observar que el recubrimiento Gel Coat Epóxico fue el recubrimiento con una menor disminución de brillo reduciendo un total de 9,41 unidades de brillo, mientras que los recubrimientos Gel Coat Fabricado y Sherwin Williams presentaron características similares reduciendo valores similares 12,44 y 12,67 respectivamente.
- Con los recubrimientos Gel Coats se pudo verificar que los tiempos de producción se disminuyen considerablemente debido a que por ser pinturas de pre impregnado, dichos recubrimientos se los aplica sobre los moldes y posteriormente se lamina sobre ellos y cuando las piezas fabricadas son desmoldadas estas ya salen pintadas listas para ser ensambladas.
- Al realizar una comparación entre los recubrimientos, concluimos que después de haber realizado los estudios para garantizar la calidad del acabado superficial de las superficies pintadas de las aeronaves no tripuladas fabricadas en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, la pintura Gel Coat

Epóxico responde a las exigencias necesarias con una completa gama de características y propiedades del sistema de acabado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es de vital importancia que, el personal a cargo sea capacitado periódicamente ya que de ellos depende la calidad del trabajo, para que se pueda cumplir con todas las exigencias del mercado garantizando así la calidad del mismo.
- El personal a cargo del proceso de pintado debe adquirir conocimientos para trabajar con la pintura de tipo Gel Coat, ya que al momento de la investigación dicho personal no poseía conocimiento alguno para trabajar con este tipo de recubrimiento, generando así varias dudas y preguntas sobre cómo usar este material.
- Para la utilización de Gel Coat, se debe realizar la preparación de la superficie tal como recomienda el fabricante ya que de ello depende la buena adhesión así como también el buen desprendimiento del molde para garantizar que todo el recubrimiento se desmolde correctamente y no se presenten agrietamientos y partes no adheridas entre el recubrimiento y el material base.
- La mezcla del Gel Coat y el catalizador debe ser la misma que recomienda el fabricante debido a que si esta no se mezcla correctamente se ve afectado el tiempo de gelación ya que este puede aumentar o disminuir considerablemente dando como resultado la mala adherencia entre el recubrimiento y el material base.
- Es necesario que se emplee un control de calidad desde el inicio hasta el final de todo el proceso ya que si el control de calidad se lo efectúa una vez culminado el trabajo no se puede saber con exactitud qué proceso es el que se lo está realizando de manera inadecuada, con esto se pretende ahorrar tiempo de producción y evitar futuras correcciones sobre las piezas elaboradas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] FUERZA AEREA ECUATORIANA, «fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec,» [En línea]. Available: http://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec/site/index.php?option=com_content&view=article&id=124&Itemid=493.
- [2] A. Agüero, «Ingeniería de superficies y su impacto medioambiental,» *REVISTA DE METALURGIA*, vol. 43, nº 1, p. 65, 2007.
- [3] J. OSEGUERA y O. SALAS, MATERIALES INTELIGENTES E INGENIERÍA DE SUPERFICIES, MONTERREY: TECNOLÓGICO DE MONTERREY.
- [4] C. Giudice y A. Pereyra, Tecnología de pinturas y recubrimientos, Buenos Aires: edUTecNe, 2009.
- [5] L. PAZ ENRIQUEZ, «FORMULACIÓN DE RECUBRIMIENTOS A PARTIR DE PARTÍCULAS INCORPORADAS A UN POLÍMERO TERMOESTABLE,» Quito, 2007.
- [6] NERVION, S.A. DE C.V., «NERVION Pinturas y Recubrimientos de Alto Desempeño,» [En línea]. Available: <http://www.nervion.com.mx/>. [Último acceso: 25 Agosto 2016].
- [7] M. UDAONDO DURÁN, Gestión de Calidad, Madrid: Diaz de Santos, 1992.
- [8] C. GIUDICE y A. PEREYRA, «Control de Calidad de Películas de Pinturas,» s.f.. [En línea]. Available:

<http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/calidad.pdf>. [Último acceso: 27 Agosto 2016].

- [9] A. Valencia Medina, «ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA PINTURA EPOXI POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A.,» Ambato, 2014.
- [10] J. Ordóñez Jiménez, «Aspectos clave en la estandarización del proceso de pintura,» *M y M*, n° 85, pp. 70 - 72, 2014.
- [11] Elcometer S.A., «Elcomer equipos de inspección,» *Catalogos Elcometer*, p. 207, 2013.
- [12] Universidad del País Vasco - Dpto de Ingeniería Mecánica, «Metrología del Acabado Superficial,» s. f. [En línea]. Available: http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/745_ca.pdf. [Último acceso: 15 Agosto 2016].
- [13] Universidad Nacional Mar del Plata, «Rugosidad Superficial,» s. f. . [En línea]. Available: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>. [Último acceso: 2 Septiembre 2016].
- [14] CIDFAE, «Proyecto AUV GAVILÁN III». Ecuador 2016.
- [15] M. Spiegel, *Schaum Estadística*, Madrid: McGRAW-HILL, 1997.
- [16] D. Bueno Sáenz, «La Fibra de Carbono,» S. F. [En línea]. Available: <http://documents.mx/documents/fibradecarbono-121201042608->

phpapp02.html. [Último acceso: 29 08 2016].

[17] WEST SYSTEM, «Vacuum Bagging Techniques,» vol. 7, nº 002-150, p. 1, 2010.

[18] Tecnología de los Plásticos S. A., «Gel Coat,» 10 11 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/gelcoat.html>. [Último acceso: 15 08 2016].

[19] Plástiquímica S.A, «Gel Coat,» S. F.. [En línea]. Available: http://www.plastiquimica.cl/pdf/Gel_Coat.pdf. [Último acceso: 16 8 2016].





ANEXOS

ANEXO A

ELABORACIÓN DE PROBETAS CON GEL COAT POLIESTER

RESULTADOS

Caso	Cantidad de Gel Coat	% en peso de catalizador		Tiempo de curado (min)	Observación	Aceptado/Rechazado
A	40 gr	2	0,8 gr	20	Se desmolda a las 24 horas de haber sido laminado, sin embargo el producto no presenta una adhesión con el material base	Rechazado
B	40 gr	2	0,8 gr	30	Se desmolda a las 24 horas de haber sido laminado, se presenta el mismo problema. A pesar de empezar la laminación cuando el recubrimiento estaba casi curado totalmente, no se presentó una adhesión al material base	Rechazado
C	40 gr	3	1,2 gr	15	Se desmolda a las 24 horas de haber sido laminado, el recubrimiento no se desmolda con facilidad del molde, entre las partes que se adhirieron al material base existe una capa entre el recubrimiento y el material base que no se a curado completamente	Rechazado
D	40 gr	3	1,2	15	Se desmolda a las 36 horas de haber sido laminado, el recubrimiento se desmolda completamente junto con el material base, sigue existiendo una capa entre el recubrimiento y el material base. Dicha capa no permite la adhesión completa entre recubrimiento y el material base razón por la cual se desprende fácilmente la pintura	Rechazado

Caso	Resultado
A	
B	
C	
D	

ANEXO B

Proceso y Fórmulas para el Cálculo Estadístico T - Student

- ✓ Se plantea una hipótesis nula H_0 y una hipótesis alternativa H_a

La hipótesis alternativa plantea matemáticamente lo que queremos demostrar

La hipótesis nula plantea exactamente lo contrario

- ✓ Para la verificación de la hipótesis se realizó con un ensayo bilateral, es decir hacia los dos lados y además con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.
- ✓ A continuación se procede a calcular la probabilidad aplicando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\alpha}{100}$$

Donde:

P = Probabilidad

α = Nivel de Significancia

Se debe tomar en cuenta que el estudio se analiza para las dos colas por lo que la probabilidad calculada se divide para 2.

- ✓ Posteriormente se calcula los grados de libertad aplicando la ecuación que se muestra a continuación.

$$Gl = n - 1$$

Donde:

Gl = Grados de Libertad

n = Número de Muestras

- ✓ Con los datos obtenidos de población y los grados de libertad procedemos a leer los valores de t tabulado, para lo cual utilizamos la tabla que se muestra en el Anexo C

- ✓ Con los resultados de cada muestra y de cada recubrimiento evaluado, procedemos a encontrar las varianzas de las diferencias con la siguiente ecuación.

$$S^2d = \frac{\sum H^2 x \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(Gl)}$$

Donde:

S^2d = Desviación

H = Diferencia entre los datos

n = Número de muestras

Gl = Grados de libertad

- ✓ Luego procedemos a encontrar la t calculada con la siguiente ecuación:

$$t_{cal} = \frac{\bar{H}}{Sd}$$

Donde:

t_{cal} = t calculado

\bar{H} = Promedio de la diferencia

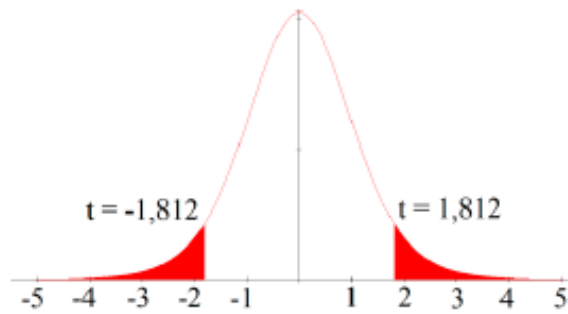
Sd = Raíz cuadrada de la desviación

- ✓ Finalmente se compara los valores de la t calculada y la t tabulada. En el caso de que la t calculada sea mayor que la t tabulada, se da por aceptada la hipótesis Ha y se rechaza la hipótesis nula Ho. Caso contrario si la t tabulada es mayor que la t calculada, se acepta la hipótesis nula Ho y se rechaza la hipótesis Ha.

ANEXO C

Tabla de Distribución T - Student

DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT



Ejemplos:

Para $n-1 = 10$ grados de libertad

$$P(t > 1,812) = 0,05$$

$$P(t < -1,812) = 0,05$$

α n-1	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567	636,6192
2	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370

ANEXO D

Norma ASTM D3359



Designation: D 3359 – 95

Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test¹

This standard is issued under the fixed designation D 3359; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

These methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover procedures for assessing the adhesion of coating films to metallic substrates by applying and removing pressure-sensitive tape over cuts made in the film.

