



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA-INDUSTRIAL**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
CALIDAD DEL PROCESO DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA
UTILIZADO EN EL ANÁLISIS DE CILINDROS DE GAS LICUADO DE
PETRÓLEO, EN LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA;
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS**

OLIVER ANTONIO GUTIÉRREZ MIRANDA

Asesorado por: Ing. JAIME BATTEN

Guatemala, agosto de 2004

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XI
OBJETIVOS	XII
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA	
1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción y localización	3
1.3. Visión y misión	4
1.4. Estructura organizacional	5
2. MARCO TEORICO CONDEPTUAL	
2.1. Concepto de ensayos no destructivos	9
2.2. Técnicas de ensayos no destructivos	10
2.2.1. Ensayo ultrasónico	12
2.2.1.1. Principio básico	12
2.2.1.2. Objetivo de la técnica	13
2.2.1.3. Técnicas de ensayo	13
2.2.2. Radiografía industrial	14
2.2.2.1. Principio básico	14
2.2.2.2. Objetivo de la técnica	17
2.2.2.3. Técnicas de ensayo	17
2.2.3. Partículas magnéticas	17
2.2.3.1. Principio básico	18
2.2.3.2. Objetivo de la técnica	18
2.2.3.3. Técnicas de ensayo	19

2.2.4.	Líquidos penetrantes	19
2.2.4.1.	Principio básico	20
2.2.4.2.	Objetivo de la técnica	21
2.2.4.3.	Técnicas de ensayo	21
2.3.	Planeación del proceso	22
2.3.1.	Diseño del proceso	23
2.3.2.	Diagramas de proceso	26
2.3.3.	Estudio de tiempos	27
2.4.	Control de calidad del proceso	28
2.4.1.	Gráficos de control	28
2.4.2.	Selección de gráficos de control	30
2.4.3.	Interpretación de gráficos	32
2.5.	Montaje y mantenimiento del equipo de inspección no destructiva	34
2.6.	Seguridad e higiene industrial	38

3. ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1.	Diagnostico del laboratorio de ensayos no destructivos	41
3.2.	Equipo utilizado	46
3.3.	Análisis del proceso de medición ultrasónica	48
3.3.1.	Diagramas del proceso	48
3.3.1.1.	Diagramas de flujo	48
3.3.1.2.	Diagramas de recorrido	52
3.3.2.	Medición de tiempos	53
3.3.2.1.	Equipo utilizado	53
3.3.2.2.	Descripción del estudio	53
3.3.3.	Evaluación de los resultados del proceso actual de ultrasonido	57
3.4.	Análisis del proceso de inspección radiográfica	67
3.4.1.	Diagramas del proceso	68
3.4.1.1.	Diagramas de flujo	68

3.4.1.2.	Diagramas de recorrido	74
3.4.2.	Medición de tiempos	75
3.4.3.	Evaluación de los resultados del proceso actual de radiografía	81

4. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA

4.1.	Implementación de técnicas complementarias	85
4.1.1.	Inspección por partículas magnéticas	85
4.1.1.1.	Justificación del uso de la técnica	86
4.1.1.2.	Principio básico	87
4.1.1.3.	Diseño del proceso	87
4.1.1.4.	Diagramas del proceso propuesto	89
4.1.1.5.	Medición de tiempos	93
4.1.1.6.	Puesta en práctica	98
4.1.1.7.	Recopilación y computo de datos	99
4.1.1.8.	Selección de gráficos de control	100
4.1.1.9.	Gráficos de control	103
4.1.1.10.	Interpretación de gráficos	104
4.1.1.11.	Factores críticos del proceso de partículas magnéticas	105
4.1.1.12.	Diseño y planificación del control de las inspecciones	107
4.1.1.13.	Observaciones del proceso de partículas magnéticas	108
4.1.2.	Inspección por líquidos penetrantes	109
4.1.2.1.	Justificación del uso de la técnica	110
4.1.2.2.	Principio básico	110
4.1.2.3.	Diseño del proceso	111
4.1.2.4.	Diagramas del proceso propuesto	113

