

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

**“CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA LA  
INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES PARA EL ITSA”**

**POR:**

**DANIEL STALIN LEÓN CAICEDO**

**Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para la obtención  
del Título de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN  
AVIONES**

**2011**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el A/C LEÓN CAICEDO DANIEL STALIN, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA – MENCIÓN AERONAVES.

---

ING. THOMÁS ISAÍAS IBUJES VILLACÍS

Latacunga, Abril 07 del 2011

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto de graduación a mis padres, guías incondicionales en el camino y quienes nunca me dejaron desmayar, a las personas que creyeron ciegamente en mí y en mis capacidades, a todos aquellos que de una u otra forma pusieron un granito de arena para que fuese posible la ejecución del mismo: familiares, Director de carrera, maestros, compañeros y amigos que estuvieron junto a mí en este proceso de aprendizaje.

**León Caicedo Daniel Stalin**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente proyecto es realizado gracias a Dios quién no permitió que desmayara, al apoyo de mis padres quienes incondicionalmente han aportado con sus esfuerzos para hacerlo posible, a mi hermano quién no permitió que en mis desánimos cayera, sino más bien apporto siempre soluciones, a los profesionales de la educación que con su ayuda han hecho de este proyecto algo factible, pero sin olvidar a todas las personas que estuvieron junto a mí en este largo camino, que culmina con la ejecución del presente; mis compañeros, mis amigos y en general al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, que me abrió las puertas para poder realizar uno de mis grandes anhelos, ser parte de uno de los grupos selectos en la aviación nacional de todo corazón, Gracias.

**León Caicedo Daniel Stalin**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>SUMARY.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Justificación e importancia.....	6
1.3 Objetivo general.....	6
1.4 Objetivos específicos.....	6
1.5 Alcance.....	7
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
2.1 Ensayos no destructivos.....	9
2.1.1 Antecedentes.....	10

2.1.2	Introducción a los END .....	12
2.1.3	Propósito de los END .....	13
2.1.4	Aplicaciones de los END .....	13
2.2	Clasificación relativa de los ensayos sobre materiales.....	14
2.3	Métodos para la aplicación de los ensayos sobre materiales <sup>2</sup> .....	16
2.3.1	Rayos-X.....	18
2.3.2	Rayos Gamma.....	22
2.3.3	Ensayo por ultrasonido .....	25
2.3.4	Ensayo de Líquidos Penetrantes.....	27
2.3.5	Ensayo por partículas magnéticas.....	29
2.3.6	Valor de los END .....	31
2.4	Introducción a los Líquidos Penetrantes.....	32
2.4.1	Clasificación por color.....	33
2.4.2	Clasificación por Solubilidad .....	35
2.5	Sistemas penetrantes .....	35
2.5.1	Sistema penetrante removible con agua .....	36
2.5.2	Sistema penetrante post-emulsificable lipofílico .....	37
2.5.3	Sistemas penetrantes removible con solventes.....	37
2.5.4	Sistema penetrante post-emulsificable hidrofílico.....	37
2.6	Características de los líquidos penetrantes <sup>8</sup> .....	38
2.7	Métodos de aplicación de los líquidos penetrantes en END.....	40
2.7.1	Preparación y limpieza de la pieza: .....	41
2.7.2	Aplicación del penetrante. ....	42
2.7.3	Eliminación del exceso de penetrante. ....	42
2.7.4	Aplicación del revelador.....	43
2.7.5	Inspección final de la pieza.....	44
2.7.6	Limpieza final.....	45
2.8	Unidades de Medida para los Ensayos No Destructivos .....	49
2.8.1	Origen y Uso del Sistema Internacional de Unidades (SI).....	49
2.9	Requisitos de control de calidad aplicables en los ensayos con líquidos penetrantes .....	54
2.10	Precauciones de seguridad .....	55
2.10.1	Gestión de desechos .....	57
2.11	Normativa .....	60

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>62</b>
<b>DESARROLLO DEL TEMA.....</b>	<b>62</b>
3.1 Preliminares.....	62
3.1.1 Descripción de alternativas.....	62
3.1.2 Selección de la mejor alternativa.....	65
3.2 Diseño.....	66
3.2.1 Diseño de la infraestructura de la estación fija de END.....	66
3.2.2 Diseño del Entorno.....	72
3.3 Construcción.....	74
3.3.1 Distribución de la planta.....	75
3.4 Pruebas y análisis de resultados.....	80
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>84</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>84</b>
4.1 Presupuesto.....	84
4.2 Análisis Económico.....	84
4.2.1 Recursos Materiales técnicos y tecnológicos.....	84
4.2.2 Recursos Humanos.....	86
4.2.3 Otros.....	86
4.3 Costo Total.....	87
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>88</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
5.1 Conclusiones.....	88
5.2 Recomendaciones.....	89
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS UTILIZADAS.....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades física del tinte penetrante y del revelador.....	40
Tabla 2.2 Tiempo de Penetración .....	45
Tabla 2.3 Características Del Penetrante Fluorescente .....	47
Tabla 2.4 Guía de Selección del proceso.....	48
Tabla 2.5 Unidades Básicas del SI.....	51
Tabla 2.6 Unidades derivadas sin dimensión.....	52
Tabla 2.7 Unidades SI derivadas expresadas a partir de unidades básicas y suplementarias.....	52
Tabla 2.8 Unidades SI derivadas con nombres y símbolos especiales.....	52
Tabla 2.9 Unidades SI derivadas expresadas a partir de las que tienen nombres especiales .....	53
Tabla 2.11 Requisitos de Control de Calidad según ASTM E 1417-99.....	54
Tabla 3.1 Niveles de iluminación recomendada para uso en diseño de luz interior .....	72
Tabla 3.2 Fuentes artificiales de luz .....	73
Tabla 3.3 Matriz de Ponderación para la construcción del cuarto oscuro .....	74
Tabla 3.4 Matriz de Ponderación para la construcción de los mesones.....	75
Tabla 3.5 Promedio de temperatura y humedad del mes de julio .....	83
Tabla 4.1 Presupuesto Infraestructura .....	85
Tabla 4.2 Costo de material para la inspección por PT.....	86
Tabla 4.3 Detalle Recursos Humanos.....	86
Tabla 4.4 Detalle Otros Gastos .....	87
Tabla 4.5 Detalle Costo Total.....	87



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Equipo de generación de rayos-X.....	22
Figura 2.2 Espectro de difracción de la luz .....	22
Figura 2.3 Generación de radiación gamma .....	24
Figura 2.4 Inspección por Ultrasonido.....	25
Figura 2.5 Ensayos de Líquidos Penetrantes.....	28
Figura 2.6 Materiales ferromagnéticos .....	29
Figura 2.7 Procedimiento de inspección por partículas magnéticas.....	31
Figura 2.8 Examen con penetrante visible .....	34
Figura 2.9 Material rociado con Penetrante Fluorescente.....	34
Figura 2.10 Limpieza de la pieza.....	41
Figura 2.11 Aplicación del Revelador .....	43
Figura 2.12 Procedimiento de inspección por Líquidos Penetrantes.....	45
Figura 2.13 Ejemplo de Gestión de Desechos .....	57
Figura 2.14 Residuo tóxico.....	58
Figura 2.15 Residuo crónico.....	58
Figura 2.16 Residuo inflamable.....	59
Figura 2.17 Residuo corrosivo.....	59
Figura 2.17 Residuo radioactivo.....	60
Figura 3.1 Proceso de aplicación de líquidos penetrantes .....	69
Figura 3.2 Proceso de aplicación de líquidos penetrantes lavable con agua .....	70
Figura 3.3 Diagrama de proceso para la construcción de la Estación de NDI .....	77
Figura 3.4 Construcción de la sección izquierda (PT).....	80
Figura 3.5 Construcción de la sección derecha (MT).....	80
Figura 3.6 Construcción del cuarto oscuro.....	81
Figura 3.7 Construcción del mesón del cuarto oscuro. ....	81
Figura 3.8 Construcción del armario. ....	81
Figura 3.9 Instalación de puertas del cuarto oscuro y armario.....	82

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	ANTEPROYECTO.
ANEXO B	ESQUEMA DE UNA ESTACIÓN FIJA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (N.D.I.).
ANEXO C1	CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN FIJA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (N.D.I.) (PLANTA ARQUITECTÓNICA).
ANEXO C2	CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN FIJA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (N.D.I.) (CORTES).
ANEXO D	PROCEDIMIENTO PARA UNA INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES.
ANEXO E	NORMATIVA E_165-02
ANEXO F	NORMATIVA E_1417
ANEXO G1	MATERIAL SAFETY DATA SHEET.
ANEXO G2	MATERIAL SAFETY DATA SHEET.
ANEXO G3	MATERIAL SAFETY DATA SHEET.
ANEXO H	FORMATO DE LA LISTA DE CHEQUEO PARA LA ESTACIÓN FIJA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDI).

## RESUMEN

La complejidad, el excesivo costo del mantenimiento de las máquinas, equipo, herramientas, componentes de aviación hoy en día, ha hecho posible la fabricación, uso de técnicas y procedimientos que muestren resultados de daños en los equipos con la máxima realidad posible.

Los Ensayos No Destructivos (END) nos ayudan en muchos de estos procedimientos. Pero de manera especial nos proporcionan información adecuada, acerca de posibles fallas encontradas en los componentes de aviación y la industria.

Existen una gran cantidad de métodos para realizar END, más este proyecto en particular está dirigido al estudio de uno de ellos.

La inspección de ciertos componentes de aviación, en la actualidad es realizada por medio de este método, conocido con el nombre de Ensayos por Líquidos Penetrantes.

Este método es uno de los más conocidos en la actualidad, por los resultados que este arroja en inspecciones realizadas para poder detectar discontinuidades abiertas a la superficie.

El propósito del presente proyecto, es el de proveer un conocimiento fundamental, acerca del uso y procedimientos adecuados para poder elaborar correctamente este tipo de inspecciones en lo que a aviación se refiere.

El Proyecto puede ser usado con efectividad, para el entrenamiento de los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA), futuros profesionales del campo aeronáutico nacional, ya que esto les será de gran utilidad en el desenvolvimiento de sus tareas diarias.

Además tiene como objetivo, entregar a los usuarios del mismo la instrucción

necesaria para el manejo técnico del material a usarse, en la realización de una inspección de componentes de una manera técnica y detallada, necesaria para el adiestramiento continuo del profesional de aviación.

Finalmente y cómo un soporte para la realización del presente, es el apoyo fundamental de los educadores, que miran con agrado al desarrollo y evolución de las técnicas de enseñanza, que facilitan la entrega de conocimientos, pues como lo expresa la experiencia vivida en el procedimiento de Enseñanza, un contenido que se presenta de forma física y palpable, puede ser asimilado hasta en un 90%; motivo por el cual será de gran ayuda la existencia de la estación en el instituto.

## SUMMARY

The complexity and expense of today's machines, equipment, tools and aviation components dictate the fabrication and use of techniques and procedures that show results of equipment failures with maximum reliability possible.

The Nondestructive testing (NDT, testing without destroying) help with many of this procedures, specially give our correctly information about possible failures found in materials, aviation components and the industries.

There are a great amount of methods for realize NDT, but especially this project will be directed to study one of these.

Nowadays certain aviation components inspections are realized for this method known as Liquid Penetrant Testing (LPT).

This method is knowledge and used actually for their results in inspections realized for can found failures opened to surface.

The purpose of this project is to provide a fundamental knowledge about use and correct procedures for realize properly this type of aviation inspections.

This project can be used effectively for train of Aeronautical Superior Technological Institute (ASTI), future national aeronautical space professionals, and help us in your daily works.

This project has with main objective, to give to their users the necessary instruction for technical drive of material used for realize a components inspection of detailed and technical form necessary for continuous training of aviation professional.

Finally a support for realize this project is the fundamental prop of teachers that appreciate the evolution and unrolling of technical teaching that facilitate the

knowledge obtainment, because the experience teach that a content presented in a physical and palpable way can be assimilated and understand it until 90 %, reason for the construction of this project.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA), es una institución creada con la finalidad de formar a los mejores profesionales, a lo que en el campo aeronáutico se refiere, a personal íntegro e innovador, entusiasta pero sobre todo comprometido en la labor que al se confíe, a través del aprendizaje por logros, mejorando así su nivel de competitividad, a nivel profesional aportando de esta manera al desarrollo de nuestra nación.

La carrera de Mecánica Aeronáutica que en el mismo se imparte, tiene como objetivo fundamental proporcionar al sector aeronáutico, tecnólogos en mantenimiento de aviación, con capacidad analítica, crítica, con conocimientos teórico-prácticos suficientes que faciliten el desenvolvimiento de los mismos en las tareas a ellos asignadas.

Al ser los ensayos no destructivos una de las técnicas utilizadas en la inspección de aeronaves, para el correcto mantenimiento de las mismas, los estudiantes deben estar capacitados en el uso de esta herramienta, motivo por el cual el ITSA, preocupado por el avance y evolución de la entrega de conocimientos a sus estudiantes, ha creído conveniente la elaboración de este tipo de proyectos, que faciliten al estudiante la obtención de los mismos, y es por este motivo que al no existir en la actualidad una estación, en la cual se puedan realizar prácticas de END, en especial de Tintes Penetrantes, se ha creído conveniente la construcción de una estación de inspección por tintes penetrantes, para el bloque 42 del ITSA, con el objetivo fundamental de realizar prácticas más profundas en la inspección por medio de este método.

## **1.2 Justificación e importancia**

El campo aeronáutico es uno de los más crecientes en la educación de la actualidad, a nivel nacional y Latinoamericano, debido a la relevancia de su crecimiento en el desarrollo de las naciones, el mantenimiento, y mantenimiento preventivo de las aeronaves es de vital importancia para que se pueda realizar de manera correcta esta actividad.

Se ha creído pertinente el estudio específico de cada una de las herramientas, que nos ayudarán a mantener en perfecto estado a la aeronave, y considerando que los END forman parte vital en el desarrollo del mantenimiento de la aviación, por la manera en que se efectúan dichos ensayos, la seguridad, reducción de costos que brindan, y por ende la evolución en la entrega de conocimientos de los estudiantes, futuro/as profesionales que se desenvolverán en dichas áreas, debe estar correlacionado, ha sido conveniente la realización del presente ya que beneficiará de manera directa al (ITSA) y de manera especial a sus estudiantes fomentando un evidente desarrollo del mismo.

El presente proyecto se ha considerado factible de realizar debido a la importancia del mismo, para el desarrollo del proceso educativo, su costo, y sobre todo por el resultado que se verá reflejado en los estudiantes en la realización de prácticas más continuas en el área de END, específicamente en el desarrollo del método de inspección por Líquidos Penetrantes.

## **1.3 Objetivo general**

Construir una estación de trabajo para la inspección por líquidos penetrantes para el ITSA

## **1.4 Objetivos específicos**



- Recaudar Información referente a Sistemas de Inspección por Líquidos P.
- Indagar acerca del uso de los Líquidos Penetrantes.
- Investigar acerca de los modelos de estaciones de inspección existentes en el Ecuador.
- Seleccionar un modelo específico para poder realizar la construcción
- Diseñar la estación de inspección a construir tomando en cuenta medidas y materiales.
- Construir la estación de Inspección por Líquidos Penetrantes.
- Realizar pruebas de funcionamiento.
- Elaborar el procedimiento a aplicar para usar correctamente la estación de Inspección.

## **1.5 Alcance**

La realización de este proyecto tiene como finalidad fundamental demostrar, de manera práctica a los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico el procedimiento adecuado con el cual se realiza una inspección por Líquidos Penetrantes.

Busca además ser una herramienta didáctica para la mejor apreciación de conocimientos y captación de los mismos.

El presente proyecto busca ser un aporte para la mejora del proceso de aprendizaje del ITSA, mediante la construcción de una Estación de Inspección por Líquidos Penetrantes que aplicará la clasificación de Tipo I, el Método A, que se considera como una de las más usadas en mencionado proceso en lo que a aviación se refiere debido a su facilidad de aplicación y excelentes resultados.

La estación será ubicada en los laboratorios del Bloque 42 del ITSA y contará con una estación para el lavado, una para la aplicación del

Penetrante, una estación de secado, y una estación específica para la inspección.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El presente capítulo, nos muestra la importancia de los ensayos no destructivos en la actualidad, su origen, usos, aplicaciones, pero sobre todo se centra en detallar los fundamentos necesarios para comprender, el estudio de los mismos, en especial de los tintes penetrantes, motivo de nuestro estudio.

#### **2.1 Ensayos no destructivos**

La Sociedad de Ensayos No Destructivos de Estados Unidos (ASNT), define a este tipo de ensayos como el conjunto de estos métodos, usados para examinar un objeto, material, o sistema sin perjudicar sus futuras aplicaciones.

Esta definición es aplicada a investigaciones no relacionadas a las médicas acerca de la integridad del material.

Esta última aclaración es debido a que en un inicio, la mencionada sociedad estaba integrada por profesionales médicos involucrados en labores de rayos x, que actualmente forman otros cuerpos investigativos en el área médica.