1.2 Test Method A is primarily intended for use at job sites while Test Method B is more suitable for use in the laboratory. Also, Test Method B is not considered suitable for films thicker than 5 mils (125 μm).

NOTE 1—Subject to agreement between the purchaser and the seller, Test Method B can be used for thicker films if wider spaced cuts are employed.

1.3 These test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at a generally adequate level. They do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required.

NOTE 2—It should be recognized that differences in adherability of the coating surface can affect the results obtained with coatings having the same inherent adhesion.

1.4 In multicoat systems adhesion failure may occur between coats so that the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products²

D 823 Practice for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels²

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and are the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved Feb. 15, 1995. Published April 1995. Originally published as D 3359 – 74. Last previous edition D 3359 – 93.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

D 1000 Test Methods For Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used for Electrical and Electronic Applications³

D 1730 Practices for Preparation of Aluminum and Aluminum-Alloy Surfaces for Painting⁴

D 2092 Practices for Preparation of Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting⁵

D 2197 Test Methods for Adhesion of Organic Coatings by Scrape Adhesion²

D 2370 Test Method for Tensile Properties of Organic Coatings²

D 3330 Test Method for Peel Adhesion of Pressure-Sensitive Tape of 180° Angle⁶

D 3924 Specification for Standard Environment for Conditioning and Testing Paint, Varnish, Lacquers, and Related Materials²

D 4060 Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser²

3. Summary of Test Methods

3.1 *Test Method A*—An X-cut is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the cut and then removed, and adhesion is assessed qualitatively on the 0 to 5 scale.

3.2 *Test Method B*—A lattice pattern with either six or eleven cuts in each direction is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the lattice and then removed, and adhesion is evaluated by comparison with descriptions and illustrations.

4. Significance and Use

4.1 If a coating is to fulfill its function of protecting or decorating a substrate, it must adhere to it for the expected service life. Because the substrate and its surface preparation (or lack of it) has a drastic effect on the adhesion of coatings, a method of evaluation adhesion of a coating to different substrates or surface treatments, or of different coatings to the same substrate and treatment, is of considerable usefulness in the industry.

4.2 The limitations of all adhesion methods and the specific limitation of this test method to lower levels of adhesion (see 1.3) should be recognized before using it. The intra- and inter-laboratory precision of this test method is similar to other widely-accepted tests for coated substrates

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.05.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.02.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.09.

For example, Test Method D 2370 and Test Method 4060), but this is partly the result of it being insensitive to small but large differences in adhesion. The limited scale of 0 to 10 was selected deliberately to avoid a false impression of being sensitive.

TEST METHOD A—X-CUT TAPE TEST

Apparatus and Materials

5.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting devices. It is of particular importance that the cutting edges be in good condition.

5.2 *Cutting Guide*—Steel or other hard metal straightedge to ensure straight cuts.

5.3 *Tape*—One-inch (25-mm) wide semitransparent pressure-sensitive tape with an adhesion strength agreed upon by the supplier and the user is needed⁷. Because of the variability in adhesion strength from batch-to-batch and with time, it is essential that tape from the same batch be used when tests are to be run in different laboratories. If this is not possible the test method should be used only for ranking a series of test coatings.

5.4 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

5.5 *Illumination*—A light source is helpful in determining whether the cuts have been made through the film to the substrate.

Test Specimens

6.1 When this test method is used in the field, the specimen is the coated structure or article on which the adhesion is to be evaluated.

6.2 For laboratory use apply the materials to be tested to panels of the composition and surface conditions on which it is desired to determine the adhesion.

NOTE 3—Applicable test panel description and surface preparation methods are given in Practice D 609 and Practices D 1730 and D 2092.

NOTE 4—Coatings should be applied in accordance with Practice 823, or as agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 5—If desired or specified, the coated test panels may be subjected to a preliminary exposure such as water immersion, salt spray, high humidity before conducting the tape test. The conditions and time of exposure will be governed by ultimate coating use or shall be agreed upon between the purchaser and seller.

Procedure

7.1 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections. For tests in the field, ensure that the surface is clean and dry. Extremes in temperature or relative humidity may affect the adhesion of the tape or the coating.

7.2 Make two cuts in the film each about 1.5 in. (40 mm) long that intersect near their middle with a smaller angle of between 30 and 45°. When making the incisions, use the straightedge and cut through the coating to the substrate in one steady motion.

7.3 Inspect the incisions for reflection of light from the metal substrate to establish that the coating film has been

penetrated. If the substrate has not been reached make another X in a different location. Do not attempt to deepen a previous cut as this may affect adhesion along the incision.

7.4 Remove two complete laps of the pressure-sensitive tape from the roll and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

7.5 Place the center of the tape at the intersection of the cuts with the tape running in the same direction as the smaller angles. Smooth the tape into place by finger in the area of the incisions and then rub firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the transparent tape is a useful indication of when good contact has been made.

7.6 Within 90 ± 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and pulling it off rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

7.7 Inspect the X-cut area for removal of coating from the substrate or previous coating and rate the adhesion in accordance with the following scale:

- 5A No peeling or removal,
- 4A Trace peeling or removal along incisions or at their intersection,
- 3A Jagged removal along incisions up to 1/16 in. (1.6 mm) on either side,
- 2A Jagged removal along most of incisions up to 1/8 in. (3.2 mm) on either side,
- 1A Removal from most of the area of the X under the tape, and
- 0A Removal beyond the area of the X.

7.8 Repeat the test in two other locations on each test panel. For large structures make sufficient tests to ensure that the adhesion evaluation is representative of the whole surface.

7.9 After making several cuts examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone before using again. Discard cutting tools that develop nicks or other defects that tear the film.

8. Report

8.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

8.2 For field tests report the structure or article tested, the location and the environmental conditions at the time of testing.

8.3 For test panels report the substrate employed, the type of coating, the method of cure, and the environmental conditions at the time of testing.

8.4 If the adhesion strength of the tape has been determined in accordance with Test Methods D 1000 or D 3330, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

9. Precision and Bias⁸

9.1 In an interlaboratory study of this test method in which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering

⁷ Permacel 99 manufactured by Permacel, New Brunswick, NJ 08903, and available from various Permacel tape distributors, is reported to be suitable for this purpose. The manufacturer of this tape and the manufacturer of the tape used in the interlaboratory study (see RR: D01-1008), have advised this subcommittee that the properties of these tapes were changed. Users of it should, therefore, check whether current material gives comparable results to previous supplied material.

⁸ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D01-1008.

a wide range of adhesion, the within-laboratories standard deviation was found to be 0.33 and the between-laboratories 0.44. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

9.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 1 rating unit for two measurements.

9.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than 1.5 rating units.

9.2 Bias cannot be established for these test methods.

TEST METHOD B—CROSS-CUT TAPE TEST

10. Apparatus and Materials

10.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting device having a cutting edge angle between 15 and 30° that will make either a single cut or several cuts at once⁹. It is of particular importance that the cutting edge or edges be in good condition.

10.2 *Cutting Guide*—If cuts are made manually (as opposed to a mechanical apparatus) a steel or other hard metal straightedge or template to ensure straight cuts.

10.3 *Rule*—Tempered steel rule graduated in 0.5 mm for measuring individual cuts.

10.4 *Tape*, as described in 5.3.

10.5 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

10.6 *Illumination*, as described in 5.5.

10.7 *Magnifying Glass*—An illuminated magnifier to be used while making individual cuts and examining the test area.

11. Test Specimens

11.1 Test specimens shall be as described in Section 6. It should be noted, however, that multitip cutters provide good results only on test areas sufficiently plane¹⁰ that all cutting edges contact the substrate to the same degree. Check for flatness with a straight edge such as that of the tempered steel rule (10.3).

12. Procedure

12.1 Where required or when agreed upon, subject the specimens to a preliminary test before conducting the tape test (see Note 3). After drying or testing the coating, conduct the tape test at room temperature as defined in Specification D 3924, unless D 3924 standard temperature is required or agreed.

12.2 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections, place on a firm base, and under the illuminated magnifier, make parallel cuts as follows:

12.2.1 For coatings having a dry film thickness up to and including 2.0 mils (50 μm) space the cuts 1 mm apart and make eleven cuts unless otherwise agreed upon.

12.2.2 For coatings having a dry film thickness between

2.0 mils (50 μm) and 5 mils (125 μm), space the cuts 2 mm apart and make six cuts. For films thicker than 5 mils use Test Method A.

12.2.3 Make all cuts about ¾ in. (20 mm) long. Cut through the film to the substrate in one steady motion using just sufficient pressure on the cutting tool to have the cutting edge reach the substrate. When making successive single cuts with the aid of a guide, place the guide on the uncut area.

12.3 After making the required cuts brush the film lightly with a soft brush or tissue to remove any detached flakes or ribbons of coatings.

12.4 Examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone. Make the additional number of cuts at 90° to and centered on the original cuts.

12.5 Brush the area as before and inspect the incisions for reflection of light from the substrate. If the metal has not been reached make another grid in a different location.

12.6 Remove two complete laps of tape and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

12.7 Place the center of the tape over the grid and in the area of the grid smooth into place by a finger. To ensure good contact with the film rub the tape firmly with the eraser

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

FIG. 1 Classification of Adhesion Test Results

⁹ Multiblade cutters are available from a few sources that specialize in testing equipment for the paint industry. One supplier that has assisted in the refinement of these methods and of Test Methods D 2197 is given in footnote 10.

¹⁰ A multitip cutter for coated pipe surfaces is now available from Paul N. Gardner Co., 316 NE First St., Pompano Beach, FL 33060.

on the end of a pencil. The color under the tape is a useful indication of when good contact has been made.