4.1.2.6.	Puesta en práctica	122
4.1.2.7.	Recopilación y computo de datos	122
4.1.2.8.	Selección de gráficos de control	124
4.1.2.9.	Gráficos de control	125
4.1.2.10.	Interpretación de los gráficos	127
4.1.2.11.	Factores críticos del proceso de líquidos penetrantes	128
4.1.2.12.	Diseño y planificación del control de las inspecciones	130
4.1.2.13.	Observaciones del proceso de líquidos penetrantes	131
4.2.	Optimización de las técnicas actuales	132
4.2.1.	Medición de espesor por ultrasonido	133
4.2.1.1.	Justificación de la estandarización del proceso	133
4.2.1.2.	Diseño de un nuevo proceso	134
4.2.1.3.	Diagramas del proceso propuesto	135
4.2.1.4.	Medición de tiempos	138
4.2.1.5.	Puesta en práctica	143
4.2.1.6.	Recopilación y computo de datos	143
4.2.1.7.	Selección de gráficos de control	145
4.2.1.8.	Gráficos de control	146
4.2.1.9.	Interpretación de gráficos	150
4.2.1.10.	Factores críticos del proceso de ultrasonido	154
4.2.1.11.	Diseño y planificación del control de las inspecciones	156
4.2.1.12.	Observaciones del proceso de medición ultrasónica	157

4.2.2.	Inspección por radiografía industrial	158
4.2.2.1.	Justificación de la estandarización del proceso	158
4.2.2.2.	Diseño de un nuevo proceso	159
4.2.2.3.	Diagramas del proceso propuesto	161
4.2.2.4.	Medición de tiempos	170
4.2.2.5.	Puesta en práctica	178
4.2.2.6.	Recopilación y computo de datos	179
4.2.2.7.	Selección de gráficos de control	180
4.2.2.8.	Gráficos de control	181
4.2.2.9.	Interpretación de gráficos	184
4.2.2.10.	Factores críticos del proceso de radiografía	185
4.2.2.11.	Diseño y planificación del control de las inspecciones	187
4.2.2.12.	Observaciones del proceso de inspección radiográfica	188
4.3.	Recursos	189
4.3.1.	Recurso humano	189
4.3.2.	Recurso material	190
4.3.2.1.	Recursos físicos	190
4.3.2.2.	Mobiliario y equipo	191
4.3.2.3.	Suministros	193

5. MONTAJE Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA

5.1.	Montaje	195
5.1.1.	Descripción del mobiliario y equipo a instalar	195
5.1.2.	Área de montaje o instalación	196
5.1.3.	Diseño del montaje	196
5.1.4.	Ejecución del montaje	197

5.2.	Mantenimiento	198
5.2.1.	Evaluación de los aspectos críticos del equipo	199
5.2.2.	Diseño del mantenimiento	201
5.2.2.1.	Procedimientos	201
5.2.2.2.	Planificación y programación	205
5.2.3.	Historial del mantenimiento	207
5.2.3.1.	Control del mantenimiento preventivo	207
5.2.3.2.	Control del mantenimiento correctivo	209
5.2.4.	Insumos y repuestos	211
5.3.	Conclusiones y recomendaciones del montaje y mantenimiento	212

6. SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL

6.1.	Condiciones y actos inseguros	215
6.1.1.	Identificación de peligros y riesgos	216
6.1.1.1.	Factor humano	216
6.1.1.2.	Factor fisiológico	217
6.1.1.3.	Factor físico	217
6.1.2.	Condiciones inseguras	223
6.1.3.	Actos inseguros	224
6.2.	Equipo de protección personal	224
6.3.	Prevención y protección contra incendios	227
6.3.1.	Equipo de protección contra incendios	228
6.3.1.1.	Clasificación de los extinguidores	229
6.3.1.2.	Sistema de extinción con agua	230
6.4.	Orden y limpieza en las áreas de trabajo	230
6.5.	Protección radiológica	231
6.5.1.	Interacción de la radiación con las células vivas	232