Los ensayos no destructivos son para determinar, la integridad del material del objeto de ensayo. Existen varias tecnologías como la radiología, mediciones de voltajes, etc. que son no destructivas, pero no son consideradas como ensayos no destructivos por qué no evalúan propiedades del material específicamente.

También se debe decir que algunas técnicas empleadas en ensayos no destructivos pueden ser usadas con otros fines, ejemplo el radar, cuya base es el ultrasonido, que se lo emplea para inspeccionar un elemento mecánico o para ayudar a la navegación de una embarcación naval.

### 2.1.1 Antecedentes

Los END se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (PT).

Sin embargo con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las PND una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual.

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de pruebas no destructivas. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre las PND, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema americano.

A continuación se proporcionan una serie de fechas relacionadas con acontecimientos históricos, descubrimientos, avances y aplicaciones, de

algunas pruebas no destructivas:

- 1868 Primer intento de trabajar con los campos magnéticos
- 1879 Hughes establece un campo de prueba y estudia las Corrientes Eddy
- 1895 Roentgen estudia el tubo de rayos catódicos y descubre los rayos "X"
- 1896 Becquerel descubre los rayos "Gamma"
- 1900 Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC
- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de MT
- 1928 Uso industrial de los campos magnéticos
- 1930 Theodore Zuschlag patenta las Corrientes Eddy
- 1931 Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado
- 1941 Aparecen los líquidos fluorescentes
- 1945 Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido
- 1947 Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

La entidad que reúne a todas las instituciones debidamente constituidas es el Comité Internacional de Ensayos No Destructivos (ICNDT, por sus siglas en inglés) con sede en Viena.

La globalización en los mercados mundiales ha marcado el desarrollo de los ensayos no destructivos, los cuales tienen ya un alcance en cada rincón del planeta, y actualmente existen sociedades de ensayos no destructivos en la mayoría de los países como por ejemplo, La Sociedad Argentina de Ensayos No Destructivos (AAENDE), El Instituto Australiano para Ensayos No Destructivos (AINDT), La Sociedad Austriaca de Ensayos No Destructivos (OGFZP), La Asociación Belga de Ensayos No Destructivos (BANT), La Sociedad Brasileña de Ensayos No Destructivos (ABENDE), La Sociedad Canadiense de Ensayos No destructivos (CSNDT), La Sociedad China para Ensayos No Destructivos (ChSNDT), El Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C. (IMENDE A.C., Asociación Mexicana de Ensayos No Destructivos (AMEXEND A.C.).

Las pruebas mecánicas fueron creadas como respuesta a la necesidad de conocer el estado de los materiales, sin embargo, las pruebas destructivas tienen el inconveniente de que terminan con la vida útil de los elementos sujetos a prueba, fue entonces que surgieron los ensayos no destructivos, con los cuales se puede determinar el estado de los materiales sin inutilizar a los mismos.

### **2.1.2 Introducción a los END**

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de nondestructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.<sup>1</sup>

Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

Se identifican comúnmente con las siglas: PND; y se consideran sinónimos a: Ensayos no destructivos (END), inspecciones no destructivas y exámenes no destructivos.

En general los ensayos no destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma.

En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

---

<sup>1</sup> ASTM, annual book of ASTM standards, section 3 metal test methods and analytical procedures Easton Madison USA. 2007.

La amplia aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se encuentra resumida en los tres grupos siguientes:

- Defectología. Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales; determinación de tensiones; detección de fugas.
- Caracterización. Evaluación de las características químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales; propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas); transferencias de calor y trazado de isotermas.
- Metrología. Control de espesores; medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores de recubrimiento; niveles de llenado.

### **2.1.3 Propósito de los END**

El propósito de estos ensayos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas.

Los materiales que se pueden inspeccionar son los más diversos, entre Metálicos y no - metálicos, normalmente utilizados en procesos de fabricación, tales como: laminados, fundidos, forjados y otras conformaciones.

Los ensayos son realizados bajo procedimientos escritos, que atienden a los requisitos de las principales normas o códigos de fabricación, tales como el ASME, ASTM, API y el AWS entre otros.

Los inspectores son calificados como Nivel I, II y III por la ASNT (American Society for Nondestructive Testing).

### **2.1.4 Aplicaciones de los END**

Los ensayos no destructivos se utilizan en una variedad de ramas que

cubren una gran gama de actividades industriales.

- En la industria automotriz:
  - Partes de motores
  - Chasis
- En aviación e industria aeroespacial:
  - Exteriores
- Chasis
  - Plantas generadoras
- Motores a reacción
- Cohetes espaciales
- En construcción:
  - Estructuras
  - Puentes
- En manufactura:
  - Partes de máquinas
- En ingeniería nuclear:
  - Pressure vessels
- En petroquímica:
  - Transporte por tuberías
  - Tanques de almacenamiento
- Misceláneos
  - Atracciones de parques de diversiones
  - Conservación-restauración de obras de arte.

## 2.2 Clasificación relativa de los ensayos sobre materiales

Podemos establecer distintas clasificaciones de los métodos de END según sus fundamentos, aplicaciones o su estado actual de desarrollo,

### A) Según sus fundamentos:

Se basan esencialmente en las aplicaciones de uno o varios de los siguientes fenómenos físicos:



- Ondas electromagnéticas (comprendiendo fenómenos basados en las propiedades eléctricas y/o magnéticas de las muestras.)
- Ondas elásticas o acústicas
- Emisión de partículas subatómicas.
- Otros fenómenos, tales como los de capilaridad, estanqueidad, absorción, etc.

**B) Según sus aplicaciones:**

De manera general se puede decir que las aplicaciones de los métodos de END permiten realizar estudios de defectos, hacer mediciones y caracterizar materiales.

**C) Según el estado actual de desarrollo:**

Se pueden clasificar en:

Métodos convencionales de END

Consideramos como métodos convencionales aquellos que debido al desarrollo actual de los equipos y técnicas operatorias, permiten seguir el ritmo de la producción, proporcionan un registro permanente y permiten la automatización del proceso de inspección.

Son los que comúnmente se utilizan en la industria.

Dentro de esta categoría, se distinguen los métodos capaces de proporcionar una amplia gama de aplicaciones, de los que si bien son altamente desarrollados, solo se limitan a aplicaciones particulares o son modificaciones de los convencionales para mejorarlos en aplicaciones particulares.

Métodos nuevos o no convencionales de END.

Consideramos como métodos nuevos, aquellos de reciente introducción o en período actual de desarrollo, o aquellos que no

tienen una utilización generalizada.

El desarrollo acelerado de estos métodos nuevos ha sido principalmente por los avances tecnológicos en los campos aeroespacial y nuclear, en los que se requieren un severo control de calidad en los materiales.

Los siguientes se pueden considerar como métodos de END convencionales:

- Radiografía Industrial (RI);
- Ultrasonidos (US);
- Líquidos Penetrantes (LP);
- Partículas Magnetizables (PM);
- Corrientes Inducidas (CI);
- Visual (EV).

Los siguientes se pueden considerar como métodos de END no convencionales:

- Fuga;
- Termografía;
- Espectroscopía ultrasónica;
- Emisión acústica;
- Radiografía neutrónica;
- Tensiones residuales;
- Otros.

### **2.3 Métodos para la aplicación de los ensayos sobre materiales<sup>2</sup>**

Es necesario antes de empezar a analizar el presente texto, que los datos, y especificaciones técnicas citadas son tomadas de ASTM 1417, on Non Destructive Testing, Standard Practice for Liquid Penetrant Examination, pag. 4, p. 6.9.2, traducidas al español por el investigador.

---

<sup>2</sup>ASTM 1417, on Non Destructive Testing, Standard Practice for Liquid Penetrant Examination, pag. 4, p. 6.9.2

Los END, más comunes utilizados en la industria, se clasifican de acuerdo al alcance que poseen en cuanto a la detección de fallas, por lo que se dividirán los mismos de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Discontinuidades Superficiales:
  - Ensayo de líquidos penetrantes
  - Ensayo de partículas magnéticas
  
- Discontinuidades Internas:
  - Ensayo Radiográfico
  - Ensayo ultrasónico
  
- Ensayos aplicables para la detección de discontinuidades del material o de los procesos de soldaduras superficiales abiertos al exterior y para la detección de discontinuidades internas del material, abiertas o no al exterior
  
- Ensayo radiográfico

La radiografía es un método de inspección no destructiva que se basa en la absorción diferenciada de radiación penetrante por la pieza que está siendo inspeccionada.

Esa variación en la cantidad de radiación absorbida, detectada mediante un medio, nos indicará, entre otras cosas, la existencia de una falla interna o defecto en el material.

La radiografía industrial es entonces usada para detectar variaciones de una región de un determinado material que presenta una diferencia en espesor o densidad comparada con una región vecina, en otras palabras, la radiografía es un método capaz de detectar con buena sensibilidad defectos volumétricos.

### 2.3.1 Rayos-X

Se trata de una radiación electromagnética penetrante, con una longitud de onda menor que la luz visible, producida bombardeando un blanco generalmente de wolframio, con electrones de alta velocidad.<sup>3</sup>

Los rayos X fueron descubiertos de forma accidental en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen mientras estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje. A pesar de que el tubo estaba dentro de una caja de cartón negro, Roentgen vio que una pantalla de platinocianuro de bario, que casualmente estaba cerca, emitía luz fluorescente siempre que funcionaba el tubo.

Tras realizar experimentos adicionales, determinó que la fluorescencia se debía a una radiación invisible más penetrante que la radiación ultravioleta. Roentgen llamó a los rayos invisibles "rayos X" por su naturaleza desconocida. Posteriormente, los rayos X fueron también denominados rayos Roentgen en su honor.

#### Naturaleza de los rayos-X

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde unos 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a  $10^{-9}$  m).

Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayores son su energía y poder de penetración. Los rayos de mayor longitud de onda, cercanos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos; los de menor longitud de onda, que están más próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con ésta, se denominan rayos X duros.

Tanto la luz visible como los rayos X se producen a raíz de las transiciones de los electrones atómicos de una órbita a otra. La luz visible corresponde a transiciones de electrones externos y los rayos X a

transiciones de electrones internos.

Los rayos X se producen siempre que se bombardea un objeto material con electrones de alta velocidad. Gran parte de la energía de los electrones se pierde en forma de calor; el resto produce rayos X al provocar cambios en los átomos del blanco como resultado del impacto. Los rayos X emitidos no pueden tener una energía mayor que la energía cinética de los electrones que los producen. La radiación emitida no es monocromática, sino que se compone de una amplia gama de longitudes de onda, con un marcado límite inferior que corresponde a la energía máxima de los electrones empleados para el bombardeo.

### Tubo de rayos-X

Carcasa protectora: el tubo de rayos X, siempre está montado en una carcasa protectora, formada de plomo, y diseñada para controlar los serios peligros que afectaron a la radiología en sus principios, (exposición excesiva a la radiación, descarga eléctrica). La carcasa protectora proporciona también un soporte mecánico al tubo de rayos X, y lo protege frente al posible daño producido por la manipulación descuidada. Cuando se producen, los rayos X son emitidos con la misma intensidad en todas las direcciones, pero nosotros solo empleamos los emitidos a través de una sección especial del tubo de rayos X, llamada ventana.

Los rayos X emitidos a través de la ventana se conocen como haz útil, los restantes que se escapan a través de la carcasa protectora son, la radiación de fuga.

La carcasa protectora, alrededor de algunos tubos de rayos X, contiene aceite que actúa como aislante técnico y refrigerador.

---

<sup>3</sup>AGUIRRE A. TITUAÑA C. Diseño y Construcción de un elevador posicionador del cabezal de rayos X; Tesis Quito. 1985. Biblioteca central de la EPN.

Envoltura de cristal: el de rayos X, es un tipo especial de tubo de vacío, los componentes del tubo se encuentran dentro de una envoltura de cristal. Esta envoltura, que debe de ser fabricada de un vidrio que pueda soportar el tremendo calor generado, mantiene el vacío, lo cual hace posible una producción más eficaz de rayos X, y prolonga la vida del tubo. Si estuviera lleno de gas, disminuiría el flujo de electrones que van del cátodo al ánodo, se producirían menos rayos X y se crearía más calor. La ventana del tubo es de un cristal más fino que deja filtrar los rayos X. Es un segmento que permite una máxima emisión de rayos X con absorción mínima por la envoltura de cristal.

Cátodo: parte negativa del tubo de rayos X, tiene dos partes principales: el filamento y la copa de enfoque.

Filamento: es una espiral de alambre que emite electrones al ser calentado.

Cuando la corriente que atraviesa el filamento es lo suficientemente intensa, de aproximadamente 4 a 5 Ampere o superior, los electrones de la copa externa del filamento entran en ebullición y son expulsados del filamento, este fenómeno se conoce como emisión termoiónica. Los filamentos suelen estar formados por Tungsteno Tórico, el Tungsteno proporciona una emisión termoiónica mayor que otros metales. Su punto de fusión es de 3410 °C, de forma que no es probable que se funda con el calor, además no se evapora, puesto que si lo hiciera el tubo se llenaría rápidamente de gas. La adición de un uno a un dos por ciento de Torio al filamento de Tungsteno, incrementa la eficacia de la emisión de electrones y prolonga la vida del tubo.

La copa de enfoque es un refuerzo metálico del filamento, condensa el haz de electrones en un área pequeña del cátodo. La efectividad de la copa de enfoque depende de tres factores:

1. La corriente del filamento que regula la cantidad de rayos X de salida.

2. El tamaño del filamento impone el tamaño del foco efectivo que se produce en el ánodo. Los tubos de rayos X suelen llevar dos filamentos de diferente tamaño, que proporcionan dos puntos focales; el punto focal de tamaño pequeño se asocia con el filamento menor y se emplea cuando se necesitan imágenes de alta resolución. El punto focal de tamaño grande se asocia con el filamento mayor y se emplea cuando se necesitan técnicas que produzcan gran cantidad de calor.
3. La situación de uno u otro suele hacerse con el selector que se encuentra en la consola de control.

Ánodo: es el lado positivo del tubo de rayos X, existen dos tipos: estacionarios y rotatorios.

El ánodo tiene tres funciones en el tubo de rayos X:

1. Es un conductor eléctrico
2. Proporciona soporte mecánico al blanco.
3. Debe ser un buen conductor térmico, cuando los electrones chocan con el ánodo, más del 99% de su energía cinética se convierte en calor, que debe ser eliminado rápidamente antes de que pueda fundir el ánodo. El cobre es el material más utilizado en el ánodo.

Punto focal: es el área del blanco desde la que se emiten los rayos X.

Constituye la fuente de radiación.

Blanco: es el área del ánodo con la que chocan los electrones procedentes del cátodo. En los tubos de ánodo estacionario, el blanco consiste en una pequeña placa de tungsteno que se encuentra encastrado en un bloque de cobre. En los tubos de ánodo rotatorio, el disco que gira es el blanco, normalmente está formado por una aleación de Tungsteno mezclada con Torio, que proporciona una resistencia adicional para soportar el esfuerzo de la rotación rápida.

El Tungsteno es el material elegido para el blanco.

En la figura 2.1 se observa el dispositivo utilizado para la realización de la práctica radiográfica.



Figura 2.1 Equipo de generación de rayos-X. (General Electric Inspection Technologies, Interpretación de radiografías, 2004)

### 2.3.2 Rayos Gamma.

Los rayos gamma, cuyos efectos son similares a los de los rayos X, se producen por transiciones de energía en el interior de núcleos excitados. El espectro de difracción de la luz se observa en la figura 2.

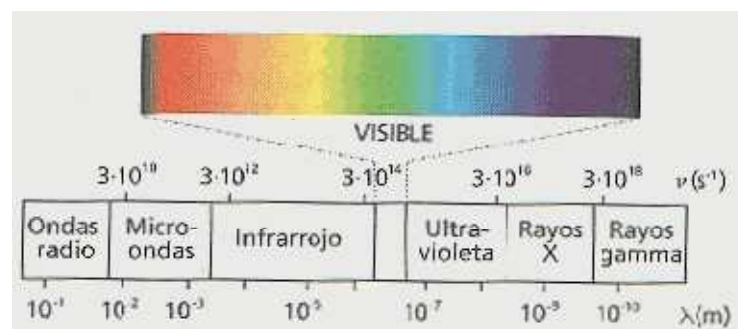


Figura 2.2 Espectro de difracción de la luz. (General Electric Inspection Technologies, Interpretación de radiografías, 2004)

### Radiación Gamma



Las emisiones alfa y beta suelen ir asociadas con la emisión gamma. Los rayos gamma no poseen carga ni masa; por tanto, la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo no conlleva cambios en su estructura, sino simplemente la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante.

Con la emisión de estos rayos, el núcleo compensa el estado inestable que sigue a los procesos alfa y beta.