12.8 Within 90 ± 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

12.9 Inspect the grid area for removal of coating from the substrate or from a previous coating using the illuminated magnifier. Rate the adhesion in accordance with the following scale illustrated in Fig. 1:

- 5B The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.
- 4B Small flakes of the coating are detached at intersections; less than 5 % of the area is affected.
- 3B Small flakes of the coating are detached along edges and at intersections of cuts. The area affected is 5 to 15 % of the lattice.
- 2B The coating has flaked along the edges and on parts of the squares. The area affected is 15 to 35 % of the lattice.
- 1B The coating has flaked along the edges of cuts in large ribbons and whole squares have detached. The area affected is 35 to 65 % of the lattice.
- 0B Flaking and detachment worse than Grade 1.

12.10 Repeat the test in two other locations on each test panel.

13. Report

13.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred, that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

13.2 Report the substrate employed, the type of coating and the method of cure.

13.3 If the adhesion strength has been determined in

accordance with Test Methods D 1000 or D 3330, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

14. Precision and Bias⁸

14.1 On the basis of two interlaboratory tests of this test method in one of which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion and in the other operators in six laboratories made three measurements on two panels each of four different coatings applied over two other coatings, the pooled standard deviations for within- and between-laboratories were found to be 0.37 and 0.7. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

14.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than one rating unit for two measurements.

14.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of duplicates or triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than two rating units.

14.2 Bias cannot be established for these test methods.

15. Keywords

15.1 adhesion, tape; crosscut adhesion test method; tape adhesion test method; X-cut adhesion test method

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. COMMENTARY

X1.1 Introduction

X1.1.1 Given the complexities of the adhesion process, can adhesion be measured? As Mittal (1)¹¹ has pointed out, the answer is both yes and no. It is reasonable to state that at the present time no test exists that can precisely assess the actual physical strength of an adhesive bond. But it can also be said that it is possible to obtain an indication of relative adhesion performance.

X1.1.2 Practical adhesion test methods are generally of two types: “*implied*” and “*direct*”. “*Implied*” tests include indentation or scribe techniques, rub testing, and wear testing. Criticism of these tests arises when they are used to quantify the strength of adhesive bonding. But this, in fact, is not their purpose. An “*implied*” test should be used to assess coating performance under actual service conditions. “*Direct*” measurements, on the other hand, are intended expressly to measure adhesion. Meaningful tests of this type are highly sought after, primarily because the results are

expressed by a single discrete quantity, the force required to rupture the coating/substrate bond under prescribed conditions. Direct tests include the Hesiometer and the Adherometer (2). Common methods which approach the direct tests are peel, lap-shear, and tensile tests.

X1.2 Test Methods

X1.2.1 In practice, numerous types of tests have been used to attempt to evaluate adhesion by inducing bond rupture by different modes. Criteria deemed essential for a test to warrant large-scale acceptance are: use of a straightforward and unambiguous procedure; relevance to its intended application; repeatability and reproducibility; and quantifiability, including a meaningful rating scale for assessing performance.

X1.2.2 Test methods used for coatings on metals are: peel adhesion or “tape testing”; Gardner impact flexibility testing; and adhesive joint testing including shear (lap joint) and direct tensile (butt joint) testing. These tests do not strictly meet all the criteria listed, but an appealing aspect of these tests is that in most cases the equipment/instrumentation is readily available or can be obtained at reasonable cost.

¹¹ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

X1.2.3 A wide diversity of tests methods have been developed over the years that measure aspects of adhesion (1-5). There generally is difficulty, however, in relating these tests to basic adhesion phenomena.

X1.3 The Tape Test

X1.3.1 By far, the most used test for evaluating coating "adhesion" is the peel test. In use since the 1930's, in its simplest version a piece of adhesive tape is pressed against the paint film. The test consists of observing if the film is peeled off when the tape is removed. The method can be refined to measure the force required for film removal. However, if the coating is removed simply by pulling off the tape, the strength of the adhesive bond is at such a low level as to be practically useless. Consequently, in most cases to assess coatings of appreciable adhesion, crosses or a cross-hatched pattern are cut into the coating, a tape applied and removed. The coating removed is assessed against an established rating scale. If a coating debonds from merely cutting an "X" and not applying tape, the adhesion is also very poor.

X1.3.2 The current widely-used version was first published in 1974; two test methods are covered in this standard. Both test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at an adequate level; however they do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required. Major limitations of the tape test are its low sensitivity, applicability only to coatings of relatively low bond strengths, and non-determination of adhesion to the substrate where failure occurs within a single coat, as when testing primers alone, or within or between coats in multicoat systems. For multicoat systems where adhesion failure may occur between or within coats, the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

X1.3.3 Repeatability within one rating unit is generally observed for coatings on metals for both methods, with reproducibility of one to two units. The tape test enjoys widespread popularity and is viewed as "simple" as well as low in cost. Applied to metals, it is economical to perform, lends itself to job site application, and most importantly, after decades of use, people feel comfortable with it.

X1.3.4 When a flexible adhesive tape is applied to a coated rigid substrate surface and then removed, the removal process has been described in terms of the "peel phenomenon," as illustrated in Fig. X1.1.

X1.3.5 Peeling begins at the "toothed" leading edge (at the right) and proceeds along the coating adhesive/interface or the coating/substrate interface, depending on the relative bond strengths. It is assumed that coating removal occurs when the tensile force generated along the latter interface, which is a function of the rheological properties of the backing and adhesive layer materials, is greater than the bond strength at the coating-substrate interface (or cohesive strength of the coating). In actuality, however, this force is distributed over a discrete distance (O-A) in Fig. X1.1, which relates directly to the properties described, not concentrated at a point (O) in Fig. X1.1 as in the theoretical case—though the tensile force is greatest at the origin for both. A significant compressive force arises from the response of the tape backing material to being stretched. Thus both tensile and compressive forces are involved in adhesion tape testing.

X1.3.6 Close scrutiny of the tape test with respect to the nature of the tape employed and certain aspects of the procedure itself reveal several factors, each or any combination of which can dramatically affect the results of the test as discussed (6).

X1.4 Peel Adhesion Testing on Plastic Substrates

X1.4.1 Tape tests have been criticized when used for substrates other than metal, such as plastics. The central issues are that the test on plastics lacks reproducibility and does not relate to the intended application. Both concerns are well founded: poor precision is a direct result of several factors intrinsic to the materials employed and the procedure itself. More importantly, in this instance the test is being applied beyond its intended scope. These test methods were designed for relatively ductile coatings applied to metal substrates, not for coatings (often brittle) applied to plastic parts (7). The unique functional requirements of coatings on plastic substrates cause the usual tape tests to be unsatisfactory for measuring adhesion performance in practice.

X1.5 The Tape Controversy

X1.5.1 With the withdrawal from commerce of the tape specified originally, 3M No. 710, current test methods no longer identify a specific tape. Differences in tapes used can lead to different results as small changes in backing stiffness and adhesive rheology cause large changes in the tension area. Some commercial tapes are manufactured to meet minimum standards. A given lot may surpass these standards and thus be suitable for general market distribution; however, such a lot may be a source of serious and unexpected error in assessing adhesion. One commercially available tape test kit had included a tape with adhesion strength variations of up to 50% claimed by the manufacturer. Also, because tapes change on storage, bond strengths of the tape may change over time (7, 8).

X1.5.2 While there are tapes available that appear to deliver consistent performance, a given tape does not adhere equally well to all coatings. For example, when the peel removal force of the tape (from the coating) used earlier by Task Group D01.23.10 to establish precision of the method,

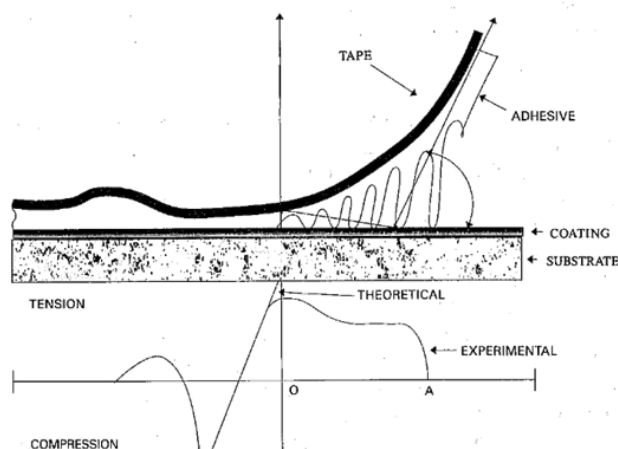


FIG. X1.1 Peel Profile (6)

by 3M No. 710 was examined with seven different electromagnetic interference/radio frequency interference (EMI/RFI) coatings, it was found that, while peel was indeed consistent for a given coating, the value varied by 25 % between the highest and lowest ratings among coatings. Several factors that contribute to these differences include coating composition and topology: as a result, no single tape is likely to be suitable for testing all coatings. Further, the tape test does not give an absolute value for the force required for bond rupture, but serves only as an indicator that some minimum value for bond strength was met or exceeded (7, 8).

X1.6 Procedural Problems

X1.6.1 The tape test is operator intensive. By design it was made as simple as possible to perform, and requires a minimum of specialized equipment and materials that must meet certain specifications. The accuracy and precision depend largely upon the skill of the operator and the operator's ability to perform the test in a consistent manner. Key steps that directly reflect the importance of operator skill include the angle and rate of tape removal and the visual assessment of the tested sample. It is not unexpected that different operators might obtain different results (7, 8).

X1.6.2 *Peel Angle and Rate:* The standard requires that the free end of the tape be removed rapidly at as close to a 180° angle as possible. If the peel angle and rate vary, the force required to remove the tape can change dramatically. Nearly linear increases were observed in peel force approaching 100 % as peel angle was changed from 135 to 180, and similar large differences can be expected in peel force as peel rate varies. These effects are related as they reflect certain rheological properties of the backing and adhesive that are molecular in origin. Variation in pull rate and peel angle can effect large differences in test values and must be minimized to assure reproducibility (9).

X1.6.3 *Visual Assessment:* The final step in the test is visual assessment of the coating removed from the specimen,

which is subjective in nature, so that the coatings can vary among individuals evaluating the same specimen (9).