La partícula alfa o beta primaria y su rayo gamma asociado se emiten casi simultáneamente. Sin embargo, se conocen algunos casos de emisión alfa o beta pura, es decir, procesos alfa o beta no acompañados de rayos gamma; también se conocen algunos isótopos que emiten rayos gamma de forma pura. Esta emisión gamma pura tiene lugar cuando un isótopo existe en dos formas diferentes, los llamados isómeros nucleares, con el mismo número atómico y número másico pero distintas energías.

La emisión de rayos gamma acompaña a la transición del isómero de mayor energía a la forma de menor energía. Un ejemplo de esta isomería es el isótopo protactinio 234, que existe en dos estados de energía diferentes, y en el que la emisión de rayos gamma indica la transición de uno al otro. En la figura 2.3 se observa la generación de radiación gamma.

**Intencionalmente espacio en blanco**

**Radiactividad** Más información acerca de este artículo

Esquema

Introducción

Tipos de radiación

- Partículas alfa
- Desintegración beta
- Rayos gamma

La hipótesis nuclear

Radiación gamma

Periodo de semidesintegración

Series de desintegración radiactiva

Radiactividad artificial

**Rayos gamma**

Tipos de radiación

**Tipos de radiación**

- Partículas alfa
- Desintegración beta
- Rayos gamma

Rutherford descubrió que las emisiones radiactivas contienen al menos dos componentes: partículas alfa, que sólo penetran unas milésimas de centímetro en el aluminio, y partículas beta, que son casi 100 veces más penetrantes. En experimentos posteriores se sometieron las emisiones radiactivas a campos eléctricos y magnéticos, y estas pruebas pusieron de manifiesto la presencia de un tercer componente, los rayos gamma, que resultaron ser mucho más penetrantes que las partículas beta. En un campo eléctrico, la trayectoria de las partículas beta se desvía mucho hacia el polo positivo, mientras que la de las partículas alfa lo hace en menor medida hacia el polo negativo; los rayos gamma no son desviados en absoluto. Esto indica que las partículas beta tienen carga negativa, las partículas alfa tienen carga positiva (se desvían menos porque son más pesadas que las partículas beta) y los rayos gamma son eléctricamente neutros.

El descubrimiento de que la desintegración del radio produce radón demostró de forma fehaciente que la desintegración radiactiva está acompañada de un cambio en la naturaleza química del elemento que se desintegra. Los experimentos sobre la desviación de partículas alfa en un campo eléctrico demostraron que la relación entre la carga eléctrica y la masa de dichas partículas es aproximadamente la mitad que la del ion

Figura 2.3 Generación de radiación gamma. (General Electric Inspection Technologies, Interpretación de radiografías, 2004)

### Indicadores de calidad de imagen

Los indicadores de calidad de imagen consisten en alambres o plaquetas escalonadas del mismo material que el objeto a radiografiar, cuyos diámetros o espesores representan por ej. el 1%, 2%, 3% del espesor máximo del objeto, permitiendo evaluar por comparación la calidad radiográfica.

El indicador se coloca sobre la cara del objeto que enfrenta la radiación en la parte más alejada del film (zona de mayor espesor) y en la posición geoméricamente más desfavorable, por ejemplo, en el extremo más alejado respecto del punto en que la radiación incide normalmente.

El espesor del hilo o escalón más delgado que sea visible en la radiografía, es el que permite evaluar la calidad de la técnica radiográfica

cesada.

En el desarrollo del ensayo se utilizarán dos tipos de indicadores de calidad de imagen:

INDICADORES DIN (1): De acuerdo a la norma DIN 54.109, la calidad de imagen se caracteriza por el alambre más delgado de una serie de alambres de diversos diámetros que varían según la progresión geométrica adoptada por el I.I.W. / I.I.S. Estos van embutidos en un material plástico transparente.

INDICADORES ASME (2): Este indicador de calidad de imagen responde a las especificaciones de la American Society of Mechanical Engineers. El espesor normal del indicador es igual al 2 % del espesor a radiografiar, este espesor se indica con números de plomo cuya altura no ha de ser inferior a 3/32" (2,4 mm.).

### 2.3.3 Ensayo por ultrasonido



Figura 2.4 Inspección por ultrasonido .(www.ndt.mx.com,Ultrasonido Industrial)

#### **Ultrasonido:**

El aprovechamiento del ultrasonido (Fig.2.4), ha ganado espacio importante entre las técnicas de ensayos no destructivos. Se considera ultrasonido aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por

encima de la gama audible (esto es, superior a 20 000 Hz).

El equipamiento utilizado para la aplicación de estas técnicas es capaz de generar, emitir y captar haces de ondas muy bien definidas sujetas a las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. Al ser captadas, son analizadas según el objetivo del equipamiento y con la determinación del tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede conocerse la distancia recorrida, al ser la velocidad previamente establecida.

El ensayo por ultrasonido es un método no destructivo, en el cual un haz sónico de alta frecuencia (125 KHz a 20 MHz) es introducido en el material a ser inspeccionado con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

### **Definición y naturaleza de las ondas ultrasónicas**

Son ondas mecánicas vibratorias o sea para que sea propague el ultrasonido, se requiere que las partículas del medio ya sea liquido, aire o sólido oscilan alrededor de sus posiciones de equilibrio<sup>4</sup>.

### **Diferencia entre sonido y ultrasonido**

Son de la misma naturaleza, lo que la diferencia es su frecuencia así:

- Ondas sónicas: frecuencia entre 16 y 20000 ciclos por segundos.
- Ondas ultrasónicas: frecuencias mucho mayores de 20000 ciclos por segundos.

Para materiales metálicos: se opera entre 1 y 5 MHz pero se pueden trabajar con frecuencias mucho mayores.

---

<sup>4</sup> [www.ndt.mx.com](http://www.ndt.mx.com), Ultrasonido Industrial

Para materiales no metálicos: ej: cerámicos, trabajan con frecuencias menores de 1mhz ( $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  MHz).

### **Tipos de ondas ultrasónicas**

Se clasifican en:

- Ol. Onda longitudinal: se propaga en tres medios.
- OT. Onda transversal: se propaga en sólidos únicamente.
- OR. Onda Rayleigh: se propaga en sólidos únicamente.

### **Impedancia acústica**

Resistencia del medio a la vibración acústica de las partículas.

### **Generación de ondas ultrasónicas<sup>5</sup>**

Para generar existen varios métodos. Para el ultrasonido se hace uso de cristales piezoeléctricos o de materiales cerámicos ferro eléctrico.

Piezoelectricidad: propiedad de algunos cristales como el cuarzo de convertir energía eléctrica en energía mecánica vibratoria y viceversa. Cuarzo para altas frecuencias, mayores de 10 MHz.

Ferro electricidad: propiedad de algunos materiales cerámicos previamente polarizados de comportarse como los cristales piezoeléctricos. ej: titanato de bario, sulfato de litio.

#### **2.3.4 Ensayo de líquidos penetrantes.**

La inspección por líquidos penetrantes es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados, cómo se observa en la figura 2.5. Generalmente se emplea en aleaciones no ferrosas, aunque también se puede utilizar para la inspección de

materiales ferrosos cuando la inspección por partículas magnéticas es difícil de aplicar. En algunos casos se puede utilizar en materiales no metálicos.<sup>6</sup>



Figura 2.5 Ensayos de Líquidos Penetrantes .(*General Electric Inspection technologies, Penetrant Testing, 2004*)

El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie en estudio, el cual penetra en cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. Después de un determinado tiempo se remueve el exceso de líquido y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de éstas.

Las aplicaciones de esta técnica son amplias, y van desde la inspección de piezas críticas como son los componentes aeronáuticos hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico. Se pueden inspeccionar materiales metálicos, cerámicos vidriados, plásticos, porcelanas, recubrimientos electroquímicos, entre otros. Una de las desventajas que presenta este método es que sólo es aplicable a defectos superficiales y a materiales no porosos.

### **Intencionalmente espacio en blanco**

<sup>5</sup>[www.asnt.org/index.html](http://www.asnt.org/index.html), ensayos no destructivos.

<sup>6</sup>Ensayos no Destructivos, Ing. Miguel Villacrés.

### 2.3.5 Ensayo por partículas magnéticas



Figura 2.6 Materiales ferromagnéticos.

(<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/disultra.htm>)

La inspección por partículas magnéticas es un método para localizar discontinuidades superficiales y sub. Superficiales en materiales ferromagnéticos, (Ver fig. 2.6).

Limitaciones que deben tenerse en cuenta, por ejemplo, las películas delgadas de pintura y otros recubrimientos no magnéticos tales como los galvanostégicos, afectan adversamente la sensibilidad de la inspección.

Además el método solo es útil en materiales ferromagnéticos.

#### **Campo de fuga**

El método de partículas magnéticas consiste en la detección de campos de fuga, o sea los flujos dispersos, provocados por la formación de polos magnéticos a ambos lados de aquellas discontinuidades que interrumpen el camino de las líneas de fuerza.

#### **Métodos de imantación**

En la inspección de piezas metálicas (ferromagnéticas) se toma ventaja

del campo magnético generado por corrientes eléctricas. Aunque se puede usar imanes permanentes, esto se utiliza poco porque normalmente se requieren campos fuertes.

Las técnicas de ensayo se pueden clasificar según si se mantienen o no las fuerzas magnéticas durante la aplicación del medio de inspección, así se tiene el método residual y el método continuo.<sup>7</sup>

De acuerdo con el carácter del campo utilizado los métodos pueden ser:

- Método circular o circunferencial
- Método longitudinal
- Método paralelo
- Método de espiral o campo de distorsión
- Combinación de los anteriores

El ensayo por partículas magnetizables es utilizado en la localización de discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. Puede aplicarse tanto en piezas acabadas como en semiacabadas y durante las etapas de fabricación.

El proceso consiste en someter la pieza, o parte de esta, a un campo magnético.

En la región magnetizada de la pieza, las discontinuidades existentes, o sea, falta de continuidad de las propiedades magnéticas del material, acusarán un campo de flujo magnético.

Con la aplicación de partículas ferromagnéticas, ocurrirá una aglomeración de estas en los campos de fuga, una vez que son atraídas debido al surgimiento de polos magnéticos. La aglomeración indicará un contorno del campo de fuga, forneciendo la visualización del formato y de la extensión de la discontinuidad, (Ver fig. 2.7)

---

<sup>7</sup>[www.ndt.mx.com](http://www.ndt.mx.com), Partículas Magnéticas





Figura 2.7 Procedimiento de inspección por partículas magnéticas.

(<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/disultra.htm>)

### 2.3.6 Valor de los END

1. En su aplicación se utilizan las propiedades físicas y fisicoquímicas de los materiales y sus correlaciones con los distintos campos de energía.
2. Cada método es de aplicación específica para un determinado tipo de problema y/o material.
3. Cada método se puede aplicar según distintas técnicas, con determinado alcance y limitaciones.
4. En la generalidad de los casos, la información se recibe a través de indicaciones que se pueden relacionar con discontinuidades, variaciones estructurales, dimensiones etc.
5. Para la aplicación de cada método, se requiere de calibraciones específicas en base a patrones o elementos de referencia, a fin de poder evaluar las indicaciones obtenidas y referenciarlas a un umbral de detección. Este umbral generalmente se lo designa como "sensibilidad de ensayo".
6. La aplicación de cualquier método de ensayo no destructivo requiere siempre de un procedimiento escrito.

En la aplicación de estos métodos, siempre se deben tener en cuenta parámetros tales como material, proceso de fabricación, tipo de defectología o información buscada etc., de manera de desarrollar un procedimiento escrito que permita asegurar que la

técnica utilizada es adecuada a los fines perseguidos.

7. Para la implementación del procedimiento se requiere de equipamiento específico y personal calificado y certificado, es decir que tenga buena formación teórica - práctica y experiencia.

## **2.4 Introducción a los Líquidos Penetrantes**

Mediante la inspección con líquido penetrante o técnica de tinte penetrante, pueden detectarse discontinuidades como grietas que entran en la superficie. Un tinte líquido es atraído por acción capilar hacia una grieta delgada, que de otra manera resultaría invisible. Hay cuatro etapas en este proceso. La superficie primero se limpia completamente; se rocía sobre ella un tinte líquido y se le deja durante un periodo durante el cual el tinte es atraído hacia cualquier discontinuidad superficial.

La tinta excedente entonces se limpia retirándola de la superficie del metal. Finalmente, sobre ésta se rocía una solución reveladora, la cual reacciona con cualquier tinte que haya quedado y extrayendo el de las grietas. Entonces la pintura ya puede ser observada, debido a los cambios de color del revelador o porque se vuelve fluorescente bajo luz ultravioleta.

Existen dos tipos básicos de líquidos penetrantes, fluorescentes y no fluorescentes.

La característica distintiva principal entre los dos tipos es:

- a. los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un colorante que fluoresce bajo la luz negra o ultravioleta.
- b. los líquidos penetrantes no fluorescentes contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca.

Para los efectos del método de inspección por líquidos penetrantes, el penetrante líquido que tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio que se exponga ante él. Sin embargo, se requiere

mucho más que la habilidad de esparcirse y penetrar para que realice una buena función.

**Ventajas:**

- Muy económico
- Inspección a simple vista
- No se destruye la pieza
- Se obtiene resultados inmediatos.

**Desventajas:**

- Solo detecta fallas superficiales
- Dificil establecimiento de patrones
- La superficie a inspeccionar debe estar limpia y sin recubrimientos
- No se puede inspeccionar materiales demasiado porosos

**Principios Físicos:**

- Capilaridad: Es la acción que origina que un líquido ascienda o descienda a través de los llamados tubos capilares.
- Cohesión: Es la fuerza que mantiene a las moléculas de un cuerpo a distancias cercanas unas de las otras.
- Adherencia: Es la fuerza de atracción entre moléculas de sustancias diferentes.
- Viscosidad: Es la resistencia al deslizamiento de una capa de un fluido sobre otra capa.
- Tensión superficial: Es la fuerza no compensada que ejerce la superficie del líquido debido a la tensión no compensada de las moléculas subsuperficiales sobre la membrana superior.

**2.4.1 Clasificación por color**

**Penetrantes coloreados**

Se inspeccionan a simple vista como se puede observar en la fig. 2.8.

Solamente hay que contar con una buena fuente de luz blanca, con la desventaja de que poseen menos sensibilidad.



Figura 2.8 Examen con penetrante visible. (*Ensayos No Destructivos, Ing. Miguel Villacrés*)

### **Penetrantes fluorescentes**

Se inspeccionan con la ayuda de una lámpara de luz ultravioleta. Sin ésta son invisibles a la vista. Tienen mayor sensibilidad. (Ver fig. 2.9)



Figura 2.9 Material rociado con Penetrante Fluorescente (*www.ndt.mx.com.liquidospentrantes*)

## **2.4.2 Clasificación por solubilidad**

### **Penetrantes lavables con agua o autoemulsionables**

Para su limpieza y remoción de excesos simplemente se usa agua. Resultan muy económicos de utilizar.

### **Penetrantes post-emulsionables**

No son solubles en agua. Para la remoción de los excesos superficiales se utiliza un emulsionante que crea una capa superficial que se remueve con agua. Es el método con el mayor sensibilidad se obtiene y en el que mayor dominio de cada una de las etapas tiene el operador.

Existen dos tipos de emulsionantes: los hidrofílicos de base acuosa, que se utilizan en solución de agua, en una saturación determinada por las necesidades del caso. Y lipofílicos de base aceite, que se utilizan tal como los entrega el fabricante.

### **Penetrantes lavables con solvente**

Tampoco son solubles en agua. Para su remoción se utiliza un solvente no acuoso. En la práctica se utilizan los mismos materiales de los penetrantes post emulsionables. Son muy prácticos de utilizar ya que el solvente generalmente se presenta en aerosol.

## **2.5 Sistemas penetrantes**

Los sistemas penetrantes generalmente se identifican por el método empleado en la remoción del exceso del líquido penetrante. Estos sistemas son:

- a. Removible con agua

- b. Post-emulsificable lipofílico
- c. Removible con solventes
- d. Post-emulsificable hidrofílico

Estos sistemas son comunes tanto a los tipos de penetrante fluorescente como a los de colorante visible.

En el caso de penetrantes removibles con agua, el exceso de penetrante es removido con un simple lavado con agua.

En el caso de penetrantes post-emulsificables, se requiere una etapa adicional separada, que consiste en la aplicación de un emulsificador que hace que el penetrante pueda ser removido posteriormente con un lavado con agua.

En el caso de penetrantes removibles con solvente, el exceso de penetrante se remueve utilizando trapos o papeles absorbentes impregnados con solventes especialmente formulados para este fin.

### **2.5.1 Sistema penetrante removible con agua**

Este sistema consiste en un líquido penetrante lavable con agua, que al ser aplicado a la superficie de la pieza y después de haberlo dejado un tiempo de penetración suficiente se retira de la superficie de la pieza mediante lavado con agua. Los penetrantes empleados en los procesos lavables con agua no son soluciones simples sino formulas que contienen ciertos ingredientes tales como aceites penetrantes, colorantes, agentes emulsificadores y agentes estabilizadores. El objetivo de la formulación es producir un líquido único que contiene características de buena penetrabilidad y solubilidad del colorante con propiedades de lavado bajo la acción del agua y que mantenga su estabilidad bajo condiciones variables de temperatura y otras variables de operación.

### **2.5.2 Sistema penetrante post-emulsificable lipofílico**

Este método consiste en la aplicación de un líquido penetrante postemulsionable a la superficie de la pieza. Después de un periodo de penetración adecuado, al penetrante se hace lavable con agua mediante la aplicación de un emulsificador lipofílico, o sea de base oleosa, el cual se mezcla con el penetrante por ser mutuamente solubles. En este sistema se requiere un tiempo de emulsificación muy exacto y se debe tener mucho cuidado para que el penetrante no sea sobre emulsificado y pueda ser removido de las discontinuidades en el lavado posterior con agua.

Generalmente los tiempos de emulsificación están comprendidos entre segundos y cinco minutos.

### **2.5.3 Sistemas penetrantes removible con solventes**

Los líquidos penetrantes removibles con solventes solo deberán emplearse para inspección puntual y cuando por razón del tamaño de la pieza, masa y condición de la superficie el método de lavado con agua no es factible o práctico. En este método, el exceso de penetrante se elimina en dos etapas. Primero, se elimina todo el penetrante posible limpiando la superficie de la pieza con un paño limpio y absorbente, exento de pelusa. La capa superficial de penetrante que queda se elimina después pasando por la pieza un paño ligeramente impregnado de un disolvente apropiado. Es necesario tener cuidado de no emplear demasiado disolvente con el fin de minimizar la posibilidad de eliminar el penetrante contenido en las discontinuidades.

### **2.5.4 Sistema penetrante post-emulsificable hidrofílico**

Al igual que en el caso del sistema post-emulsificable lipofílico, después de transcurrido el tiempo de penetración, se aplica un emulsificador, en

este caso de base acuosa, el cual no se mezcla con el penetrante por no ser estos mutuamente solubles, sino que actúa en la intercara rompiendo la cadena de carbono de la base oleosa del penetrante, emulsificando gradualmente capa por capa

2.6

### **Características de los líquidos penetrantes<sup>8</sup>**

El líquido penetrante tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio en la superficie del material. El penetrante ideal debe reunir lo siguiente:

- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
- Habilidad para permanecer en aberturas amplias.
- Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
- Habilidad de extenderse en capas muy finas.
- Resistencia a la evaporación.
- De fácil remoción de la superficie.
- De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
- De fácil absorción de la discontinuidad.
- Atoxico, incoloro, no corrosivo, anti inflamable, estable bajo condiciones de almacenamiento y de costo razonable.

Para cumplir los requisitos anteriores, deberán combinarse diferentes ingredientes que posean adecuadas propiedades, entre las cuales las más importantes son la tensión superficial, el poder humectante, la viscosidad, volatilidad, tolerancia a la contaminación, gravedad específica, punto de inflamación, inactividad química y capacidad de disolución. En cuanto a estas propiedades se tendrá:

- Tensión superficial: es una de las propiedades más importantes. Se requiere una tensión superficial baja para obtener buenas propiedades de penetración y mojado.
- Poder humectante: el penetrador debe ser capaz de mojar completamente la superficie del material y es una de las propiedades



más importantes. Esto se refiere al Angulo de contacto del líquido con la superficie, el cual debe ser lo más bajo posible.

- Viscosidad: esta propiedad no produce efecto alguno en la habilidad de un líquido para “penetrar”, aunque afecta la velocidad de penetración. Los penetrantes de alta viscosidad penetran lentamente, en tanto que los de baja viscosidad se escurren muy rápido y tiene la tendencia a no ser retenidos en los defectos de poca profundidad; por tanto se recomienda una viscosidad media.
- Volatilidad: Los líquidos penetrantes no deben ser volátiles. Si existe una evaporación excesiva de los productos del penetrante, se verá afectada la sensibilidad de todo el proceso, debido tanto al desequilibrio de la fórmula, como a la pérdida del poder humectante.
- Gravedad específica o densidad relativa: no juega un papel directo sobre el comportamiento de un penetrante dado; sin embargo, con densidades bajas se facilita el transporte y los materiales extraños tenderán a sedimentar en el fondo cuando se usan tanques abiertos.
- La mayoría de los líquidos penetrantes tienen densidades relativas que varían entre 0.86 y 1.06 a 16 °C, y por lo general la densidad es menor que 1.
- Punto de inflamación: como medida de seguridad practica los líquidos penetrantes deberán poseer un punto de inflamación elevado con el fin de deducir los peligros de incendio. Generalmente el punto de inflamación es mayor de 95 °C, y en recipientes abiertos no debe ser menor de 65 °C.
- Inactividad química: los productos usados en la formulación de los líquidos penetrantes deben ser inertes y no corrosivos con respecto a los materiales a ser ensayados y a los recipientes que los contienen.
- Capacidad de disolución: el penetrante debe tener una elevada capacidad para contener grandes concentraciones de los pigmentos coloreados o fluorescentes usados, y para mantener dichos componentes en solución.

---

<sup>8</sup>BETZ C. Principles of Penetrants. Second Edition. Magnaflux Corporation. Chicago. 1964

En la producción de los penetrantes debe tenerse en cuenta los factores anteriores y algunos otros; por lo tanto, en muchos casos algunas de las propiedades deben ser sacrificadas en parte, para lograr una “buena fórmula”.

Por ello es importante tener en cuenta todos los factores para la elección del penetrante adecuado, una ayuda para ello es la Tabla 2.1 que se muestra a continuación.

**Tabla 2.1 Propiedades física del tinte penetrante y del revelador**

<b>Propiedad física</b>	<b>Penetrante</b>	<b>Revelador</b>
Capilaridad	Alta	Baja
Tensión superficial	Baja	Alta
Adherencia	Baja	Alta
Cohesión	Baja	Alta
Viscosidad	Baja	Alta
Partículas	Pequeñas	Grandes

**Fuente:** investigación de campo.  
**Elaborado por:** A/C León Daniel

## **2.7 Métodos de aplicación de los líquidos penetrantes en END**

Se aplica el líquido penetrante a la superficie de la pieza a ser examinada, permitiendo que penetre en las aberturas del material, después de lo cual el exceso del líquido es removido. Se aplica entonces el revelador, el cual es humedecido o afectado por el penetrante atrapado en las discontinuidades de esta manera se incrementa la evidencia de las discontinuidades, tal que puedan ser vistas ya sea directamente o por medio de una lámpara o luz negra.

Tipo I = Penetrante fluorescente.

Tipo II = Tintas permanentes o visibles.

Proceso A = Penetrante lavable en agua.

Proceso B = Penetrante postemulsificado.

Proceso C = Penetrante removido con solvente.

Revelador seco: Grano fino se aplica por espolvoreado, rociado o sumergido.

Revelador no acuoso: Es una suspensión absorbente, aplicado por rocío

Revelador húmedo: Es una suspensión absorbente de polvo en agua, se aplica por inmersión.

Portátil (atomizador).

Estacionario (inmersión).

Simple vista Spoteheck (portátil).

Luz negra Syglo (estacionario).

### 2.7.1 Preparación y limpieza de la pieza:



Figura 2.10 Limpieza de la pieza (Askeland R. Donald "La ciencia e ingeniería de los materiales.2da Edición).

Cómo se observa en la figura 2.10, es importante y el primer paso para la inspección, limpiar cuidadosamente la superficie a inspeccionar de pintura, aceite, grasa y otros contaminantes. Será necesario eliminar los restos de óxidos, pinturas, grasas, aceites, taladrinas, carbonilas, etc. Y esto se hace por métodos químicos, ya que los mecánicos, están prohibidos por la posibilidad que tiene su aplicación de tapar defectos existentes.

Se pueden usar todos aquellos procesos que dejen a la superficie limpia y seca; que no dañen al espécimen y que no empleen productos que sean incompatibles con los componentes.

Soluciones detergentes en caliente por inmersión, desengrase en fase de vapor o desengrase mediante disolvente, son los principales métodos para eliminar grasas y aceites. Los óxidos y las carbonillas térmicas se eliminarán con desoxidantes alcalinos o ácidos y a veces, principalmente en superficies rectificadas se hace un ataque ácido a fondo que abre las grietas durante la operación. Las pinturas se eliminan con productos cáusticos en caliente o basados en ellos.

### **2.7.2 Aplicación del penetrante.**

Los penetrantes se aplican por inmersión, rociado con un cepillo o brocha, vertiendo el líquido sobre la pieza o cualquier otro método, vertiendo el líquido sobre la pieza o cualquier otro método que cubra la zona que se inspecciona.

Será necesario obtener una película fina uniforme en toda la superficie y se deberá esperar un tiempo llamado tiempo de penetración para que el líquido penetre en grietas. Este tiempo oscila entre los 5 y 15 minutos dependiendo del material y la clase de grietas.

### **2.7.3 Eliminación del exceso de penetrante.**

Se debe retirar la capa superficial del penetrante de forma que lo único que permanezca sea el que se hubiera alojado en las discontinuidades.

Se entiende por exceso de penetrante todo líquido que no se ha introducido en los defectos y que permanece sobrante sobre la superficie de la pieza a inspeccionar.

Esta etapa es crítica y de su correcta realización dependerá el resultado final de la inspección, ya que es necesario eliminar y limpiar el exceso de penetrante de tal modo que no extraigamos el penetrante introducido en los defectos. Si no se ha eliminado perfectamente el líquido penetrante, en la inspección final aparecerán manchas de penetrante produciendo indicaciones falsas e incluso, el enmascaramiento de las grietas. Para saber si hemos eliminado bien el exceso de penetrante es necesario hacer una inspección visual. Es aconsejable quitar en primer lugar la mayor parte del penetrante con trapos o papel absorbente y después eliminar el resto utilizando trapos o papel ligeramente impregnados en disolvente.

#### 2.7.4 Aplicación del revelador.



Figura 2.11 Aplicación del Revelador (Askeland R. Donald "La ciencia e ingeniería de los materiales", 2da Edición).

Aplicar el revelador y dejarlo actuar, (Ver fig. 2.11).

El revelado es la operación que hace visible al ojo humano la posición del defecto. El revelador es básicamente un producto en polvo de

compuestos químicos blancos, inertes y con una granulometría tal que dispone de un gran poder de absorción. Una vez aplicado el revelador, hay que esperar un tiempo para que absorba el penetrante, este tiempo oscila entre 5 y 15 minutos.

Durante la preparación de las piezas para la inspección es necesario secarlas después de la aplicación del revelador húmedo o eliminar el remanente antes del uso del polvo revelador seco.

### **2.7.5 Inspección final de la pieza.**

Una vez transcurrido el tiempo de revelado, se procede a la inspección de los posibles defectos de las piezas procesadas.

El tiempo de revelado depende del tipo de penetración, del revelador y del defecto, pero deberá permitirse tiempo suficiente para que se formen las indicaciones. La inspección se realiza antes de que el penetrante comience a exudar sobre el revelador hasta el punto de ocasionar la pérdida de definición.

El proceso de inspección se compone de cuatro etapas. (Ver fig. 2.12)

- a. Aplicación del penetrante.
- b. Limpieza de excedente
- c. Aplicación del revelador
- d. Inspección e interpretación

Una regla práctica es que el tiempo de revelado nunca debe ser menor a siete minutos.

- Indicaciones relevantes. Son las causadas por discontinuidades que están generalmente presentes en el diseño.
- Indicaciones falsas. Son el resultado de alguna forma de contaminación con penetrantes, estas indicaciones no pueden referirse a ningún tipo de discontinuidad.

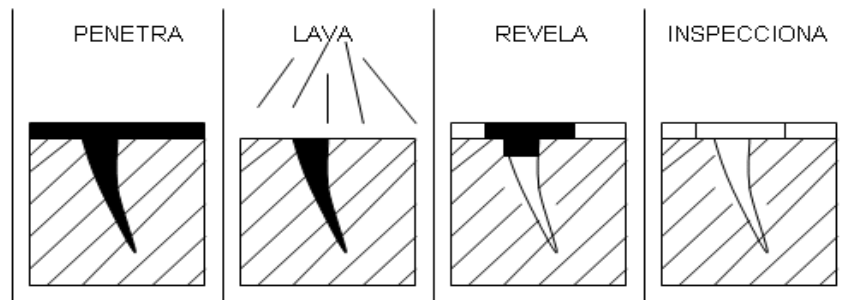


Figura 2.12 Procedimiento de inspección por Líquidos Penetrantes(<http://www.eddytronic.cl/>)

### 2.7.6 Limpieza final.

Se debe llevar a cabo en razón de los productos usados en el ensayo.

En la tabla 2.2 presentaremos los materiales, el tipo de proceso, tiempo de penetración según el método aplicable, entre otros datos que nos serán de gran ayuda en el momento de realizar una inspección por tintes penetrantes.

**Tabla 2.2 Tiempo de Penetración**

Material	Proceso	Tipo de discontinuidad	Tipo I Y II Proceso A	Tipo I Y II Proceso B	Tipo I Y II Proceso C
Aluminio	Fundición	Porosidades	5 a 10 min	5 min	3 min
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7
	Soldadura	Falta de fusión	30	5	3
	Todos	Porosidades	30	5	3
	Todos	Grietas	30	10	5
	Todos	Grietas de fatiga	NR	30	5
Magnesio	Fundición	Porosidades	15	5	3
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7
	Soldadura	Falta de fusión	30	10	5
	Todos	Porosidades	30	10	5
	Todos	Grietas	30	10	5

		Grietas de fatiga	NR	30	7
Acero	Fundición	Porosidades	30	10	5
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7
		Falta de fusión	60	10	7
	Soldadura	Porosidades	60	10	7
	Todos	Grietas	30	10	7
	Todos	Grietas de fatiga	NR	30	10
Latón y bronce	Fundición	Porosidades	10	5	3
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7
		Falta de fusión	15	10	3
	Recubrimientos	Porosidades	15	10	3
		Grietas	30	10	3
Todos					
Plásticos	Todos	Grietas	5 a 30	5	5
Vidrio	Todos	Grietas	5 a 30	5	5
Herramienta con punta de carburo		Falta de fusión	30	5	3
		Porosidades	30	5	3
		Grietas	30	20	5
Titanio y aleaciones a altas temperaturas	Todos		NR	20 a 30	15

NR = no recomendable

**Fuente:** "Apuntes para el Laboratorio de Pruebas No Destructivas". UPIICSA-IPN  
**Elaborado por:** Ingeniero Iván Escalona

Es importante tomar en cuenta, antes de cualquier tipo de inspección conocer las características, ventajas y desventajas del penetrante a usar según su método aplicable, para ello se ha creado una tabla (ver tabla



2.3) en la que podremos encontrar los principales requerimientos para la aplicación del penetrante.

**Tabla 2.3 Características Del Penetrante Fluorescente**

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LAVADO CON AGUA	<p>La fluorescencia asegura visibilidad</p> <p>Fácilmente lavable con agua.</p> <p>Grandes cantidades de especímenes pequeños.</p> <p>Superficies rugosas.</p> <p>Cuñeros y cuerdas.</p> <p>Amplio rango de discontinuidades.</p> <p>Rápido.</p> <p>Proceso sencillo.</p>	<p>Requiere luz negra y áreas oscuras.</p> <p>No es seguro en la detección de rayones y fallas superficiales.</p> <p>No es seguro volver a probar.</p> <p>No es seguro en superficies anodizadas.</p> <p>Ácidos y cromatos afectan la sensibilidad.</p> <p>Fácilmente sobre lavado.</p> <p>El penetrante está expuesto a la <u>contaminación del agua</u>.</p>
POST EMULSIFICADO	<p>La fluorescencia asegura visibilidad.</p> <p>Alta sensibilidad para discontinuidades muy finas.</p> <p>Bueno para discontinuidades superficiales.</p> <p>Fácilmente lavable con agua después de la emulsificación.</p> <p>Tiempo de penetración corto.</p> <p>No puede ser fácilmente sobre lavado</p>	<p>Requiere luz negra y áreas oscuras.</p> <p>Requiere más paso.</p> <p>Requiere equipo para la aplicación de emulsivo.</p> <p>Difícil remoción del penetrante en cuerdas, cuñeros, agujeros ciegos y superficies rugosas</p>

REMOVIDO CON SOLVENTE	La fluorescencia asegura visibilidad Portátil. No requiere agua. Bueno sobre piezas anodizadas. Para verificación por puntos. Las piezas pueden ser re probadas	Requiere luz negra y áreas oscuras. Material inflamable. No puede usarse en tanques abiertos. Difícil su empleo sobre superficies rugosas tales como fundición de magnesio.
-----------------------------	--	--

Fuente: "Apuntes para el Laboratorio de Pruebas No Destructivas". UPIICSA-IPN

Elaborado por: Ingeniero Iván Escalona

Además de conocer las características del penetrante, sus ventajas y desventajas, es necesario saber en qué circunstancias podríamos usar un determinado proceso, en la cual podamos según nuestro problema analizar el proceso adecuado a usar.(Ver tabla 2.4)

**Tabla 2.4 Guía de Selección del proceso**

PROBLEMA	PROCESO TIPO I Y II	OBSERVACIONES
Alta producción de artículos pequeños	A	Pequeñas cantidades mojadas en canastas
Alta producción de artículos grandes	B	Grandes forjas, extrusiones, etc.
Alta sensibilidad para discontinuidades finas	B	Indicaciones más claras y más brillantes
Discontinuidades superficiales, rayones, etc. Deben detectarse	B	Puede controlarse la profundidad de emulsificación.
Artículos con rugosidad superficial	A	
Artículos con cuerdas y cuñeros.	A	El penetrante podría fijarse en las esquinas.