X1.6.3.1 Performance in the tape test is based on the amount of coating removed compared to a descriptive scale. The exposure of the substrate can be due to factors other than coating adhesion, including that arising from the requirement that the coating be cut (hence the synonym "cross-hatch adhesion test"). Justification for the cutting step is reasonable as cutting provides a free edge from which peeling can begin without having to overcome the cohesive strength of the coating layer.

X1.6.3.2 Cutting might be suitable for coatings applied to metal substrates, but for coatings applied to plastics or wood, the process can lead to a misleading indication of poor adhesion due to the unique interfacial zone. For coatings on soft substrates, issues include how deep should this cut penetrate, and is it possible to cut only to the interface?

X1.6.3.3 In general, if adhesion test panels are examined microscopically, it is often clearly evident that the coating removal results from substrate failure at or below the interface, and not from the adhesive failure between the coating and the substrate. Cohesive failure within the coating film is also frequently observed. However, with the tape test, failures within the substrate or coating layers are rare because the tape adhesive is not usually strong enough to exceed the cohesive strengths of normal substrates and organic coatings. Although some rather brittle coatings may exhibit cohesive failure, the tape test adhesion method does not make provision for giving failure locality (7, 8).

X1.6.4 Use of the test method in the field can lead to variation in test results due to temperature and humidity changes and their effect upon tape, coating and substrate.

X1.7 Conclusion

X1.7.1 All the issues aside, if these test methods are used within the Scope Section and are performed carefully, some insight into the approximate, relative level of adhesion can be gained.

REFERENCES

- (1) Mittal, K. L., "Adhesion Measurement: Recent Progress, Unsolved Problems, and Prospects", "Adhesion Measurement of Thin Films, Thick Films, and Bulk Coatings," *ASTM STP 640*, ASTM, 1978, pp. 7-8.
- (2) Corcoran, E. M., "Adhesion," Chapter 5.3, *Paint Testing Manual*, 13th ed., *ASTM STP 500*, ASTM, 1972, pp. 314-332.
- (3) Gardner, H. A., and Sward, G. G., *Paint Testing Manual*, 12th ed., Chapter 7, Gardner Laboratory, Bethesda, MD, 1962, pp. 159-170.
- (4) Mittal, K. L., *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol 1, No. 3, 1987, pp. 247-259.
- (5) Stoffer, J. O., and Gadodia, S. K., *American Paint and Coatings Journal*, Vol 70, Nos. 50 and 51, 1991, pp. 36-40 and 36-51, respectively.
- (6) Souheng, Wu, *Polymer Interface and Adhesion*, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1982, p. 531.
- (7) Nelson, G. L., Gray, K. N., and Buckley, S. E., *Modern Paint and Coatings*, Vol 75, No. 10, 1985, pp. 160-172.
- (8) Nelson, G. L., and Gray, K. N., "Coating Adhesion to Plastics," *Proceedings, Waterborne and Higher Solids Coatings Symposium*, Vol 13, New Orleans, LA, February 5-7, 1986, pp. 114-131.
- (9) K. L. Mittal, ed., "Symposium on Adhesion Aspects of Polymeric Coatings," *Proceedings*, The Electrochemical Society, 1981, pp. 569-582.

ANEXO C

Norma ASTM G155



Designation: G 155 – 04a

Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation G 155; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the basic principles and operating procedures for using xenon arc light and water apparatus intended to reproduce the weathering effects that occur when materials are exposed to sunlight (either direct or through window glass) and moisture as rain or dew in actual use. This practice is limited to the procedures for obtaining, measuring, and controlling conditions of exposure. A number of exposure procedures are listed in an appendix; however, this practice does not specify the exposure conditions best suited for the material to be tested.

Note 1—Practice G 151 describes performance criteria for all exposure devices that use laboratory light sources. This practice replaces Practice G 26, which describes very specific designs for devices used for xenon-arc exposures. The apparatus described in Practice G 26 is covered by this practice.

1.2 Test specimens are exposed to filtered xenon arc light under controlled environmental conditions. Different types of xenon arc light sources and different filter combinations are described.

1.3 Specimen preparation and evaluation of the results are covered in ASTM methods or specifications for specific materials. General guidance is given in Practice G 151 and ISO 4892-1. More specific information about methods for determining the change in properties after exposure and reporting these results is described in ISO 4582.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.5.1 *Should any ozone be generated from the operation of the lamp(s), it shall be carried away from the test specimens and operating personnel by an exhaust system.*

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G03 on Weathering and Durability and is the direct responsibility of Subcommittee G03.03 on Simulated and Controlled Exposure Tests.

Current edition approved Oct. 1, 2004. Published December 2004. Originally approved in 1997. Last previous edition approved in 2000 as G 155 – 00a.

1.6 This practice is technically similar to the following ISO documents: ISO 4892-2, ISO 11341, ISO 105 B02, ISO 105 B04, ISO 105 B05, and ISO 105 B06.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 3980 Practice for Interlaboratory Testing of Paint and Related Materials

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

G 26 Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials

G 113 Terminology Relating to Natural and Artificial Weathering Tests for Nonmetallic Materials

G 151 Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices That Use Laboratory Light Sources

2.2 CIE Standards:

CIE-Publ. No. 85: Recommendations for the Integrated Irradiance and the Spectral Distribution of Simulated Solar Radiation for Testing Purposes³

2.3 International Standards Organization Standards:

ISO 1134, Paint and Varnishes—Artificial Weathering Exposure to Artificial Radiation to Filtered Xenon Arc Radiation⁴

ISO 105 B02, Textiles—Tests for Colorfastness—Part B02 Colorfastness to Artificial Light: Xenon Arc Fading Lamp Test⁴

ISO 105 B04, Textiles—Tests for Colorfastness—Part B04 Colorfastness to Artificial Weathering: Xenon Arc Fading Lamp Test⁴

ISO 105 B05, Textiles—Tests for Colorfastness—Part B05 Detection and Assessment of Photochromism⁴

ISO 105 B06, Textiles—Tests for Colorfastness—Part B06

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from Secretary, U.S. National Committee, CIE, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899.

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

- Colorfastness to Artificial Light at High Temperatures: Xenon Arc Fading Lamp Test⁴
- ISO 4582, Plastics—Determination of the Changes of Colour and Variations in Properties After Exposure to Daylight Under Glass, Natural Weathering or Artificial Light⁴
- ISO 4892-1, Plastics—Methods of Exposure to Laboratory Light Sources, Part 1, General Guidance⁴
- ISO 4892-2, Plastics—Methods of Exposure to Laboratory Light Sources, Part 2, Xenon-Arc Sources⁴
- 2.4 *Society of Automotive Engineers' Standards:*
- SAE J1885, Accelerated Exposure of Automotive Interior Trim Components Using a Controlled Irradiance Water Cooled Xenon Arc Apparatus⁵
- SAE J1960, Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Controlled Irradiance Water Cooled Xenon Arc Apparatus⁵

3. Terminology

3.1 Definitions—The definitions given in Terminology G 113 are applicable to this practice.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 As used in this practice, the term *sunlight* is identical to the terms *daylight* and *solar irradiance*, *global* as they are defined in Terminology G 113.

4. Summary of Practice

4.1 Specimens are exposed to repetitive cycles of light and moisture under controlled environmental conditions.

4.1.1 Moisture is usually produced by spraying the test specimen with demineralized/deionized water or by condensation of water vapor onto the specimen.

4.2 The exposure condition may be varied by selection of:

- 4.2.1 Lamp filter(s),
- 4.2.2 The lamp's irradiance level,
- 4.2.3 The type of moisture exposure,
- 4.2.4 The timing of the light and moisture exposure,
- 4.2.5 The temperature of light exposure,
- 4.2.6 The temperature of moisture exposure, and
- 4.2.7 The timing of a light/dark cycle.

4.3 Comparison of results obtained from specimens exposed in the same model of apparatus should not be made unless reproducibility has been established among devices for the material to be tested.

4.4 Comparison of results obtained from specimens exposed in different models of apparatus should not be made unless correlation has been established among devices for the material to be tested.

5. Significance and Use

5.1 The use of this apparatus is intended to induce property changes associated with the end use conditions, including the

effects of sunlight, moisture, and heat. These exposures may include a means to introduce moisture to the test specimen. Exposures are not intended to simulate the deterioration caused by localized weather phenomena, such as atmospheric pollution, biological attack, and saltwater exposure. Alternatively, the exposure may simulate the effects of sunlight through window glass. Typically, these exposures would include moisture in the form of humidity.

NOTE 2—**Caution:** Refer to Practice G 151 for full cautionary guidance applicable to all laboratory weathering devices.

5.2 Variation in results may be expected when operating conditions are varied within the accepted limits of this practice. Therefore, no reference shall be made to results from the use of this practice unless accompanied by a report detailing the specific operating conditions in conformance with the Report Section.

5.2.1 It is recommended that a similar material of known performance (a control) be exposed simultaneously with the test specimen to provide a standard for comparative purposes. It is recommended that at least three replicates of each material evaluated be exposed in each test to allow for statistical evaluation of results.

6. Apparatus

6.1 *Laboratory Light Source*—The light source shall be one or more quartz jacketed xenon arc lamps which emit radiation from below 270 nm in the ultraviolet through the visible spectrum and into the infrared. In order for xenon arcs to simulate terrestrial daylight, filters must be used to remove short wavelength UV radiation. Filters to reduce irradiance at wavelengths shorter than 310 nm must be used to simulate daylight filtered through window glass. In addition, filters to remove infrared radiation may be used to prevent unrealistic heating of test specimens that can cause thermal degradation not experienced during outdoor exposures.

6.1.1 The following factors can affect the spectral power distribution of filtered xenon arc light sources as used in these apparatus:

6.1.1.1 Differences in the composition and thickness of filters can have large effects on the amount of short wavelength UV radiation transmitted.

6.1.1.2 Aging of filters can result in changes in filter transmission. The aging properties of filters can be influenced by the composition. Aging of filters can result in a significant reduction in the short wavelength UV emission of a xenon burner.

6.1.1.3 Accumulation of deposits or other residue on filters can effect filter transmission.

6.1.1.4 Aging of the xenon burner itself can result in changes in lamp output. Changes in lamp output may also be caused by accumulation of dirt or other residue in or on the burner envelope.