Artículos con rugosidad superficial media	A – B	La elección depende de los requerimientos de producción y sensibilidad.
Prueba por puntos.	C	
Se necesita equipo portátil.	C	
No se dispone de agua y electricidad	C	
Artículos anodizados, agrietados después del anodizado	C – B – A	De preferencia el orden indicado
Repetir el proceso	C	Cinco a seis repeticiones podrían ser el límite.
Detección de fugas	A – B	

Fuente: Investigación de Campo (Laboratorio de END TAME)

Elaborado por: León C. Daniel S. Mecánica-Aeronáutica ITSA.

## 2.8 Unidades de medida para los END

### 2.8.1 Origen y uso del sistema internacional de unidades (SI)

El Sistema Internacional de Unidades (SI), surgió de la necesidad de unificar y dar coherencia a una gran variedad de subsistemas de unidades que dificultaban la transferencia de resultado de mediciones en la comunidad internacional. El Sistema Internacional se convirtió en un sistema que pudiera ser adoptado por todos los países en el campo de la ciencia, la tecnología, las relaciones comerciales, la producción, los servicios, la investigación y la docencia.

#### **Historia.**<sup>9</sup>

El Sistema Internacional de Unidades (SI) proviene del Sistema Métrico Decimal. El Sistema Métrico Decimal fue adoptado en la I Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y ratificado en 1875 por 15

naciones. Para ese entonces se organizó la Convención del Metro, a la que asistieron representantes de 8 países, y en la que se nombró un Comité Internacional de Pesas y medidas (CIPM), con la finalidad de:

- Estudiar el establecimiento de un conjunto de reglas para las unidades de medida.
- Conocer la opinión de los círculos científicos, técnicos y educativos en todos los países.
- Brindar recomendaciones para el establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida para ser adoptado por todos los firmantes de la Convención del Metro.
- Con el transcurso del tiempo se desarrollaron otros sistemas de medidas como:
  - El Sistema CGS sus siglas representan las unidades: centímetro, gramo y segundo, que fue utilizada principalmente por los físicos.
  - El sistema Giorgi conocido como el Sistema MKS, sus siglas representan al metro, el kilogramo y el segundo.

En el siglo XIX se desarrollaron las llamadas unidades eléctricas absolutas: el ohm, el volt y el ampere, impulsadas por el crecimiento de la industria electrotécnica, la cual buscaba la unificación internacional de las unidades eléctricas y magnéticas.

A mediados del siglo XX, después de diversos intercambios entre los medios científicos y técnicos del mundo, la X CGPM adoptó como unidades básicas: el metro, el kilogramo, el segundo, el ampere, el kelvin y la candela. Finalmente, en el año 1960 la resolución XII de la XI CGPM adoptó el nombre de Sistema Internacional de Unidades, cuya abreviatura es SI.

A partir de entonces, a través de las reuniones del CGPM y CIPM se le han añadido modificaciones de acuerdo con los avances de la ciencia y las necesidades de los usuarios del sistema.

Las ventajas que ofrece el SI, sobre todo los demás son múltiples. Entre ellas resaltaremos dos:

- Es universal, ya que abarca todos los campos de la ciencia, la técnica, la economía y el comercio.
- Es coherente, porque no necesita de coeficientes de conversión y todas sus unidades guardan proporcionalidad entre sí, simplificando la estructura de las unidades de medida y sus cálculos, lo que evita errores en su interpretación.
- Para nuestro estudio es de gran importancia conocer, que tipo de unidades de medida usaremos, ya que con estas podremos dar a conocer de mejor manera nuestros resultados, así entenderemos y aplicaremos de forma correcta las especificaciones, como usos técnicos de las revelaciones al realizar la inspección, para ello se ha tomado unas tablas de las unidades básicas y derivadas usadas en el sistema internacional, sistema en el cual nos basaremos para dar a conocer los resultados de nuestras inspecciones.

Las siguientes tablas muestran las principales unidades usadas durante el proceso de inspección o prueba por tintes penetrantes<sup>10</sup>.

**Tabla 2.5 Unidades Básicas del SI**

Magnitud	Nombre	Símbolo
Longitud	Metro	M
Masa	Kilogramo	Kg
Tiempo	Segundo	S
Intensidad de corriente eléctrica	Ampere	A
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	Mol	Mol
Intensidad luminosa	Candela	Cd

<sup>9,10</sup> Giacomo P. *The new definition of the meter*. Am. J. Phys. 52 (7) JULY 1984, pp. 607-613

**Tabla 2.6 Unidades derivadas sin dimensión.**

Magnitud	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI básicas
Ángulo plano	Radián	Rad	$\text{m}^0\text{m}^0= 1$
Ángulo sólido	Estereorradián	Sr	$\text{m}^2\text{m}^{-2}= 1$

**Tabla 2.7 Unidades SI derivadas expresadas a partir de unidades básicas y suplementarias.**

Magnitud	Nombre	Símbolo
Superficie	metro cuadrado	$\text{m}^2$
Volumen	metro cúbico	$\text{m}^3$
Velocidad	metro por segundo	$\text{m/s}$
Aceleración	metro por segundo cuadrado	$\text{m/s}^2$
Número de ondas	metro a la potencia menos uno	$\text{m}^{-1}$
Masa en volumen	kilogramo por metro cúbico	$\text{kg/m}^3$
Velocidad angular	radián por segundo	$\text{rad/s}$
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	$\text{rad/s}^2$

**Tabla 2.8 Unidades SI derivadas con nombres y símbolos especiales.**

Magnitud	Nombre	Símbolo	Expresión en otras unidades SI	Expresión en unidades SI básicas
Frecuencia	hertz	Hz		$\text{s}^{-1}$
Fuerza	newton	N		$\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
Presión	pascal	Pa	$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
Energía, trabajo,	joule	J	$\text{N}\cdot\text{m}$	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$

cantidad de calor				
Potencia	Watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Cantidad de electricidad carga eléctrica	coulomb	C		s·A
Potencial eléctrico fuerza electromotriz	Volt	V	$W \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Resistencia eléctrica	Ohm	$\Omega$	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Capacidad eléctrica	Farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Flujo magnético	Weber	Wb	V·s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Inducción magnética	Tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Inductancia	Henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

**Tabla 2.9 Unidades SI derivadas expresadas a partir de las que tienen nombres especiales**

<b>Magnitud</b>	<b>Nombre</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Expresión en unidades SI básicas</b>
Viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa·s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
Entropía	joule por kelvin	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Capacidad térmica másica	joule por kilogramo kelvin	J/(kg·K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Conductividad térmica	watt por metro kelvin	W/(m·K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
Intensidad del campo eléctrico	volt por metro	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$

## 2.9 Requisitos de control de calidad aplicables en los ensayos con líquidos penetrantes

Para poder realizar correctamente una evaluación debemos conocer los requisitos necesarios para realizarla de la manera adecuada y no tener problemas en lo posterior.

- Debe haber controles necesarios para asegurar que los materiales y equipos en los sistemas penetrantes proporcionen un nivel aceptable de funcionamiento.
- La frecuencia de las pruebas es considerando el número de inspecciones diariamente; o al menos, antes de una examinación.
- Las pruebas (que sean aplicables) deben efectuarse a materiales en uso, registrarse y conservarse para posibles auditorías.
- Los materiales no recuperados o reusables (contenedores en aerosol) no están sujetos a estos requisitos (pruebas).

En lo que a aviación se refiere debe ser de estricto cumplimiento, respetar normas, y procedimientos establecidos, para la elaboración de cualquier tipo de práctica o actividad, para lo cual detallaremos por medio de una tabla (ver tabla 2.11) los requisitos necesarios para la elaboración de una inspección por tintes penetrantes según lo especifica la norma ASTM E 1417-99.

**Tabla 2.11 Requisitos de control de calidad según ASTM E 1417-99**

<u>Pruebas</u>	<u>Frecuencia</u>
1.- Funcionamiento del sistema.	Diariamente
2.- Contaminación del penetrante.	Diariamente
3.- Contaminación del Revelador acuoso.	Diariamente
4.- Concentración del Revelador acuoso.	Semanalmente
5.- Condición del Revelador Seco.	Diariamente
6.- Presión del Agua.	Cada Turno
7.- Temperatura del Agua.	Cada Turno
8.- Intensidad de la Luz Negra.	Diariamente



9.- Limpieza del área de inspección.	Diariamente
10.- Concentración del agua en penetrantes base-agua.	Semanalmente
11.- Contenido del agua en penetrantes no base agua	Mensualmente
12.- Concentración del emulsificador hidrofílico.	Semanalmente
13.- Sensibilidad del penetrante.	Semanalmente
14.- Brillantez fluorescente.	Trimestralmente
15.- Removilidad del penetrante.	Mensualmente
16.- Contenido del agua en el emulsificador lipofílico.	Mensualmente
17.- Removilidad del emulsificador.	Mensualmente

Fuente: Departamento NDI TAME

Elaborado por: León C. Daniel S. Mecánica-Aeronáutica ITSA.

## 2.10 Precauciones de seguridad

Los Ensayos con Líquidos penetrantes son usados en materiales que poseen características peligrosas o de cuidado. A excepción del agua, el líquido los líquidos usados son usualmente inflamables, y pueden causar irritación en la piel el poder del revelador no es tóxico pero en espacios cerrados puede ser nocivo para la salud.

Los rayos de luz producidos por el espectro de la luz negra/ultravioleta usada en la aplicación de los líquidos penetrantes fluorescentes pueden causar daños fisiológicos.

### **Fuego**

El flashpoint es la más baja temperatura en la cual el vapor sobre una sustancia volátil explota en el aire cuando se expone a la llama.

Algunos materiales del penetrante tienen flashpoints muy bajos y es necesario mantenerlos. El flashpoint más alto de un material se produce

en presencia de fuego. La seguridad necesaria requiere que el material del penetrante usado en tanques abiertos tiene un flashpoint mínimo de 125 °F (52°C).

Los materiales Penetrantes no deben ser almacenados bajo ninguna circunstancia en lugares calientes o cerca de una llama abierta, y deben ser absorbidos por equipo extractor de olores para un correcto desfogue.

### **Irritación de la piel**

La base de aceite de los materiales que componen los líquidos penetrantes tiene una acción de secado sobre la piel. Debido a esto los materiales podrían causar irritaciones peligrosas sobre la misma.

Para prevenir contacto innecesario con la piel cuídese de no esparcirlo de manera inapropiada; use cremas protectoras de manos guantes elaborados a base de neopreno y gafas que protejan el contacto con los ojos en caso de que exista contacto con la piel lavar rápidamente con agua y jabón para remover el penetrante.

### **Contaminación del aire**

El polvo y el vapor de los materiales usados en la aplicación de tintes penetrantes no es tóxico, pero la inhalación excesiva puede ser nociva para la salud.

Para evitar concentraciones excesivas de polvo o vapor en el área de aplicación del penetrante es necesario que en dicha área se trabaje con un extractor de olores que colocado en el lugar indicado puede evitar la alta concentración de los mismos en el área.

### **Luz negra**

La luz negra usada a causa de la fluorescencia de los materiales del penetrante tiene una frecuencia aproximada de 3650 angstroms.

La exposición excesiva de esta luz a los ojos es nociva para muchas especies incluso para los humanos por lo cual es necesaria evitar el contacto excesivo con el espectro de la luz negra y de ser necesario usar filtros que eviten que el arco formado por el mercurio afecte a los ojos de la persona que esté realizando la inspección del material aplicado con penetrante fluorescente.

Para poder desarrollar cualquier tipo de inspección o trabajo, debemos conocer de qué manera se han de tratar los residuos y desechos de los materiales usados para lo cual, se ha incluido un subtema denominado gestión de desechos con el objeto fundamental de conocer cómo administrarlos.

### 2.10.1 Gestión de desechos

Es el conjunto de procedimientos para gestionar el manejo de residuos químicos o físicos que puedan afectar la salud humana y el medio ambiente.

En las figuras de la 2.13 a la 2.17 se muestran los ejemplos de algunos de los tipos más comunes de desechos y trato de los mismos.



Figura 2.13 Ejemplo de Gestión de Desechos. (Wikipedia, Gestión de desechos – specifications ([http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos\\_tóxicos](http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos_tóxicos)))

## Clasificación de los Residuos peligrosos

- Residuo tóxico: es aquel residuo que podría causar daño a la salud humana y al ambiente.



Figura 2.14 Residuo tóxico.

(Wikipedia, *Gestión de desechos – specifications* ([http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos\\_tóxicos](http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos_tóxicos)))

- Residuo crónico: su efecto pernicioso en la salud humana y medio ambiental es de carácter permanente.



Figura 2.15 Residuo crónico

(Wikipedia, *Gestión de desechos – specifications* ([http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos\\_tóxicos](http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos_tóxicos)))

- Residuo inflamable: es un residuo que puede generar incendios o siniestros.



Figura 2.16 Residuo inflamable

(Wikipedia, Gestión de desechos – specifications ([http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos\\_tóxicos](http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos_tóxicos)))

- Residuo corrosivo: es un residuo cuyo contacto físico causa quemaduras o erosiones.



Figura 2.17 Residuo corrosivo

(Wikipedia, Gestión de desechos – specifications ([http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos\\_tóxicos](http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos_tóxicos)))

- Residuo radioactivo: es una clase especial de residuos producto de plantas de generación nuclear, aparatos usados en hospitales, o de medición específicos, que usan radioisotópos o bien producto de un proceso de fabricación de armas nucleares o centrales nucleares. Este tipo de residuos fue el que provocó la catástrofe de Chernóbil.



Figura 2.17 Residuo radioactivo

(Wikipedia, Gestión de desechos – specifications ([http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos\\_tóxicos](http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos_tóxicos)))

### **Planificación de la gestión**

Es importante planificar la gestión de residuos privilegiando la sustitución de su origen, la minimización de los efectos y si es posible inertizarlos, también hay que explorar el reciclaje, si es posible intentando reducir el grado de peligrosidad.

#### **2.11 Normativa**

Para el trabajo de laboratorio se usan diversas normas, dependiendo de las actividades que estos realizan:

- Prácticas de laboratorio
- Servicios a la Industria
- Para la práctica con tintes penetrantes es recomendable usar la norma:

**ASTM E- 165** que corresponde a la práctica conocida por Detección de discontinuidades por medio de líquidos penetrantes, esta norma como general, adicionalmente podemos contar con otras más específicas, según el método o proceso a usar cómo las siguientes:

- ASTM E1417 Standard practice for Liquid Penetrant Examination
- IRAM 760 Ensayos no destructivos. Acero fundido. Examen por líquidos penetrantes.
- IRAM-CNEA Y 500 1001 Ensayos no destructivos. Inspección con líquidos penetrantes. Principios generales.
- IRAM-CNEA Y 500 1004 Ensayos no destructivos. Líquidos penetrantes. Calificación y evaluación de los productos para el ensayo.
- IRAM-ISO 12706 Ensayos no destructivos. Terminología. Términos utilizados en el ensayo por líquidos penetrantes.
- Al terminar el capítulo podemos concluir que las tintas penetrantes tienen el objetivo esencial de todos los procesos de END, como lo es asegurar la integridad del producto manufacturado y hacerlo digno de confianza, para de esta manera prevenir fallas, incidentes y accidentes con el afán de salvar esencialmente vidas humanas, cumpliendo con los más altos estándares de calidad, con menor esfuerzo y con equilibrio económico para la industria.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1 Preliminares**

Para realizar el presente proyecto, se utilizó un análisis de posibilidades u opciones de construcción, las mismas que luego de ser analizadas arrojarán como resultado la alternativa más conveniente.

##### **3.1.1 Descripción de alternativas.**

Para poder escoger la mejor alternativa, para la construcción de un sistema de inspección por líquidos penetrantes se necesitará analizar tres aspectos fundamentales como lo son: Espacio físico, Costo de materiales, y Efectividad didáctica.

- **Primera**

##### **Información general**

La primera opción considerada es la de una estación de inspección, observada en el taller de mantenimiento de la aerolínea de Transportes Aéreos Militares del Ecuador (TAME).

##### **Espacio físico**

Esta Estación no ocupa un espacio físico mayor de 3 metros de largo, y 1,5 m de ancho, con 1 m de altura, muy bien utilizados y no se considera que debiera poseer una dimensión mayor, puesto que permite realizar la inspección de componentes como pernos, y tambores con facilidad de aviones como Boeing 727-737, Embraer 170 y 190, Air Bus A319-320, permitiendo de esta manera un correcto mantenimiento de los componentes.



Convirtiéndose en una excelente alternativa, puesto que el espacio físico con el que contamos en el Instituto nos permite realizarla sin mayor problema.

### **Costo de los materiales**

El costo de los materiales no es mayormente excesivo, puesto que es una estructura compuesta de láminas de acero Inoxidable, hierro, mangueras y pistola de fácil acceso, posee un barómetro bien calibrado y un medidor de Tº, sistema de desfogue de líquidos de fácil adquisición, y el Kit de Líquidos Penetrantes, todos estos componentes se los puede encontrar en el país y no tienen un costo muy elevado, la lámpara de luz UV, sería un limitante por su costo pero la Carrera de Mecánica Aeronáutica por medio de su Director de Carrera, se comprometió a facilitarnos dicho componente, haciendo factible la construcción de la misma.

### **Efectividad didáctica**

Didácticamente nos proporciona, la posibilidad de realizar prácticas de Ensayos de Líquidos Penetrantes con facilidad, y de la manera más cercana a la realidad posible, puesto que sería una copia exacta de una estación usada de manera práctica en la aviación por una operadora de aviación conocida.

Por esta razón funcional y didácticamente es una excelente alternativa.

- **Segunda**

### **Información general**

La presente opción se presenta después del estudio y observación

de la estación de inspección por líquidos penetrantes que posee el taller de NDT de la DIAF, ubicada en Latacunga, una estación fija construida a base de concreto, con la facilidad para realizar la inspección de componentes de pequeño y gran tamaño.

### **Espacio físico**

Esta estación ocupa un espacio físico mayor a los 4 metros de largo, y 1,5 m de ancho con 1 m de altura, que tiene la facilidad de albergar componentes diariamente usados en la aviación permitiendo realizar una inmersión de los mismos de una manera cómoda.

Nos permite realizar prácticas de aviación reales y nos sería de gran ayuda pero debido a que en el Bloque 42 no contamos con el espacio suficiente para poder construirlo adecuadamente nos dificulta su elaboración, además tomando en cuenta que los componentes a inspeccionarse en el Instituto en las prácticas no son de gran tamaño, razón por la cual se limita la construcción de la misma.

### **Costo de los materiales**

En lo que se refiere a costo de materiales la estación mencionada no requiere de mayores gastos, puesto que la construcción se realizará con cemento arena y hierro de manera que eviten las fugas, las mangueras, medidores de presión, y T<sup>o</sup> del agua son de fácil acceso y tiene la facilidad de estéticamente ser mejorado con el uso de cerámica.

Económicamente es factible, pues con el estudio previo del anteproyecto se analizó el costo de los materiales a usarse previniendo de esta manera que en la elaboración del proyecto no existan mayores inconvenientes.

### **Efectividad didáctica**

En este punto al igual que en la primera opción no tendríamos mayor inconveniente, gracias que al ser la segunda opción así como la primera una representación idéntica de la usada en la labor de trabajo diario de una estación reparadora de aviación, como lo es el Centro de Mantenimiento Aeronáutico.

### **Importante**

Es importante mencionar que esta estación de inspección tiene el objetivo fundamental, de ser un medio para que los estudiantes conozcan de manera cercana la forma en que en el diario operar de la aviación, se realizan las evaluaciones de los componentes técnicamente es por ello que ambas alternativas mencionadas cumplen con los requisitos operacionales, para convertirse en la estación de inspección de líquidos penetrantes para el Instituto.

#### **3.1.2 Selección de la mejor alternativa**

Para poder seleccionar la mejor alternativa, analizamos de manera detallada, los beneficios que se proporcionará con la construcción de la estación al Instituto, tomando en cuenta, que necesitamos una estación fija y nos convendría usar como material para la construcción cemento, hierro, arena, que las podemos conseguir fácilmente, de la misma manera podríamos usar el sistema de lavado con mangueras, y pistolas de presión, usados en la primera opción, formando de esta manera una estación que además contará, con una estación de secado y de inspección construidas acorde a las especificaciones técnicas, observadas en el taller de NDI de la estación operadora TAME.

Tomando en cuenta los datos analizados, y en especial que debido a la existencia de la posibilidad de que la construcción del cuarto de inspección, así como de la infraestructura podrá ser financiada de manera

compartida con la alumna Fierro Adriana, acortando los costos, pero creando una estación de mejor calidad que las mencionadas, pero sobre todo conservando la especificaciones técnicas necesarias, para que se convierta en una estación preparada, para el correcto estudio y aplicación de las técnicas de END, y en especial de la técnica de Tintes Penetrantes, objeto de nuestro estudio.

Obteniendo un mejor resultado para los estudiantes, quienes serán los principales beneficiarios.

## **3.2 Diseño**

En el diseño de este proyecto se toma en cuenta, que la estación no debe ser creada para uso didáctico solamente, sino también debe permitirnos realizar y comprender de una forma real y concreta prácticas con tintes penetrantes, para lograr el objetivo de crear una herramienta de ayuda, es decir la infraestructura de un laboratorio de END , por tal motivo se ha tomado en cuenta fusionar el proyecto de la alumna, Adriana Fierro con el presente con el fin de obtener el mejor resultado, para los principales beneficiarios que son los estudiantes del ITSA.

### **3.2.1 Diseño de la infraestructura de la estación fija de END.**

El diseño de la infraestructura de la estación de inspección, es esencial debido a que se debe tomar en cuenta el área con la que contamos, pero sobre todo es la aplicación en sí del espacio físico necesario para una correcta inspección por tintes penetrantes.

Debemos tomar en cuenta que cómo futuros mecánicos de aviación, nuestra preparación técnica no está orientada al estudio del diseño y construcción de estructuras en concreto, es por ello que la investigación detallada del espacio físico será hecha por el investigador, más se ha tomado en cuenta que la experiencia y conocimientos de un ingeniero civil, nos será de vital importancia en el diseño de la infraestructura, es

decir con los cálculos del espacio con el que contamos, y la utilización adecuada del mismo.

Nuestra labor se destinará al estudio de los diagramas de los respectivos procesos, que se realizan en la ejecución de la inspección por tintas penetrantes cómo lo son:

- Inspección visual
- Inspección por líquidos penetrantes

### **Inspección visual**

La inspección visual es el proceso de utilizar el ojo solo o en conjunto con varias ayudas, como mecanismo de inspección para determinar la condición de un componente. Sus siglas en inglés son VT= visual testing.

#### **Base física de la inspección visual**

La inspección visual utiliza la energía de la porción visible del espectro electromagnético con los cambios en las propiedades de la luz.

#### **Aplicación**

La inspección visual es el primer paso de cualquier evaluación. En general, los Ensayos No Destructivos establecen como requisito previo realizar una inspección visual, la misma va aplicado a:

- Todo tipo de material, sean estos metálicos o no metálicos.
- Programas de inspección de aeronaves.
- Evaluación completa de la condición de una estructura, componente o sistema.

La Inspección Visual es el método de NDI más económico y más rápido, para obtener una valoración temprana de la condición de un componente o parte; en la industria aeronáutica; tanto en aviones de categoría

transporte como en aviación general, más del 90% de sus programas de inspección son cumplidos con el uso de las diferentes técnicas de VT.

### **Inspección por líquidos penetrantes**

Las aplicaciones de los líquidos penetrantes son amplias y por su gran versatilidad se utilizan desde, la inspección de piezas críticas, como son los componentes aeronáuticos, hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico.

La inspección por líquidos penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados.

Es muy importante definir las características de las discontinuidades y el nivel de sensibilidad con que se las quiere detectar, ya que si son relativamente grandes o se requiere una sensibilidad entre baja y normal, se recomienda emplear penetrantes visibles; pero si la discontinuidad es muy fina y delgada o se requiere de una alta o muy alta sensibilidad, es preferible usar los penetrantes fluorescentes.

En la industria aeronáutica, debido a la facilidad de aplicación o lo económico del método, se usa la aplicación de tintes penetrantes fluorescentes del Tipo 1 del método A, penetrantes lavables con agua, para lo cual mostramos a continuación dos diagramas en los cuales se muestra el método y forma de aplicación de la técnica.

**Intencionalmente espacio en blanco**

Para poder comprender el orden específico, en que se desarrolla la inspección por tintes penetrantes se ha creado algunos diagramas (Fig.3.1-3.2), que nos permitirá comprender al mismo de mejor manera.

### Diagrama general de los procesos de aplicación de líquidos penetrantes

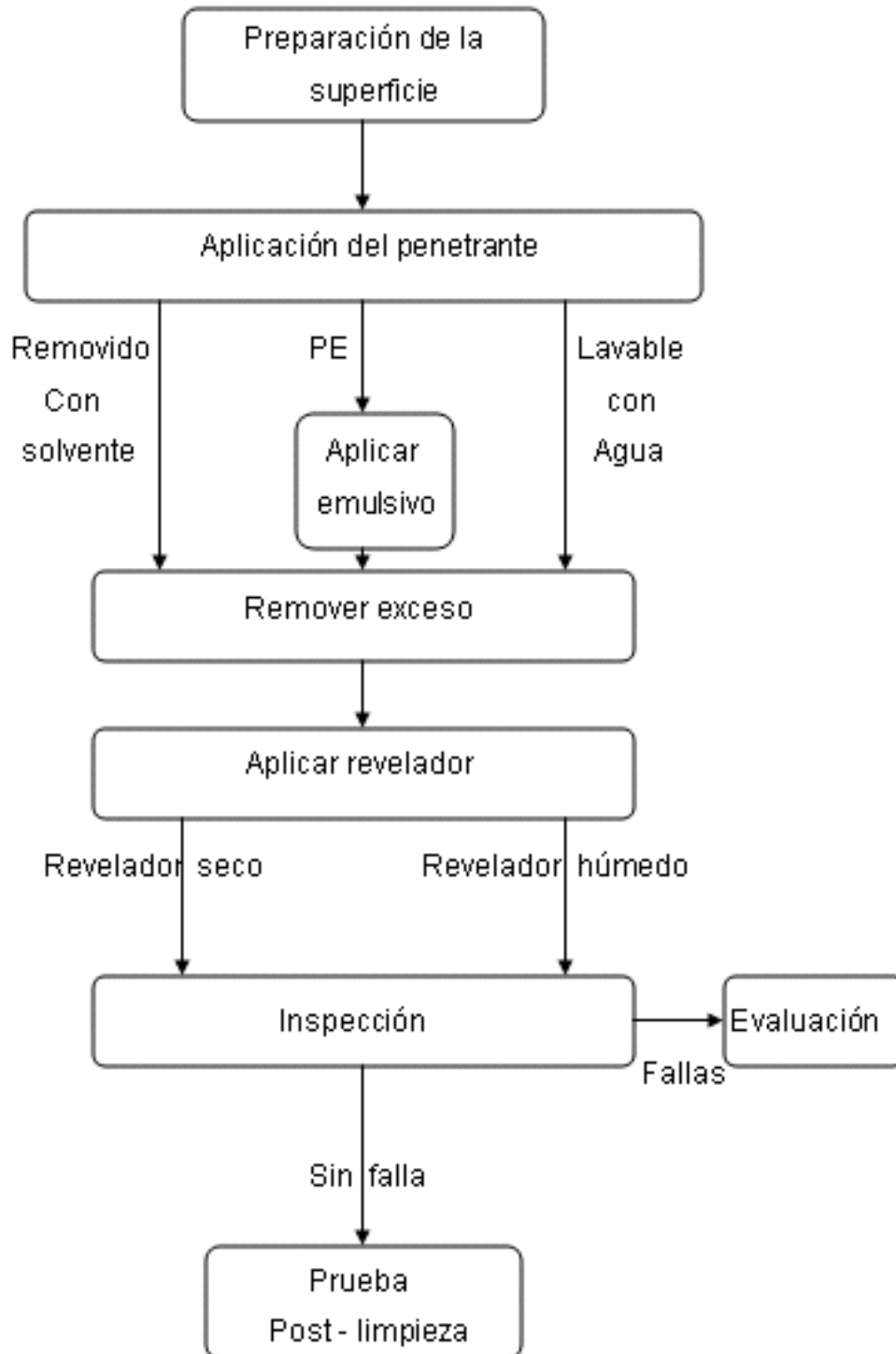


Figura 3.1 Proceso de aplicación de líquidos penetrantes

## Método A: Penetrante Fluorescente Lavable Con Agua

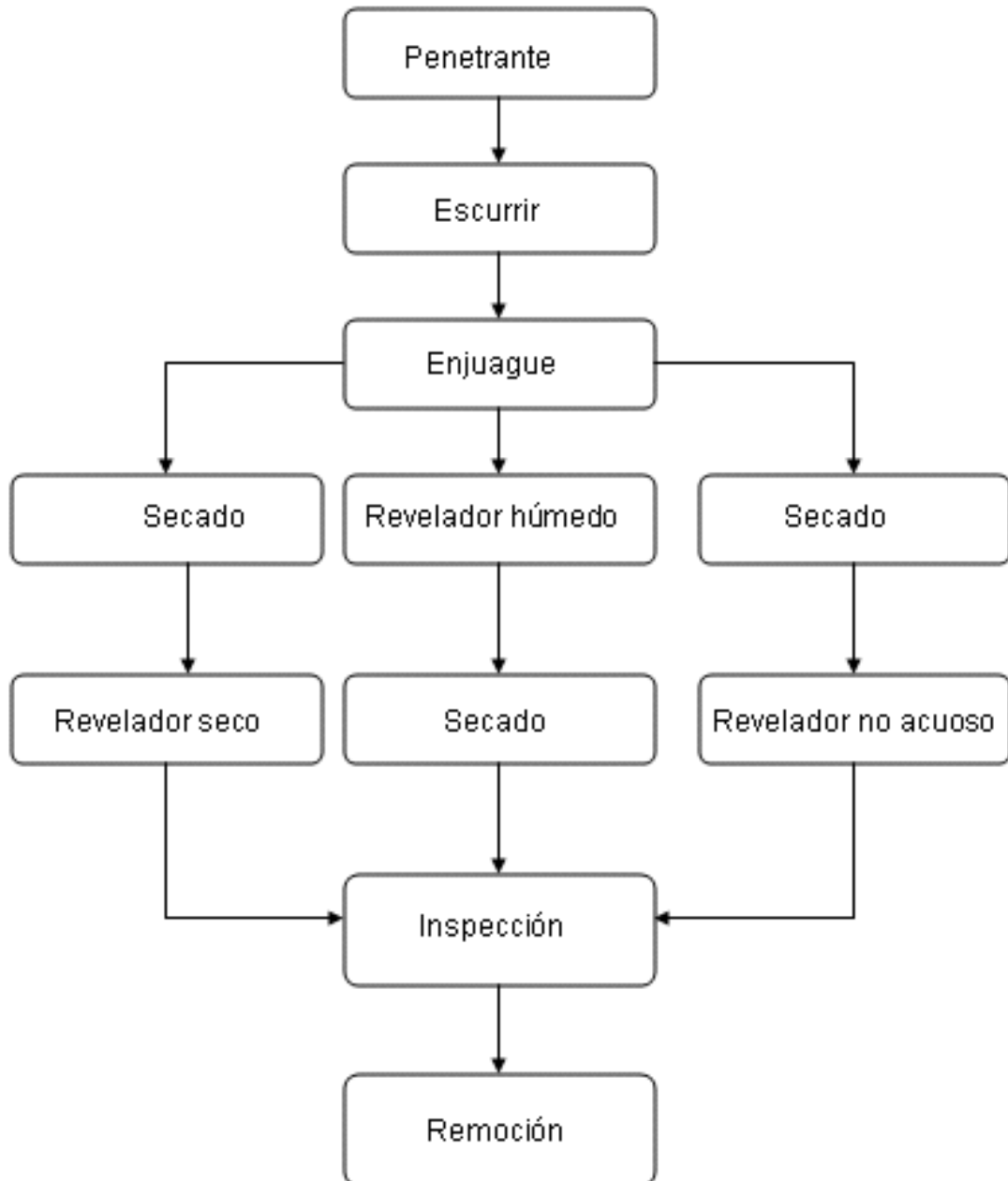


Figura 3.2 Proceso de aplicación de líquidos penetrantes lavable con agua

Al observar detalladamente la figura 3.2, que nos muestra el proceso específico en que se basa nuestra investigación es decir el Tipo I, Método A concluimos que es necesaria la construcción de una estación que cuente con cinco secciones esenciales para poder realizar la inspección cómo lo son:



1. Inspección Visual
2. Puesta del Penetrante
3. Lavado y Secado
4. Puesta del Revelador
5. Cuarto Oscuro

Para poder realizar un correcto diseño debemos tomar en cuenta los requerimientos para realizar la inspección por líquidos penetrantes.