6.1.2 Follow the device manufacturer's instructions for recommended maintenance.

⁴ Available from Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001.

TABLE 1 Relative Ultraviolet Spectral Power Distribution Specification for Xenon Arc with Daylight Filters^{A,B}

Spectral Bandpass Wavelength λ in nm	Minimum Percent ^C	Benchmark Solar Radiation Percent ^{D,E,F}	Maximum Percent ^C
$\lambda < 290$			0.15
$290 \leq \lambda \leq 320$	2.6	5.8	7.9
$320 < \lambda \leq 360$	28.3	40.0	40.0
$360 < \lambda \leq 400$	54.2	54.2	67.5

^A Data in Table 1 are the irradiance in the given bandpass expressed as a percentage of the total irradiance from 290 to 400 nm. The manufacturer is responsible for determining conformance to Table 1. Annex A1 states how to determine relative spectral irradiance.

^B The data in Table 1 are based on the rectangular integration of 112 spectral power distributions for water and air cooled xenon-arcs with daylight filters of various lots and ages. The spectral power distribution data is for filters and xenon-burners within the aging recommendations of the device manufacturer. The minimum and maximum data are at least the three sigma limits from the mean for all measurements.

^C The minimum and maximum columns will not necessarily sum to 100 % because they represent the minimum and maximum for the data used. For any individual spectral power distribution, the calculated percentage for the bandpasses in Table 1 will sum to 100 %. For any individual xenon-lamp with daylight filters, the calculated percentage in each bandpass must fall within the minimum and maximum limits of Table 1. Test results can be expected to differ between exposures using xenon arc devices in which the spectral power distributions differ by as much as that allowed by the tolerances. Contact the manufacturer of the xenon-arc devices for specific spectral power distribution data for the xenon-arc and filters used.

^D The benchmark solar radiation data is defined in ASTM G 177 and is for atmospheric conditions and altitude chosen to maximize the fraction of short wavelength solar UV. This data is provided for comparison purposes only.

^E Previous versions of this standard used solar radiation data from Table 4 of CIE Publication Number 85. See Appendix X4 for more information comparing the solar radiation data used in this standard with that for CIE 85 Table 4.

^F For the benchmark solar spectrum, the UV irradiance (290 to 400 nm) is 9.8 % and the visible irradiance (400 to 800 nm) is 90.2 %, expressed as a percentage of the total irradiance from 290 to 800 nm. The percentages of UV and visible irradiances on samples exposed in xenon arc devices may vary due to the number and reflectance properties of specimens being exposed.

6.1.3 Spectral Irradiance of Xenon Arc with Daylight Filters—Filters are used to filter xenon arc lamp emissions in a simulation of terrestrial sunlight. The spectral power distribution of xenon arcs with new or pre-aged filters⁶⁻⁷ shall comply with the requirements specified in Table 1.

6.1.4 Other filters which allow more short wavelength UV are sometimes used to accelerate the test results. The spectra produced will fall outside of these limits in the short wavelength region. Use of these filters is not recommended.

6.1.5 Spectral Irradiance of Xenon Arc With Window Glass Filters—Filters are used to filter xenon arc lamp emissions in a simulation of sunlight filtered through window glass.⁸ Table 2 shows the relative spectral power distribution limits for xenon arcs filtered with window glass filters. The spectral power distribution of xenon arcs with new or pre-aged filters shall comply with the requirements specified in Table 2.

⁶ Ketola, W., Skogland, T., Fischer, R., "Effects of Filter and Burner Aging on the Spectral Power Distribution of Xenon Arc Lamps," *Durability Testing of Non-Metallic Materials*, ASTM STP 1294, Robert Herling, Editor, ASTM, Philadelphia, 1995.

⁷ Searle, N. D., Ciessecke, P., Kinmonth, R., and Hirt, R. C., "Ultraviolet Spectral Distributions and Aging Characteristics of Xenon Arcs and Filters," *Applied Optics*, Vol. No. 8, 1964, pp. 923-927.

TABLE 2 Relative Ultraviolet Spectral Power Distribution Specification for Xenon-Arc with Window Glass Filters^{A,B}

Spectral Bandpass Wavelength λ in nm	Minimum Percent ^C	Window Glass Filtered Solar Radiation Percent ^{D,E,F}	Maximum Percent ^C
$\lambda < 300$		0.0	0.29
$300 \leq \lambda \leq 320$	0.1	≤ 0.5	2.8
$320 < \lambda \leq 360$	23.8	34.2	35.5
$360 < \lambda \leq 400$	62.5	65.3	76.1

^A Data in Table 2 are the irradiance in the given bandpass expressed as a percentage of the total irradiance from 300 to 400 nm. The manufacturer is responsible for determining conformance to Table 2. Annex A1 states how to determine relative spectral irradiance.

^B The data in Table 2 are based on the rectangular integration of 36 spectral power distributions for water cooled and air cooled xenon-arcs with window glass filters of various lots and ages. The spectral power distribution data is for filters and xenon-burners within the aging recommendations of the device manufacturer. The minimum and maximum data are at least the three sigma limits from the mean for all measurements.

^C The minimum and maximum columns will not necessarily sum to 100 % because they represent the minimum and maximum for the data used. For any individual spectral power distribution, the calculated percentage for the bandpasses in Table 2 will sum to 100 %. For any individual xenon-lamp with window glass filters, the calculated percentage in each bandpass must fall within the minimum and maximum limits of Table 2. Test results can be expected to differ between exposures using xenon arc devices in which the spectral power distributions differ by as much as that allowed by the tolerances. Contact the manufacturer of the xenon-arc devices for specific spectral power distribution data for the xenon-arc and filters used.

^D The window glass filtered solar data is for a solar spectrum with atmospheric conditions and altitude chosen to maximize the fraction of short wavelength solar UV (defined in ASTM G 177) that has been filtered by window glass. The glass transmission is the average for a series of single strength window glasses tested as part of a research study for ASTM Subcommittee G3.02.⁹ While this data is provided for comparison purposes only, it is desirable for a xenon-arc with window glass filters to provide a spectrum that is a close match to this window glass filtered solar spectrum.

^E Previous versions of this standard used window glass filtered solar radiation data based on Table 4 of CIE Publication Number 85. See Appendix X4 for more information comparing the solar radiation data used in the standard with that for CIE 85 Table 4.

^F For the benchmark window glass filtered solar spectrum, the UV irradiance (300 to 400 nm) is 8.2 %, and the visible irradiance (400 to 800 nm) is 91.8 %, expressed as a percentage of the total irradiance from 300 to 800 nm. The percentages of UV and visible irradiances on samples exposed in xenon arc devices with window glass filters may vary due to the number and reflectance properties of specimens being exposed, and the UV transmission of the window glass filters used.

6.1.6 The actual irradiance at the tester's specimen plane is a function of the number of xenon burners used, the power applied to each, and the distance between the test specimens and the xenon burner. If appropriate, report the irradiance and the bandpass in which it was measured.

6.2 Test Chamber—The design of the test chamber may vary, but it should be constructed from corrosion resistant material and, in addition to the radiant source, may provide for means of controlling temperature and relative humidity. When required, provision shall be made for the spraying of water on the test specimen, for the formation of condensate on the exposed face of the specimen or for the immersion of the test specimen in water.

6.2.1 The radiation source(s) shall be located with respect to the specimens such that the irradiance at the specimen face complies with the requirements in Practice G 151.

6.3 Instrument Calibration—To ensure standardization and accuracy the instruments associated with the exposure ana-

TABLE 3 Relative Ultraviolet Spectral Power Distribution Specification for Xenon Arc with Extended UV Filters^{A,B}

Spectral Bandpass Wavelength λ in nm	Minimum Percent ^C	Benchmark Solar Radiation Percent ^{D,E,F}	Maximum Percent ^C
250 $\leq \lambda < 290$	0.1		0.7
290 $\leq \lambda \leq 320$	5.0	5.8	11.0
320 $< \lambda \leq 360$	32.3	40.0	37.0
360 $< \lambda \leq 400$	52.0	54.2	62.0

^A Data in Table 3 are the irradiance in the given bandpass expressed as a percentage of the total irradiance from 250 to 400 nm. The manufacturer is responsible for determining conformance to Table 3. Annex A1 states how to determine relative spectral irradiance.

^B The data in Table 3 are based on the rectangular integration of 81 spectral power distributions for water cooled and air cooled xenon-arcs with extended UV filters of various lots and ages. The spectral power distribution data is for filters and xenon-burners within the aging recommendations of the device manufacturer. The minimum and maximum data are at least the three sigma limits from the mean for all measurements.

^C The minimum and maximum columns will not necessarily sum to 100% because they represent the minimum and maximum for the data used. For any individual spectral power distribution, the calculated percentage for the bandpasses in Table 3 will sum to 100%. For any individual xenon-arc lamp with extended UV filters, the calculated percentage in each bandpass must fall within the minimum and maximum limits of Table 3. Test results can be expected to differ between exposures using xenon arc devices in which the spectral power distributions differ by as much as that allowed by the tolerances. Contact the manufacturer of the xenon-arc devices for specific spectral power distribution data for the xenon-arc and filters used.

^D The benchmark solar radiation data is defined in ASTM G 177 and is for atmospheric conditions and altitude chosen to maximize the fraction of short wavelength solar UV. This data is provided for comparison purposes only.

^E Previous versions of this standard used solar radiation data from Table 4 of CIE Publication Number 85. See Appendix X4 for more information comparing the solar radiation data used in the standard with that for CIE 85 Table 4.

^F For the benchmark solar spectrum, the UV irradiance (290 to 400 nm) is 9.8%, and the visible irradiance (400 to 800 nm) is 90.2%, expressed as a percentage of the total irradiance from 290 to 800 nm. The percentages of UV and visible irradiances on samples exposed in xenon arc devices may vary due to the number and reflectance properties of specimens being exposed.

Whenever possible, calibration should be traceable to national or international standards. Calibration schedule and procedure should be in accordance with manufacturer's instructions.