### **Instalaciones:**

- Área adecuada para Ensayos No Destructivos
- Número de personas que realizan Ensayos No Destructivos
- Tipos de equipos para Ensayos No Destructivos (adecuados)
- Área de almacenaje, partes protegidos, separados e identificados
- Productos químicos para Ensayos No Destructivos (vigentes)

### **Calibración:**

- Procedimientos y frecuencia para la calibración de equipos
- Información actualizada y disponible de la calibración de los equipos

### **Métodos de inspección**

#### **Inspección visual (VT):**

- Procedimientos de inspección
- Iluminación adecuada
- Instructores que poseen visión binocular
- Linternas apropiadas

#### **Líquidos penetrantes (PT)**

- Luz adecuada para la inspección (ambiente/ultravioleta)
- Intensidad de luz apropiada para la inspección
- Control de temperaturas, tiempo de penetración y secado
- Termómetros/ relojes
- Penetrante correcto

- Revelador seco y libre de contaminantes fluorescentes
- Frecuencia de intervalos para chequeo de materiales y equipos

Dicha información tomada además de la Norma ASTM 1444, con el propósito de construir una estación estándar y acorde a los requerimientos del instituto.

Los datos fueron entregados al Ing. Civil Gonzalo Altamirano, Mecánico de Mantto. LAN ECUADOR, e inspector de control de calidad de la misma el cual gracias a su experiencia, nos apoyo a ambos estudiantes en el desarrollo del diseño y la creación del plano. (VER ANEXO C).

### 3.2.2 Diseño del Entorno

Para poder realizar un diseño acorde a las especificaciones técnicas necesarias se han tomado a consideración los siguientes factores: iluminación, ruido, temperatura y ventilación.

#### a) Iluminación:

Para poder analizarla de mejor manera se ha desarrollado un cuadro (Ver tabla 3.1) que nos ayudará a conocer que rango de iluminación necesitaremos.

**Tabla 3.1 Niveles de iluminación recomendada para uso en diseño de luz interior**

Categoría	Rango de iluminación	Tipo de actividad	Área de referencia
E	50-75-100	Realización de tareas visuales de contraste medio o pequeñas, como lecturas de escritos a mano con lápiz medio, material malo reproducido o impreso, trabajo medio manual o con máquinas, inspección difícil, ensamble medio	Iluminación sobre El área de trabajo

Fuente: Métodos, estándares y diseño de trabajo

Elaborado por: Adriana Carolina Fierro J. – Mecánica Aeronáutica ITSA

## Distribución de la luz

En un laboratorio es recomendable que las superficies más brillantes sean los techos, y para evitar una luminancia excesiva, las luminarias deben distribuirse de manera uniforme en todo el techo.

Los requerimientos de iluminación para un área de trabajo son: la eficiencia de la luz artificial y el rendimiento de color, para lo cual se ha creado un cuadro que nos permita conocer con la distribución de luz necesaria para poder realizar una correcta evaluación. (Ver Tabla 3.2)

**Tabla 3.2 Fuentes artificiales de luz**

Tipo	Rendimiento de color	Ubicación	Comentarios
Fluorescente	De aceptable a bueno	En el techo, luz hacia abajo	La eficiencia y el rendimiento de color varía considerablemente con el tipo de lámpara: blanco frío, blanco caliente, blanco frío de lujo. Con las menores lámparas y balastros de alta eficiencia es posible reducir significativamente el costo de consumo de energía.

Fuente: Métodos, estándares y diseño de trabajo

Elaborado por: Adriana Carolina Fierro J. – Mecánica Aeronáutica ITSA

### **b) Ruido**

El nivel máximo permisible ruido de un día de trabajo es de 90 dBA (decibeles)

### **c) Temperatura**

La comodidad térmica para áreas donde se realizan trabajos ligeros es entre 18.9°C y 26.1°C con una humedad relativa de 20 a 80%.

#### d) Ventilación

En un área que contenga sólo algunos puestos de trabajo, se debe proporcionar únicamente ventilación local.

### 3.3 Construcción

Para la construcción de la infraestructura se realizó un análisis del tipo de material a usarse mediante una matriz de ponderación (ver tablas 3.3 y 3.4), que contiene la especificación de los dos materiales que nos proporcionan mayor fiabilidad en la realización del proyecto, cómo lo son el Concreto, y el Gypsum, materiales utilizados comúnmente en la elaboración de este tipo de estructuras.

**Tabla 3.3 Matriz de Ponderación para la construcción del cuarto oscuro**

<b>Factores</b>	<b>Peso</b>	<b>Materiales</b>			
<b>Decisivos</b>		<b>Concreto</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Gypsum</b>	<b>Puntaje</b>
Durabilidad		5		4	
resistencia		5		3	
Tiempo		4		5	
Total 1	0,6	13	7,8	12	7,2
<b>Importantes</b>					
Costo de material		3		4	
Total 2	0,3	3	0,9	4	1,2
<b>Deseables</b>					
Acabado		5		4	
Total 3	0,1	5	0,5	4	0,4
<b>TOTAL</b>	1		9,2		8,8

Puntaje mayor: Concreto

Fuente: Manual de diseño industrial

Elaborado por: Adriana Fierro J. – Daniel León C. Mecánica Aeronáutica ITSA

**Tabla 3.4 Matriz de Ponderación para la construcción de los mesones**

Factores	Peso	Materiales			
		Concreto	Puntaje	Madera	Puntaje
<b>Decisivos</b>					
Durabilidad		5		3	
Resistencia		5		5	
Tiempo		4		3	
Total 1	0,6	14	8,4	11	6,6
<b>Importantes</b>					
Costo de material		4		2	
Total 2	0,3	4	1,2	2	0,6
<b>Deseables</b>					
Acabado		4		5	
Total 3	0,1	4	0,4	5	0,5
<b>TOTAL</b>	1		10		7,7

Puntaje mayor: Concreto

Fuente: Manual de diseño de planta industrial

Elaborado por: Adriana Fierro J. – Daniel León C. Mecánica Aeronáutica ITSA

Tomando en cuenta que el resultado de la matriz nos arrojó, que debíamos usar el concreto como material base, y que como estudiantes ninguno poseía habilidades ni conocimientos en construcción, determinamos luego de un análisis de costos, apreciaciones del tiempo, de la forma de realización del trabajo, y que debíamos realizar una construcción muy bien definida, que un profesional en el área de construcción nos sería de gran ayuda para la ejecución del proyecto, y decidimos de manera acertada contratar a una persona capacitada en el campo, para que nos ayudara a realizar la infraestructura de manera concreta, según el plano estipulado.

### 3.3.1 Distribución de la planta

La distribución de planta permite desarrollar, un sistema de producción efectivo el cual permite alcanzar, el trabajo esperado con la calidad

deseada al menor costo. La distribución física es un elemento importante del sistema de producción, que comprende instrucciones de operación, manejo de materiales, programaciones, determinación de rutas y despacho.

Una mala distribución de planta, dan como resultado costos importantes, la misma que la mayoría son ocultas y difícil de identificarlas.

El tipo de distribución de planta utilizado será el de distribución en línea, donde las áreas segregadas de trabajo, serán ubicadas de tal forma que el flujo de operación sea óptimo y sea mínimo el tiempo perdido en la realización de cada inspección de NDI.

Para poder realizar la construcción, cumpliendo los requerimientos, económicos, y de tiempo necesarios, se realizo un diagrama (Fig.3.3) que nos permitiera, observar, y evaluar los trabajos realizados, en cada sección.

**Intencionalmente espacio en blanco**

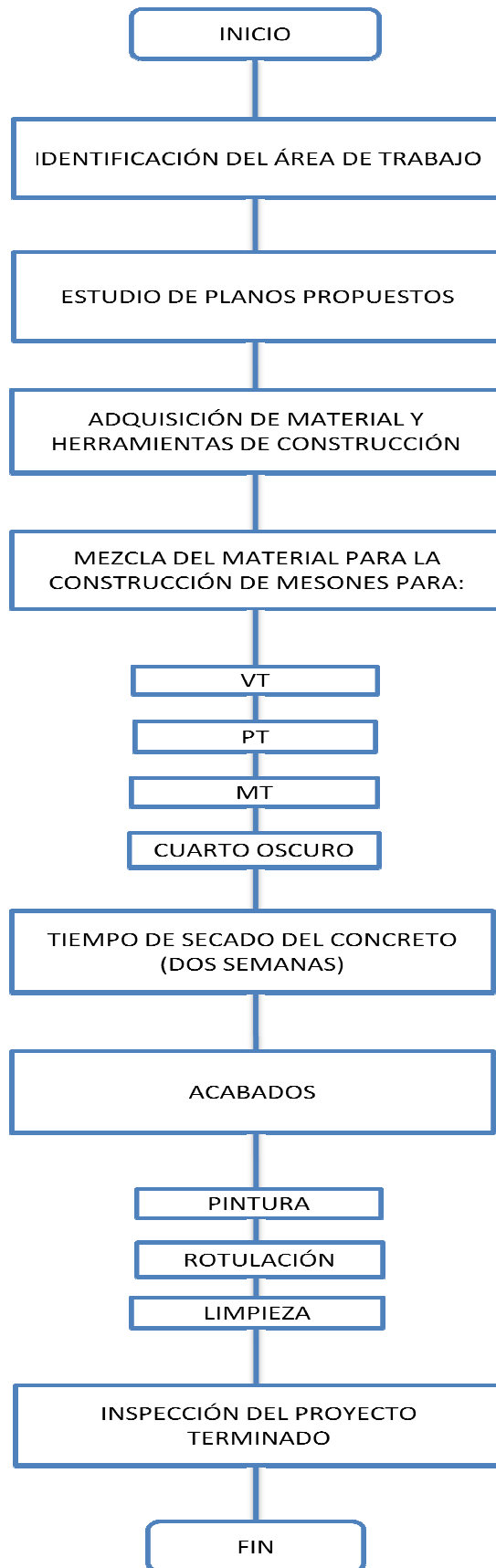


Figura 3.3 Diagrama de proceso para la construcción de la Estación de NDI

En base a los diagramas de procesos realizados cómo se muestra en la figura 3.3, y tomando en consideración las Normas ASTM, con el fin de aprovechar el espacio según sea la necesidad de cada puesto de trabajo, para: Inspección Visual (VT), Tintes Penetrantes (PT), Partículas Magnéticas (MT) cuarto oscuro para evaluaciones, y tener el espacio de circulación adecuado, se ha llevado a cabo la distribución de planta de la siguiente forma:

- Entrada principal de la Estación de NDI aproximadamente 3.89m, la misma que servirá como salida de emergencia, debido a la amplitud de la Estación, y por quedar cerca de la salida principal del bloque 42.
- El área de 4.29m por 6.99m será dividida en dos secciones, el lado izquierdo se dispondrá para el método de Líquidos penetrantes y, el lado derecho para el método de partículas magnéticas. En cada sección, va incluido un espacio adicional para el método de inspección visual.
- El cuarto oscuro donde se llevará a cabo la inspección de los componentes, está designado en medio de las dos secciones que aplica a los métodos de líquidos penetrantes y partículas magnéticas, con el objetivo de obtener un proceso eficiente al realizar la inspección a los componentes aeronáuticos.

El laboratorio de END se ubicará en los laboratorios del bloque 42 del ITSA, mismo que esta adyacente a las canchas de recreación, y laboratorios de hidráulica, motores, y soldadura, y abarcará un área aproximada de 35 m<sup>2</sup>, aproximadamente y tendrá como objetivos fundamentales:

- Transferir conocimiento científico y tecnológico
- Absorber, adaptar y desarrollar conocimiento científico y tecnológico en el campo de los ensayos no destructivos.
- Y demostrar la capacidad de crecimiento del instituto cómo líder en su campo de acción.



En el mismo se realizarán prácticas, que al ser completamente docentes serán el puntal de el laboratorio, estas se realizarán conjuntamente con los estudiantes, y según sea el caso, con los practicantes y deseosos de crecer sus conocimientos en el área especificada.

Se realizarán, según lo crea conveniente el docente, varias prácticas, aunque no todas serán con la utilización directa de los equipos, ya que las primarias serán, de reconocimiento e introducción.

El presente proyecto se realiza con el afán de demostrar los conocimientos y habilidades adquiridas, en el periodo de aprendizaje en nuestra estadía en el instituto, más tiene cómo visión fundamental la de convertirse en una herramienta más del ITSA, que pueda, ayudar a los estudiantes a desarrollar sus proyectos y de ser posible evaluarlos, y aprobarlos como se lo hace diariamente, en nuestro campo de acción como lo es la industria aeronáutica.

Adicionalmente se podrán añadir diversos equipos por los mismos estudiantes mediante proyectos como:

Construcción e implementación de:

- Yugo Magnético de brazos articulados
- Yugo magnético de brazos fijos
- Banco de magnetización
- Equipo didáctico de corrientes inducidas
- Entre otros.

En este campo se podrán elaborar y calificar procesos de soldaduras, mismos que son evaluados de acuerdo a las normas que se emplean en la actualidad.

Todo esto con el afán de crecer y mejorar a nuestro laboratorio.

### 3.4 Pruebas y análisis de resultados

A continuación se muestran algunas imágenes que nos permitirán conocer de manera objetiva al laboratorio construido y cómo fue su desarrollo, en el proceso de construcción, para dejarnos satisfechos con el producto arrojado al término de la construcción de la estación de END del Instituto.



Figura 3.4 Construcción sección tintes penetrantes

Se realizó la construcción de un mesón, cuyo objetivo fundamental es el de proporcionarnos, espacio suficiente para: realizar la limpieza del componente, aplicar el penetrante, su remoción, aplicación del revelador, para posteriormente trasladarla al cuarto oscuro, para su evaluación.



Figura 3.5 Construcción de la sección de inspección por partículas magnéticas.

Sección que consta también con las mismas etapas que la anterior, con la diferencia que el proceso a realizar será diferente, y para mantener orden en el laboratorio. Se ha considerado realizarla al lado derecho del laboratorio separada de la de tintes penetrantes por precaución y mejor cuidado de las mismas.



Figura 3.6 Construcción del cuarto oscuro.



Figura 3.7 Construcción del mesón del cuarto oscuro.

Cuarto Oscuro.- denominado así por ser un área apartada, que no recibe directamente luz blanca, y que albergará a la lámpara ultravioleta, necesaria para la evaluación de componentes, las imágenes muestran la etapa del enlucido, construcción de su mesa de trabajo, y colocación de cerámica en la misma.



Figura 3.8 Construcción del armario.

Anaqueles o armarios que serán de vital importancia, pues nos permitirán almacenar, y mantener de manera correcta los tintes, partículas componentes y demás

herramientas necesarias para poder realizar cualquier tipo de inspección el el laboratorio, se muestra la etapa en que estaba siendo enlucido para posteriormente, colocar sus puertas, y pintarlo.



Figura 3.9 Instalación de puertas del cuarto oscuro y armario.

Para poder mantener un buen cuidado y presentación del laboratorio se colocaron puertas de madera que le dan tanto al armario, cómo al cuarto oscuro un mejor acabado, y realzan su imagen, adicionalmente se muestra la colocación de las repisas del anaquel, que nos permitirá separar los kits de tintes con los de partículas para una mayor organización.

Al terminar la construcción del laboratorio, se realizó un análisis de lo realizado, dando los resultados esperados, con la distribución de acuerdo al plano y con el tiempo necesario para su elaboración.

Adicionalmente se nos pidió, tener un promedio de la temperatura en la ciudad de Latacunga, en especial en el sector donde se encuentra ubicado el laboratorio, para lo cual se solicitó al personal de la torre de control del Aeropuerto Internacional de Cotopaxi nos proporcionará, los datos obtenidos por ellos de

temperatura y humedad en el mes de Octubre del 2010 (Ver Tabla 3.5), datos que nos serán de gran ayuda, pues el aeropuerto se encuentra, en un área cercana al instituto.

### Promedio de temperatura y humedad

**Tabla 3.5 Promedio de temperatura y humedad del mes de julio**

PROMEDIO DE UN MES TEMP. Y HUMEDAD	Temperatura °C		Humedad %	
	max.	min.	max.	min.
01/10/2010	19.9	4.6	94	46
02/10/2010	19.2	7.1	90	48
03/10/2010	17.8	9.3	92	56
04/10/2010	18.3	9.5	94	54
05/10/2010	17.8	8.7	93	52
06/10/2010	19.2	10.1	92	56
07/10/2010	18.0	9.3	94	57
08/10/2010	15.4	9.0	94	70
09/10/2010	19.7	6.5	94	36
10/10/2010	21.1	0.4	94	23
11/10/2010	22.7	0.0	94	23
12/10/2010	20.6	0.7	95	40
13/10/2010	20.5	7.4	93	31
14/10/2010	17.7	8.6	73	59
15/10/2010	16.2	8.4	94	66
16/10/2010	16.2	8.3	94	64
17/10/2010	19.8	9.8	98	48
18/10/2010	14.0	10.3	98	73
19/10/2010	20.4	7.7	98	48
20/10/2010	19.2	9.1	94	58
21/10/2010	20.6	9.3	96	44
22/10/2010	20.4	10.0	96	54
23/10/2010	16.6	10.7	98	62
24/10/2010	19.7	3.2	98	58
25/10/2010	19.2	9.6	92	46
26/10/2010	21.6	3.7	93	39
27/10/2010	20.5	6.2	94	47
28/10/2010	17.2	10.4	93	58
29/10/2010	20.1	9.5	93	51
30/10/2010	19.6	10.1	92	52
31/10/2010	17.5	7.1	94	57
Promedio max. y min.	18.9	7.56	94	51
Promedio total	13.23°C		73%	

**Fuente:** Torre de Control de la Base Aérea de Cotopaxi

**Elaborado por:** Adriana Fierro J. – Daniel León C. Mecánica Aeronáutica ITSA

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

#### **4.1 Presupuesto**

El presente proyecto de manera detallada cómo se estudio en la realización del anteproyecto, tiene un costo razonable y accesible para ser realizado, tomando en cuenta que se realizaron algunos cambios ya especificados anteriormente, y que el resultado nos generó una mejor estación de inspección, no sólo de tintes penetrantes sino también que con la colaboración mutua de la alumna Fierro Adriana y mi persona, se pudo elaborar una estación fija para realizar inspecciones de tres tipos de Ensayos No Destructivos en los materiales.

Generando de esta manera una mejor herramienta cuyo costo se detallará a continuación:

#### **4.2 Análisis Económico**

Para la construcción de este proyecto se consideró 3 factores económicos muy importantes como son los siguientes:

- Recursos Materiales técnicos y tecnológicos divididos en dos partes importantes consideradas cómo infraestructura y material necesario para la realización de la inspección por TP.
- Recursos Humanos.- Comprende la construcción y diseño de los componentes y la asesoría del proyecto
- Otros.- En este literal se analiza el costo de ciertos rubros.

##### **4.2.1 Recursos Materiales técnicos y tecnológicos**

###### **a) Infraestructura**

Para la construcción de la infraestructura de la estación, detallamos a continuación el presupuesto en la tabla 4.1

## Tabla 4.1 Presupuesto Infraestructura

**Material:** Concreto

**Tiempo de construcción:** Un Mes

Cantidad	Descripción	Costo (USD)
120	Bloques	30
15	carretillas de arena	25
3	carretillas de ripio	4
6	quintales de cemento	45
50	bloques de 10 cm	10
4	varillas de 10 mm	60
3	libras de alambre	6
1	Porcelana	4
8	Tablas	16
3	libras de clavos	5
4	metros de cerámica	38
	vidrio arenado	35
	Pintura	25
	tumbado de triplex	50
	puerta corrediza-vidrio	150
	puertas de estanterías	200
	instalación de luz	30
<b>Costo Total</b>		<b>733</b>

**Fuente:** Cámara de Construcción de Cotopaxi

**Elaborado por:** Adriana Fierro J. – Daniel León C. Mecánica Aeronáutica ITSA

***Intencionalmente espacio en blanco***

## b) Material Necesario para la inspección por PT

**Tabla 4.2 Costo de material para la inspección por PT**

Costo de Material Necesario para la realización de una inspección por tintes penetrantes			
Nro.	Detalle	Costo USD	
1	Kit de Tintes Penetrantes	165	
<b>S U M A N</b>		<b>USD</b>	
<b>Son:</b>		165	
(Autor: Daniel S.León)			
(Fuente: Autor)			

### 4.2.2 Recursos Humanos.

Comprende la construcción y diseño de los componentes y la asesoría del proyecto Ver tabla 4.3.

**Tabla 4.3 Detalle Recursos Humanos**

DETALLE	Valor USD
Postulante (7 meses)	1150
Asesor	120
Ayuda Técnica	500
<b>TOTAL DE MANO DE OBRA</b>	<b>1770</b>

(Autor: Daniel León C. Mecánica Aeronáutica ITSA)  
(Fuente: Autor)

### 4.2.3 Otros

En este literal se analizan los rubros extra usados para la construcción



**Tabla 4.4 Detalle Otros Gastos**

<b>COSTO DE OTROS GASTOS</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Valor USD</b>
Papelería	60
Recursos de software e internet	87
Transporte	130
Otros	80
<b>TOTAL DE OTROS GASTOS</b>	<b>357</b>

(Autor: Daniel León C. Mecánica Aeronáutica ITSA)  
(Fuente: Autor)

### **4.3 Costo Total**

Cómo se puede observar en la tabla 4.5 en esta sección se señala el costo total de la realización del proyecto.

**Tabla 4.5 Detalle Costo Total**

<b>DETALLE DE COSTO TOTAL</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Valor USD</b>
Recursos materiales	898
Recursos humanos	1770
Otros	357
<b>TOTAL DE OTROS GASTOS</b>	<b>3025</b>

(Autor: Daniel León C. Mecánica Aeronáutica ITSA)  
(Fuente: Autor)

Luego de realizar un análisis se concluye que el beneficio que esta herramienta didáctica brindará al instituto justificará el precio y la construcción del mismo.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La técnica de inspección por tintes penetrantes, se establece para componentes mecánicos no porosos, y componentes no metálicos para poder detectar discontinuidades, es decir es de vital importancia en el proceso de identificar defectos superficiales en la aeronave.

Luego de investigar a profundidad, todo lo relacionado con la inspección de tintes penetrantes, se concluye que ésta estación representa de forma real a una estación de inspección, usada día a día en los talleres aeronáuticos nacionales, por ende se convertirá en un recurso didáctico para el estudio de aeronáutica.

La construcción de la presente estación de tintes penetrantes, permite mejorar la comprensión al instruir a los alumnos, acerca del proceso de inspección por ensayos no destructivos, y como valor agregado, sirve para apoyar al proceso de aprendizaje, en la carrera de Mecánica Aeronáutica impartida por el instituto.

Al efectuar este proyecto, se logró la construcción de una estación de inspección por tintes penetrantes, cómo se planeo, además se logró mediante la cooperación conjunta de los alumn@s: León Daniel y Fierro Adriana la construcción de una estación física de inspección, para ensayos no destructivos para los laboratorios del bloque 42 del ITSA, herramienta que se encuentra operable, y en estado óptimo de funcionamiento.

## 5.2 Recomendaciones

La estación de END, es una herramienta que debe tener especial cuidado en el manejo de desechos, para poder mantenerla en su estado óptimo.

Es de vital importancia mantener actualizados los materiales, y equipos a usarse es decir, verificar periódicamente las fechas de vencimiento de los tintes, revelador y demás accesorios.

Debe haber controles necesarios para asegurar, que los materiales y equipos en los sistemas penetrantes proporcionen un nivel aceptable de funcionamiento.

Todas las indicaciones relevantes, deben ser evaluadas de acuerdo a los estándares de aceptación aplicables. (Normativa).

Áreas con manchas de pigmentación fluorescente o visible, son inaceptables deben ser limpiadas y reexaminadas.

En la realización de este tipo de inspecciones, es sumamente necesario mantener un registro de la realización de las mismas, dentro del laboratorio para poder efectuar un mejor control.

Es necesario acotar que este tipo de prácticas pueden ser consideradas como OJT (ON JOB TRAINING), para nuestro desarrollo como mecánicos de aviación.

Seguir las instrucciones estipuladas en el procedimiento de inspección (Anexo D), correctamente para una buena conservación del equipo.

Estudiar otros tipos de ensayos sobre materiales no destructivos, los cuales pueden ser usados, como complemento del laboratorio y así, mejorar su eficacia.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS UTILIZADAS

### Siglas Utilizadas

- ATA:** Sistema de capitulización de los manuales aeronáuticos
- ASNT:** American Society for Nondestructive Testing
- ASTM** American Standard for Test Methods
- CEMA:** Centro de mantenimiento aeronáutico LATACUNGA-ECUADOR
- DGAC:** Dirección general de Aviación civil
- ITSA:** Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico
- LP** Líquidos Penetrantes
- Mantto:** siglas utilizadas para referirse al área de Mantenimiento
- MT** Partículas Magnéticas
- NDT:** Non Destructive Testing (NDI)
- OACI:** Organización internacional de aviación civil
- OJT:** On Job Training o en español ENTRENAMIENTO EN EL TRABAJO.
- PT** Tintas Penetrantes
- RDAC:** Regulaciones de derecho aeronáutico de la república del Ecuador
- Tº:** Temperatura
- V:** Volumen
- VT** Inspección Visual

### Glosario de términos

**Agente anticorrosivo.-** que impide la corrosión. Sustancia que se añade a otra para evitar que se corra.

**Adherencia.-** Resistencia que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos cuando se intenta que uno se deslice sobre otro.

**Alrededores.-** es la región del espacio comprendida fuera del sistema y que rodea al mismo.

**Capilaridad.-** es la acción que origina que un líquido ascienda o descienda a través de los llamados tubos capilares.

**Cohesión.-** la fuerza de atracción entre partículas adyacentes dentro de un

mismo cuerpo.

**Corrosión.-** es un fenómeno natural que ataca el metal por acción química y electroquímica y lo convierte en un componente metálico tal como óxido, hidróxido o sulfato.

**Corrosividad.-** capacidad del agua de disolver un metal

**Exactitud.-** un aparato de medida es exacto cuando la medida realizada con él nos da justamente el valor de la magnitud física.

**Humedad.-** puede definirse, cómo la cantidad de vapor de agua que puede transportar el aire en ciertas condiciones.

**Humectabilidad.-** habilidad para humedecer suficientemente la superficie de un material.

**Luz.-** forma de radiación electromagnética similar al calor radiante, las ondas de radio o los rayos X. La luz corresponde a oscilaciones extremadamente rápidas de un campo electromagnético, en un rango determinado de frecuencias que pueden ser detectadas por el ojo humano.

**Medición.-** como proceso, es un conjunto de actos experimentales dirigidos a determinar una magnitud física de modo cuantitativo, empleando los medios técnicos apropiados y en el que existe al menos un acto de observación.

**Presión.-** en mecánica, fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie. La presión suele medirse en atmósferas (atm); en el Sistema Internacional de unidades (SI), la presión se expresa en newtons por metro cuadrado; un newton por metro cuadrado es un pascal (Pa). La atmósfera se define como 101.325 Pa, y equivale a 760 mm de mercurio en un barómetro convencional.

**Radiación.-** es la transferencia de calor, en forma de energía electromagnética, por el espacio. La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y convección: Las sustancias que intercambian calor no deben, estar en contacto, sino que deben estar separadas por un vacío.

**Sensibilidad.-** un aparato de medida es tanto más sensible, cuanto mayor es su capacidad para medir unidades muy pequeñas, es decir, cuando aprecia menores variaciones en el valor de la magnitud a medir.

**Sistema.-** Es una región del espacio (colección de materia) que se aísla para su estudio.

**Viscosidad.-** Es la propiedad de un fluido, que tiende a oponerse a su flujo

cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir; los fluidos de baja viscosidad fluyen con facilidad. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad, que se mide con un recipiente (viscosímetro) que tiene un orificio de tamaño conocido en el fondo. La velocidad con la que el fluido sale por el orificio es una medida de su viscosidad.

**Volatilidad.-** que se transforma espontáneamente en vapor.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE A. TITUAÑA C. Diseño y Construcción de un elevador posicionador del cabezal de rayos X ; Tesis Quito 1985, Biblioteca Central de la EPN.
- BETZ C. Principles of Penetrants. Second Edition. Magnaflux Corporation. Chicago 1994.
- CASTILLO AUGUSTO, NOROÑA DIEGO. Estudio de la optimización de los equipos construidos en un laboratorio de END y su proyección a futuro. Tesis. Quito 2006.
- GIACOMO P. The new definition of the meter. Am. J. Phy. 52(7) pp 607-613
- HÜTE. Manual del Ingeniero. Editorial Gustavo Pili. Barcelona-España 1965
- POZO M. Diseño y Construcción de un sistema de inspección por tintas penetrantes para el laboratorio de END de la EPN. Tesis. Quito. 1985.
- ASKELAND R. DONALD *“La ciencia e ingeniería de los materiales”*, 2da Edición
- ASTM, Annual Book of ASTM Standards. Section 3 Metal Tests Methods and Analytical Procedures. Easton Madison USA. 2007.
- ASTM E 1209-99, Inspección de líquidos penetrantes usando el proceso lavable con agua.
- ASTM E 709-95, Inspección por medio de partículas magnéticas.
- Norma ASME V Ensayos No Destructivos.
- Norma ASTM E165 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.
- Norma ASTM E1417 Standard practice for Liquid Penetrant Examination.
- Non Destructive Testing of General Dynamics. Convair Division. 4ta. Edición.
- General Electric Inspection technologies, Eddy Currents 2004
- General Electric Inspection technologies, Interpretación de radiografías 2004

- Informe Semestral, laboratorio de END, EPN, Quito
- <http://www.asnt.org/index.html>, (ensayos no destructivos).
- [http:// www.magnaflux. com](http://www.magnaflux.com), equipos para la aplicación de tintas penetrantes.
- [http://trans5.convertlanguage.com/astm/enes/24/\\_www\\_astm\\_org](http://trans5.convertlanguage.com/astm/enes/24/_www_astm_org).
- <http://www.eddytronic.cl>.
- <http://www.ndt.mx.com>.
- <http://www.ndt.mx.com>,Rayos X.
- <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/disultra.htm>
- <http://www.ndt.mx.com>,Ultrasonido Industrial.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos\\_tóxicos](http://en.wikipedia.org/wiki/Desechos_tóxicos)



**ANEXOS**

# HOJA DE VIDA

## DATOS PERSONALES

NOMBRE: León Caicedo Daniel Stalin

NACIONALIDAD: Ecuatoriana

FECHA DE NACIMIENTO: 30 / Agosto / 1988

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 172188806-1

TELÉFONOS: + 593 22422856

CORREO ELECTRÓNICO: nigger\_dyj@yahoo.com

DIRECCIÓN: Cdla. Carapungo/ Quito - Ecuador



## PERFIL PROFESIONAL

Ciudadano Civil con experiencia laboral en el área de mecánica aeronáutica, atención al cliente, y digitador con excelentes relaciones interpersonales y habilidad para trabajar en equipo o individualmente. Enfocado en realizar actividades de la mejor manera posible con alto grado de responsabilidad y fácil interpretación de las políticas organizacionales

## ESTUDIOS REALIZADOS

Escuela Fiscal Mixta "Nahím Isaías Barquet" 14/Julio/2000

Colegio Nacional Mixto "Eloy Alfaro" Julio /2006

**Bachillerato en ciencias Físico – Matemáticas**

Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico

**Egresado de la Carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Aeronaves**

## TÍTULOS OBTENIDOS

Bachillerato en Ciencias Físico-Matemáticas

Egresado de la Carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Aeronaves

## **EXPERIENCIA PROFESIONAL O PRÁCTICAS PREPROFESIONALES**

- FUERZA AEREA ECUATORIANA – Ala de transportes N-11
- Transportes Aéreos Militares del Ecuador – Aeropuerto Mariscal Sucre
- Aerolíneas Galápagos – Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre
- CEMA Centro de Mantenimiento Aeronáutico – Aeropuerto Internacional Cotopaxi

## **CURSOS Y SEMINARIOS**

### **Instituto tecnológico Superior Aeronáutico ITSA**

Certificación obtenida: Suficiencia en Inglés (2009)

## **EXPERIENCIA LABORAL**

Empresa: **TAME**

Cargo: Pasantías laborales, Asistente de Mantenimiento

Año: 2009

Empresa: **Ala de transportes N`11 – Aeropuerto Mariscal Sucre**

Cargo: Pasantías Laborales- Mantenimiento y planificación  
Mantto aeronaves

Año: 2009

Empresa: **AEROGAL**

Cargo: Pasantías laborales – Mantenimiento Aeronáutico

Año: 2008

Empresa: **Centro de Mantenimiento Aeronáutico DIAF/CEMA**

Cargo: Pasantías Laborales- Mantenimiento Aeronáutico

Año: 2007

Empresa: **GALAPAGUITOS CYBER CAFE**  
Cargo: Digitador, Atención al cliente, asistencia en equipos informáticos  
Año: 2009

Empresa: **AEROLANE Líneas Aéreas Nacionales del Ecuador**  
Cargo: Auxiliar en mantenimiento Aeronáutico  
Año: 2010

### **REFERENCIAS PERSONALES**

- Srta. Johanna E. Folleco E. Educadora CDI Sembradores de Esperanza, Quito- Ecuador  
Telf. 3 450 824
- Ing. Guillermo Trujillo Director de Carrera Mecánica -ITSA Latacunga - Ecuador  
Telf. 2810 158

## **HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS**

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE RESPONSABILIZA  
EL AUTOR**

---

**León Caicedo Daniel Stalin**

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

---

**Ing. Guillermo Trujillo**

Latacunga, Abril 07 del 2011

## **CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

Yo, DANIEL STALIN LEÓN CAICEDO , Egresado de la carrera de **Mecánica Aeronáutica**, en el año **2009**, con Cédula de Ciudadanía **N° 172188806-1** , autor del Trabajo de Graduación “**CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA LA INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES PARA EL ITSA**”, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

---

**Daniel Stalin León Caicedo**

Latacunga, Abril 07 del 2011