6.4 Radiometer—The use of a radiometer to monitor and control the amount of radiant energy received at the specimen is recommended. If a radiometer is used, it shall comply with the requirements in Practice ASTM G 151.

6.5 Thermometer—Either insulated or un-insulated black or white panel thermometers may be used. Thermometers shall conform to the descriptions found in Practice G 151. The type of thermometer used, the method of mounting on specimen holder, and the exposure temperature shall be stated in the test report.

6.5.1 The thermometer shall be mounted on the specimen rack so that its surface is in the same relative position and subjected to the same influences as the test specimens.

6.5.2 Some specifications may require chamber air temperature control. Positioning and calibration of chamber air temperature sensors shall be in accordance with the descriptions found in Practice G 151.

6.6 Moisture—The test specimens may be exposed to moisture in the form of water spray, condensation, immersion, or high humidity.

6.6.1 Water Spray—The test chamber may be equipped with a means to introduce intermittent water spray onto the front or the back of the test specimens, under specified conditions. The spray shall be uniformly distributed over the specimens. The

spray system shall be made from corrosion resistant materials that do not contaminate the water employed.

6.6.1.1 Quality of Water for Sprays and Immersion—Spray water must have a conductivity below 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, contain less than 1-ppm solids, and leave no observable stains or deposits on the specimens. Very low levels of silica in spray water can cause significant deposits on the surface of test specimens. Care should be taken to keep silica levels below 0.1 ppm. In addition to distillation, a combination of deionization and reverse osmosis can effectively produce water of the required quality. The pH of the water used should be reported. See Practice G 151 for detailed water quality instructions.

6.6.1.2 Condensation—A spray system designed to cool the specimen by spraying the back surface of the specimen or specimen substrate may be required when the exposure program specifies periods of condensation.

6.6.2 Relative Humidity—The test chamber may be equipped with a means to measure and control the relative humidity. Such instruments shall be shielded from the lamp radiation.

6.6.3 Water Immersion—The test chamber may be equipped with a means to immerse specimens in water under specified conditions. The immersion system shall be made from corrosion resistant materials that do not contaminate the water employed.

6.7 Specimen Holders—Holders for test specimens shall be made from corrosion resistant materials that will not affect the test results. Corrosion resistant alloys of aluminum or stainless steel have been found acceptable. Brass, steel, or copper shall not be used in the vicinity of the test specimens.

6.7.1 The specimen holders are typically, but not necessarily, mounted on a revolving cylindrical rack that is rotated around the lamp system at a speed dependent on the type of equipment and that is centered both horizontally and vertically with respect to the exposure area.

6.7.2 Specimen holders may be in the form of an open frame, leaving the back of the specimen exposed, or they may provide the specimen with a solid backing. Any backing used may affect test results and shall be agreed upon in advance between the interested parties.

6.7.3 Specimen holders may rotate on their own axis. When these holders are used, they may be filled with specimens placed back to back. Rotation of the holder on its axis alternately exposes each specimen to direct radiation from the xenon burner.

6.8 Apparatus to Assess Changes in Properties—Use the apparatus required by the ASTM or other standard that describes determination of the property or properties being monitored.

7. Test Specimen

7.1 Refer to Practice G 151.

8. Test Conditions

8.1 Any exposure conditions may be used as long as the exact conditions are detailed in the report. Appendix X1 lists some representative exposure conditions. These are not necessarily preferred and no recommendation is implied. These conditions are provided for reference only.

9. Procedure

9.1 Identify each test specimen by suitable indelible marking, but not on areas to be used in testing.

9.2 Determine which property of the test specimens will be evaluated. Prior to exposing the specimens, quantify the appropriate properties in accordance with recognized international standards. If required (for example, destructive testing), use unexposed file specimens to quantify the property. See ISO 4582 for detailed guidance.

9.3 *Mounting of Test Specimens*—Attach the specimens to the specimen holders in the equipment in such a manner that the specimens are not subject to any applied stress. To assure uniform exposure conditions, fill all of the spaces, using blank panels of corrosion resistant material if necessary.

Nom 3—Evaluation of color and appearance changes of exposed materials must be made based on comparisons to unexposed specimens of the same material which have been stored in the dark. Masking or shielding the face of test specimens with an opaque cover for the purpose of showing the effects of exposure on one panel is not recommended. Misleading results may be obtained by this method, since the masked portion of the specimen is still exposed to temperature and humidity that in many cases will affect results.

9.4 *Exposure to Test Conditions*—Program the selected test conditions to operate continuously throughout the required number of repetitive cycles. Maintain these conditions throughout the exposure. Interruptions to service the apparatus and to inspect specimens shall be minimized.

9.5 *Specimen Repositioning*—Periodic repositioning of the specimens during exposure is not necessary if the irradiance at the positions farthest from the center of the specimen area is at least 90 % of that measured at the center of the exposure area. Irradiance uniformity shall be determined in accordance with Practice G 151.

9.5.1 If irradiance at positions farthest from the center of the exposure area is between 70 and 90 % of that measured at the center, one of the following three techniques shall be used for specimen placement.

9.5.1.1 Periodically reposition specimens during the exposure period to ensure that each receives an equal amount of radiant exposure. The repositioning schedule shall be agreed upon by all interested parties.

9.5.1.2 Place specimens only in the exposure area where the irradiance is at least 90 % of the maximum irradiance.

9.5.1.3 To compensate for test variability, randomly position replicate specimens within the exposure area that meets the irradiance uniformity requirements as defined in section 9.5.1.

9.6 *Inspection*—If it is necessary to remove a test specimen for periodic inspection, take care not to handle or disturb the test surface. After inspection, the test specimen shall be returned to the test chamber with its test surface in the same orientation as previously tested.

9.7 *Apparatus Maintenance*—The test apparatus requires periodic maintenance to maintain uniform exposure conditions. Perform required maintenance and calibration in accordance with manufacturer's instructions.

9.8 Expose the test specimens for the specified period of exposure. See Practice G 151 for further guidance.

9.9 At the end of the exposure, quantify the appropriate properties in accordance with recognized international standards and report the results in conformance with Practice G 151.

Nom 4—Periods of exposure and evaluation of test results are addressed in Practice G 151.

10. Report

10.1 The test report shall conform to Practice G 151.

11. Precision and Bias

11.1 Precision:

11.1.1 The repeatability and reproducibility of results obtained in exposures conducted according to this practice will vary with the materials being tested, the material property being measured, and the specific test conditions and cycles that are used. In round-robin studies conducted by Subcommittee G03.03, the 60° gloss values of replicate PVC tape specimens exposed in different laboratories using identical test devices and exposure cycles showed significant variability. The variability shown in these round-robin studies restricts the use of "absolute specifications" such as requiring a specific property level after a specific exposure period.

11.1.2 If a standard or specification for general use requires a definite property level after a specific time or radiant exposure in an exposure test conducted according to this practice, the specified property level shall be based on results obtained in a round-robin that takes into consideration the variability due to the exposure and the test method used to measure the property of interest. The round-robin shall be conducted according to Practice E 691 or Practice D 3980 and shall include a statistically representative sample of all laboratories or organizations who would normally conduct the exposure and property measurement.

11.1.3 If a standard or specification for use between two or three parties requires a definite property level after a specific time or radiant exposure in an exposure test conducted according to this practice, the specified property level shall be based on statistical analysis of results from at least two separate, independent exposures in each laboratory. The design of the experiment used to determine the specification shall take into consideration the variability due to the exposure and the test method used to measure the property of interest.

11.1.4 The round-robin studies cited in 11.1.1 demonstrated that the gloss values for a series of materials could be ranked with a high level of reproducibility between laboratories. When reproducibility in results from an exposure test conducted according to this practice have not been established through round-robin testing, performance requirements for materials shall be specified in terms of comparison (ranked) to a control material. The control specimens shall be exposed simultaneously with the test specimen(s) in the same device. The specific control material used shall be agreed upon by the concerned parties. Expose replicates of the test specimen and the control specimen so that statistically significant performance differences can be determined.

11.2 *Bias*—Bias cannot be determined because no acceptable standard weathering reference materials are available.

12. Keywords

12.1 accelerated; accelerated weathering; durability; exposure; laboratory weathering; light; lightfastness; non-metallic materials; temperature; ultraviolet; weathering; xenon arc

ANNEX

A1. DETERMINING CONFORMANCE TO RELATIVE SPECTRAL POWER DISTRIBUTION TABLES

(Mandatory Information for Equipment Manufacturers)

A1.1 Conformance to the relative spectral power distribution tables is a design parameter for xenon-arc source with the different filters provided. Manufacturers of equipment claiming conformance to this standard shall determine conformance to the spectral power distribution tables for all lamp/filter combinations provided, and provide information on maintenance procedures to minimize any spectral changes that may occur during normal use.

A1.2 The relative spectral power distribution data for this standard were developed using the rectangular integration technique. Eq A1.1 is used to determine the relative spectral irradiance using rectangular integration. Other integration techniques can be used to evaluate spectral power distribution data, but may give different results. When comparing relative spectral power distribution data to the spectral power distribution requirements of this standard, use the rectangular integration technique.

A1.3 To determine whether a specific lamp for a xenon-arc device meets the requirements of Table 1, Table 2, or Table 3, measure the spectral power distribution from 250 nm to 400 nm. Typically, this is done at 2 nm increments. If the manufacturer's spectral measurement equipment cannot measure wavelengths as low as 250 nm, the lowest measurement

wavelength must be reported. The lowest wavelength measured shall be no greater than 270 nm. For determining conformance to the relative spectral irradiance requirements for a xenon-arc with extended UV filters, measurement from 250 nm to 400 nm is required. The total irradiance in each wavelength bandpass is then summed and divided by the specified total UV irradiance according to Eq A1.1. Use of this equation requires that each spectral interval must be the same (for example, 2 nm) throughout the spectral region used.

$$I_R = \frac{\sum_{\lambda_i=A}^{\lambda_i=B} E_{\lambda_i}}{\sum_{\lambda_i=C} E_{\lambda_i}} \times 100 \quad (\text{A1.1})$$

where:

- I_R = relative irradiance in percent,
- E = irradiance at wavelength λ_i (irradiance steps must be equal for all bandpasses),
- A = lower wavelength of wavelength bandpass,
- B = upper wavelength of wavelength bandpass,
- C = lower wavelength of total UV bandpass used for calculating relative spectral irradiance (290 nm for daylight filters, 300 nm for window glass filters, or 250 nm for extended UV filters), and
- λ_i = wavelength at which irradiance was measured.

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

XI. APPARATUS WITH AIR-COOLED XENON ARC LAMPS

XI.1 This test apparatus uses one or more air-cooled xenon arc lamps as the source of radiation. Different type and different size lamps operating in different wattage ranges may be utilized in different sizes and types of apparatus.

XI.2 The radiation system consists of either one or more xenon-arc lamps, depending on the type of apparatus. A heat-absorbing system may be used.

X2. APPARATUS WITH WATER-COOLED XENON ARC LAMPS

X2.1 The test apparatus uses a water-cooled xenon arc lamp as the source of radiation. Different size lamps operating in different wattage ranges may be utilized in different sizes and types of apparatus.

X2.2 The xenon-arc lamp used consists of a xenon burner

tube, an inner filter of glass or quartz, an outer glass filter, and the necessary accessories. To cool the lamp, distilled or deionized water is circulated over the burner tube and then directed out of the lamp between the inner and outer glass filters.

X3. EXPOSURE CONDITIONS

X3.1 Any exposure conditions may be used, as long as the exact conditions are detailed in the report. Following are some representative exposure conditions. These are not necessarily preferred and no recommendation is implied. These conditions are provided for reference only (see Table X3.1).

NOTE X3.1—These exposure conditions are brief summaries of the actual exposure procedures. Consult the applicable test method or material specification for detailed operating instructions and procedures. Historical convention has established Cycle 1 as a very commonly used exposure cycle. Other cycles may give a better simulation of the effects of outdoor

TABLE X3.1 Common Exposure Conditions

Cycle	Filter	Irradiance	Wavelength	Exposure Cycle
1	Daylight	0.35 W/m ² ·nm	340 nm	102 min light at 63°C Black Panel Temperature 18 min light and water spray (air temp. not controlled)
2	Daylight	0.35 W/m ² ·nm	340 nm	102 min light at 63 °C Uninsulated Black Panel Temperature 18 min light and water spray (air temp. not controlled); 6 h dark at 95 (±4.0) % RH, at 24 °C Uninsulated Black Panel Temperature
3	Daylight	0.35 W/m ² ·nm	340 nm	1.5 h light, 70 % RH, at 77 °C Black Panel Temperature 0.5 h light and water spray (air temp. not controlled)
4	Window Glass	0.30 W/m ² ·nm	340 nm	100 % light, 55 % RH, at 55° C Black Panel Temperature
5	Window Glass	1.10 W/m ² ·nm	420 nm	102 min light, 35 % RH, at 63 °C Black Panel Temperature 18 min light and water spray (air temp. not controlled)
6	Window Glass	1.10 W/m ² ·nm	420 nm	3.8 h light, 35 % RH, at 63 °C Black Panel Temperature 1 h dark, 90 % RH, at 43 ° C Black Panel Temperature
7	Extended UV	0.55 W/m ² ·nm	340 nm	40 min light, 50 (±5.0) % RH, at 70 (±2) °C Black Panel Temperature and 47 (±2) °C Chamber Air Temperature 20 min light and water spray on specimen face; 60 min light, 50 (±5.0) % RH, at 70 (±2) °C Black Panel Temperature; and 47 (±2) °C Chamber Air Temperature 60 min dark and water spray on specimen back, 95 (±5.0) % RH, 38 (±2) °C Black Panel Temperature and 38 (±2) °C Chamber Air Temperature
7A	Daylight	0.55 W/m ² ·nm	340 nm	40 min light, 50 (±5.0) % RH, at 70 (±2) °C Black Panel Temperature and 47 (±2) °C Chamber Air Temperature 20 min light and water spray on specimen face; 60 min light, 50 (±5.0) % RH, at 70 (±2) °C Black Panel Temperature; and 47 (±2) °C Chamber Air Temperature 60 min dark and water spray on specimen front and back, 95 (±5.0) % RH, 38 (±2) °C Black Panel Temperature and 38 (±2) °C Chamber Air Temperature
8	Extended UV	0.55 W/m ² ·nm	340 nm	3.8 h light, 50 (±5.0) % RH, at 89 (±3) °C Black Panel Temperature and 62 (±2) °C Chamber Air Temperature 1.0 h dark, 95 (±5.0) % RH, at 38 (±2) °C Black Panel Temperature and 38 (±2) °C Chamber Air Temperature
9	Daylight	180 W/m ² (at 300–400 nm)	300–400 nm	102 min light at 63 °C Black Panel Temperature 18 min light and water spray (temperature not controlled)
10	Window Glass	162 W/m ² (at 300–400 nm)	300–400 nm	100 % light, 50 % RH, at 89 °C Black Panel Temperature
11	Window Glass	1.5 W/m ² ·nm	420 nm	Continuous light at 63 °C uninsulated black panel temperature, 30 % RH
12	Daylight	0.35 W/m ² ·nm	340 nm	18 h consisting of continuous light at 63°C uninsulated black panel temperature 30 % RH 6 h dark at 90 % RH, at 35 °C dry bulb temperature

exposure. Cycle 3 has been used for exterior grade textile materials. Cycle 4 has been used for indoor plastics. Cycles 5 and 6 have been commonly used for indoor textile materials. Cycle 7 has been used for automotive exterior materials. Cycle 8 has been used for automotive interior components.

Nom: X3.2—Cycle 7 and Cycle 8 correspond to SAE J1960 and SAE J1885, respectively. Consult the appropriate test procedure for detailed cycle descriptions, operating instructions, and a description of the filters used in this application. The filter system specified in these procedures is characterized in 6.1.4.

Nom: X3.3—More complex cycles may be programmed in conjunction with dark periods that allow high relative humidities and the formation of condensate at elevated chamber temperatures. Condensation may be produced on the face of the specimens by spraying the rear side of the specimens to cool them below the dew point.

Nom: X3.4—For special tests, a high operating temperature may be desirable, but this will increase the tendency for thermal degradation to adversely influence the test results.

Nom: X3.5—Surface temperature of specimens is an essential test quantity. Generally, degradation processes accelerate with increasing temperature. The specimen temperature permissible for the accelerated test depends on the material to be tested and on the aging criterion under consideration.

Nom: X3.6—The relative humidity of the air as measured in the test chamber is not necessarily equivalent to the relative humidity of the air very close to the specimen surface. This is because test specimens having varying colors and thicknesses may be expected to vary in temperature.

X3.2 Unless otherwise specified, operate the apparatus to maintain the operational fluctuations specified in Table X3.2 for the parameters in Table X3.1. If the actual operating conditions do not agree with the machine settings after the

TABLE X3.2 Operational Fluctuations on Exposure Conditions

Parameter	Maximum Allowable Deviations from the Set Point at the Control Point Indicated by the Readout of the Calibrated Control Sensor During Equilibrium Operation
Black Panel Temperature	± 2.5 °C
Chamber Air Temperature	± 2 °C
Relative Humidity	± 5 %
Irradiance (monitored at 340 nm)	± 0.02 W (m ² · nm)
Irradiance (monitored at 420 nm)	± 0.02 W (m ² · nm)
Irradiance (monitored at 300–400 nm)	± 2 W/m ²

equipment has stabilized, discontinue the test and correct the cause of the disagreement before continuing.

Nom: X3.7—Set points and operational fluctuations could either be listed independently of each other, or they could be listed in the format: Set point ± operational fluctuations. The set point is the target condition for the sensor used at the operational control point as programmed by the user. Operational fluctuations are deviations from the indicated set point at the control point indicated by the readout of the calibrated control sensor during equilibrium operation and do not include measurement uncertainty. At the operational control point, the operational fluctuation can exceed no more than the listed value at equilibrium. When a standard calls for a particular set point, the user programs that exact number. The operational fluctuations specified with the set point do not imply that the user is allowed to program a set point higher or lower than the exact set point specified.

X3.3 For conversion of test cycles from G26 to G155 see Table X3.3.

TABLE X3.3 Conversion of Test Cycles from G26 to G155

G26 Test Cycle Description for	Corresponding Test Cycle in G155
<p>G 26, Method A — Continuous light with intermittent water spray</p> <p>The following test cycle is the only specific condition described</p> <p>102 min light only (uninsulated black panel temperature at $63 \pm 3^\circ\text{C}$)</p> <p>18 min light + water spray The type of filter and relative humidity during the light period are not specified</p>	<p>Three cycles in G155, Table X3.1 use continuous light and the same water spray times as the conditions described in G26, Method A</p> <p>Cycle 1 uses daylight filters with 340 nm irradiance controlled at $0.35\text{W m}^2/\text{nm}$ (the suggested minimum 340 nm irradiance for daylight filters in G26, Method A)</p> <p>Cycle 5 uses window glass filters with 420 nm irradiance controlled at $1.10\text{W m}^2/\text{nm}$ (the suggested minimum 340 nm irradiance for window glass filters in G26 is $0.7\text{W m}^2/\text{nm}$)</p> <p>Cycle 9 uses daylight filters and 340 nm irradiance controlled at $1.55\text{W m}^2/\text{nm}$ ($1.80\text{W m}^2/\text{nm}$ from 300–400 nm).</p>
<p>G26— Method B — alternate exposure to light and dark and intermittent exposure to water spray</p> <p>No specific light/dark/water cycle described</p> <p>The only conditions during the light period that are described are those of Method A. The length of dark period is not specified, nor are temperature or relative humidity conditions during the dark period.</p>	<p>G155, Table X3.1 describes several specific cycles that combine light/dark periods with periods of water spray</p> <p>Cycle 2 in Table X3.1 has an 18h light period using the same conditions described in G26, Method A followed by a 6 h dark period at a very high relative humidity</p>
<p>G26— Method C — continuous exposure to light with no water spray</p> <p>Uses window glass filters Uninsulated black panel temperature is $63 \pm 3^\circ\text{C}$, relative humidity is $30 \pm 5\%$ Typical irradiance is $1.5\text{W m}^2/\text{nm}$</p>	<p>G155, Table X3.1, Cycle 11</p>
<p>G26— Method D — alternate exposure to light and darkness without water spray</p> <p>No specific periods of light/dark are described</p> <p>Type of filter not specified Irradiance is not specified. Suggested minimum irradiance is 0.35W m^2 at 340 nm with daylight filters or 0.7W m^2 at 420 nm with window glass filters RH controlled to $35 \pm 5\%$ during light period</p> <p>Dark cycle requires a dry bulb temperature of $35 \pm 3^\circ\text{C}$ and $90 \pm 5\%$ RH</p>	<p>G155, Table X3.1 Cycle 12</p>

X4. COMPARISON OF BENCHMARK SOLAR UV SPECTRUM AND CIE 85 TABLE 4 SOLAR SPECTRUM

X4.1 This standard uses a benchmark solar spectrum based on atmospheric conditions that provide for a very high level of solar ultraviolet radiation. This benchmark solar spectrum is published in ASTM G 177, Standard Tables for Reference Solar Ultraviolet Spectral Distributions: Hemispherical on 37 degree Tilted Surface. The solar spectrum is calculated using the SMARTS2 solar radiation model.^{9,10,11} ASTM Adjunct ADJG0173, SMARTS2 Solar Radiation Model for Spectral Radiation provides the program and documentation for calculating solar spectral irradiance.

X4.2 Previous versions of this standard used CIE 85 Table 4¹² as the benchmark solar spectrum. Table X4.1 compares the

TABLE X4.1 Comparison of Basic Atmospheric Conditions Used for Benchmark Solar Spectrum and CIE 85 Table 4 Solar Spectrum

Atmospheric Condition	Benchmark Solar Spectrum	CIE 85 Table 4 Solar Spectrum
Ozone (atm-cm)	0.30	0.34
Precipitable water vapor (cm)	0.57	1.42
Altitude (m)	2000	0
Tilt angle	37° facing Equator	0° (horizontal)
Air mass	1.05	1.00
Albedo (ground reflectance)	Light Soil wavelength dependent	Constant at 0.2
Aerosol extinction	Shettle & Fenn Rural (humidity dependent)	Equivalent to Linka Turbidity factor of about 2.8
Aerosol optical thickness at 500 nm	0.05	0.10

⁹ Gueymard, C., "Parameterized Transmittance Model for Direct Beam and Circumsolar Spectral Irradiance," *Solar Energy*, Vol 71, No. 5, 2001, pp. 325-346.

¹⁰ Gueymard, C. A., Myers, D., and Emery, K., "Proposed Reference Irradiance Spectra for Solar Energy Systems Testing," *Solar Energy*, Vol 73, No 6, 2002, pp. 443-467.

¹¹ Myers, D. R., Emery, K., and Gueymard, C., "Revising and Validating Spectral Irradiance Reference Standards for Photovoltaic Performance Evaluation," *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Journal of Solar Energy Engineering*, Vol 126, pp 567-574, Feb. 2004

¹² CIE-Publication Number 85: Recommendations for the Integrated Irradiance and the Spectral Distribution of Simulated Solar Radiation for Testing Purposes, 1st Edition, 1989 (Available from American National Standards Institute, 11 W. 42d St., 13th Floor, New York, NY 10036).

basic atmospheric conditions used for the benchmark solar spectrum and CIE 85 Table 4 solar spectrum.

X4.3 Table X4.2 compares irradiance (calculated using rectangular integration) and relative irradiance for the benchmark solar spectrum and CIE 85 Table 4 solar spectrum, in the bandpasses used in this standard.

TABLE X4.2 Irradiance and Relative Irradiance Comparison for Benchmark Solar Spectrum and CIE 85 Table 4 Solar Spectrum

Bandpass	Benchmark Solar Spectrum	CIE 85 Table 4 Solar Spectrum
Irradiance (W/m ²) in stated bandpass		
$\lambda < 200$	0.000	0.000
$200 \leq \lambda \leq 320$	3.748	4.060
$320 < \lambda \leq 360$	25.661	28.450
$360 < \lambda \leq 400$	34.762	42.050
$200 \leq \lambda \leq 400$	64.171	74.560
$200 \leq \lambda \leq 800$	652.300	678.780
Percent of 200 to 400 nm Irradiance		
$\lambda < 200$	0.0 %	0.0 %
$200 < \lambda \leq 320$	5.8 %	5.4 %
$320 < \lambda \leq 360$	40.0 %	38.2 %
$360 < \lambda \leq 400$	54.2 %	56.4 %
Percent of 200 to 800 nm Irradiance		
$200 \leq \lambda \leq 400$	9.8 %	11.0 %

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO D

INFORME DE ENTREGA DE ENSAYO DE ESPESOR DE PELÍCULA



ACTA DE ENTREGA

ACTA N°:	SEM_ENE_21
Número de páginas:	10
Solicitado por:	Sr. Gustavo Mayorga
Autor informe:	Ing. Andrea V. Vaca
Dirección:	Av. General Rumiñahui S/N
Fecha de emisión:	13/01/2017

GENERALIDADES

En referencia a la COTIZACIÓN N° 0055 elaborada por la empresa pública INNOVATIVA de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se completó las dos horas de uso contratadas por el cliente con la medición de 12 muestras en un microscopio electrónico de barrido (SEM) en alto vacío TESCAN MIRA3 FEG con resolución de 1.2nm.

METODOLOGIA

El proceso de limpieza de las muestras se lo realizó bajo un estereomicroscopio con etanol anhidro al 99%, para evitar impurezas las muestras fueron secadas con aire comprimido. Las muestras fueron recubiertas con un material conductor para que permita su observación en el microscopio. En estas muestras se utilizó un evaporizador de oro sputter coating Quorum Q105R bajo las siguientes condiciones: 15 mA y 80 mTorr durante 1 minuto para producir un espesor de aproximadamente 20 nm.

Las muestras fueron introducidas directamente en el carrusel del microscopio electrónico de barrido TESCAN MIRA 3. Las muestras se observaron con un voltaje de 5 kV y se obtuvieron varias microfotografías de su topografía.

RESULTADOS

Se obtuvieron varias microfotografías SEM, imágenes con medidas y archivos con las medidas de las 12 muestras observadas las que se enviaron vía email en formato jpeg y txt al cliente.



OBSERVACIONES

- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.

Ensayo elaborado por:

Ing. Andrea Vaca
Técnica del Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales
Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT)
Universidad de las Fuerzas Armadas

Supervisado por:

Carlos Arroyo, Ph.D
Director del Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales
Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT)
Universidad de las Fuerzas Armadas





ANEXOS

BE1_1MED

Object name	d [um]
D1	100.90
D2	101.58
D3	92.37

BE1_2MED

Object name	d [um]
D1	85.81
D2	128.95
D3	104.33

BE1_3MED

Object name	d [um]
D1	91.41
D2	87.98
D3	95.41

BE2_1MED

Object name	d [um]
D1	102.10
D2	93.88
D3	87.98

BE2_2MED

Object name	d [um]
D1	95.36
D2	134.85
D3	95.01



BE2_3MED

Object name	d [um]
D1	100.83
D2	97.43
D3	95.12

BE3_1MED

Object name	d [um]
D1	129.55
D2	101.39
D3	86.68

BE3_2MED

Object name	d [um]
D1	123.53
D2	103.06
D3	112.13

BE3_3MED

Object name	d [um]
D1	111.88
D2	128.16
D3	102.77

FE1_1MED

Object name	d [um]
D1	450.87
D2	449.59
D3	477.68



FE1_2MED

Object name	d [um]
D1	506.98
D2	542.63
D3	491.35

FE1_3MED

Object name	d [um]
D1	510.29
D2	555.52
D3	459.03

FE2_1MED

Object name	d [um]
D1	432.01
D2	450.63
D3	475.77

FE2_2MED

Object name	d [um]
D1	454.98
D2	438.86
D3	415.21

FE2_3MED

Object name	d [um]
D1	349.45
D2	374.09
D3	325.63



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



FE3_1MED

Object name	d [um]
D1	398.74
D2	428.08
D3	462.52

FE3_2MED

Object name	d [um]
D1	531.68
D2	555.16
D3	576.77

FE3_3MED

Object name	d [um]
D1	532.13
D2	520.33
D3	516.08

GE1_1MED

Object name	d [um]
D1	340.16
D2	347.46
D3	327.25

GE1_2MED

Object name	d [um]
D1	411.82
D2	381.68
D3	371.25



GE1_3MED

Object name	d [um]
D1	381.40
D2	383.90
D3	398.57

GE2_1MED

Object name	d [um]
D1	375.77
D2	356.79
D3	364.61

GE2_2MED

Object name	d [um]
D1	369.92
D2	391.54
D3	440.60

GE2_3MED

Object name	d [um]
D1	429.73
D2	439.94
D3	413.72

GE3_1MED

Object name	d [um]
D1	337.85
D2	337.99
D3	368.28



GE3_2MED

Object name	d [um]
D1	351.49
D2	313.83
D3	299.59

GE3_3MED

Object name	d [um]
D1	368.70
D2	351.09
D3	356.52

PE1_1MED

Object name	d [um]
D1	481.89
D2	465.60
D3	472.89

PE1_2MED

Object name	d [um]
D1	286.88
D2	321.95
D3	322.81

PE1_3MED

Object name	d [um]
D1	393.84
D2	390.58
D3	415.35



PE2_1MED

Object name	d [um]
D1	550.93
D2	550.32
D3	573.52

PE2_2MED

Object name	d [um]
D1	582.92
D2	580.31
D3	585.44

PE2_3MED

Object name	d [um]
D1	578.22
D2	567.96
D3	579.01

PE3_1MED

Object name	d [um]
D1	479.25
D2	492.31
D3	496.48

PE3_2MED

Object name	d [um]
D1	491.25
D2	500.20
D3	486.46



PE3_3MED

Object name	d [um]
D1	519.09
D2	501.02
D3	503.02