6.5.2.	Magnitudes y unidades de radiación	232
6.5.3.	Equipo para la medición de la radiación	234
6.5.4.	Valores máximos admisibles de la intensidad radiactiva	235
6.5.5.	Condiciones inseguras	236
6.5.6.	Actos inseguros	236
6.6.	Señalización	237
	CONCLUSIONES	241
	RECOMENDACIONES	243
	BIBLIOGRAFIA	245
	APÉNDICES	247
	ANEXOS	263

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS	PÁGINA
1 Plano de localización de la Dirección General de Energía	3
2 Organigrama de la Dirección General de Energía	7
3 Plano actual de distribución del laboratorio	44
4 Equipo de rayos X	47
5 Equipo de ultrasonido	47
6 Simbología utilizada en el diagrama de flujo	49
7 Diagrama de flujo del proceso actual de ultrasonido	50
8 Diagrama de recorrido del proceso actual de ultrasonido	52
9 Gráfico de control X del proceso actual de medición ultrasónica	61
10 Gráfico de control R del proceso actual de medición ultrasónica	62
11 Gráfico de control normal del proceso actual de medición ultrasónica	63
12 Inspección radiográfica	67
13 Diagrama de flujo del proceso actual de radiografía	69
14 Diagrama de recorrido del proceso actual de radiografía	74
15 Gráfico de control C del proceso actual de inspección radiográfica	83
16 Inspección por partículas magnéticas	85
17 Banco de trabajo y lámpara fluorescente	88
18 Diagrama de flujo del proceso propuesto de partículas magnéticas	90
19 Diagrama de recorrido del proceso propuesto de partículas magnéticas	93
20 Fugograma del proceso de partículas magnéticas	98

21	Gráfico de control del proceso de inspección por partículas magnéticas	103
22	Diagrama de causa y efecto del proceso propuesto de partículas magnéticas	106
23	Inspección por líquidos penetrantes	112
24	Diagrama de flujo del proceso propuesto de líquidos penetrantes	114
25	Diagrama de recorrido del proceso de líquidos penetrantes	117
26	Flujograma del proceso propuesto de líquidos penetrantes	122
27	Gráfico de control del proceso de inspección por líquidos penetrantes	126
28	Diagrama de causa y efecto del proceso propuesto de líquidos penetrantes	129
29	Medición de espesor por ultrasonido	135
30	Diagrama de flujo del proceso propuesto de ultrasonido	136
31	Diagrama de recorrido del proceso propuesto de ultrasonido	138
32	Flujograma del proceso propuesto de medición ultrasónica	143
33	Gráfico de control X del proceso propuesto de ultrasonido	148
34	Gráfico de control R del proceso propuesto de ultrasonido	149
35	Gráfico de control normal del proceso propuesto de ultrasonido	150
36	Diagrama de causa y efecto del proceso propuesto de medición ultrasónica	155
37	Plano isométrico de distribución propuesta de laboratorio	160
38	Diagrama de flujo del proceso propuesto de radiografía	162
39	Diagrama de recorrido del proceso propuesto de radiografía	169
40	Flujograma del proceso propuesto de inspección radiográfica	178
41	Gráfico de control C del proceso propuesto de radiografía	183
42	Diagrama de causa y efecto del proceso propuesto de radiografía	186
43	Plano de distribución propuesta del laboratorio	191
44	Banco de trabajo y lámpara fluorescente	198

45 Plano de distribución de luminarias del laboratorio	219
46 Distribución de ventanas del laboratorio	222
47 Plano isométrico del área circulada del laboratorio	237
48 Rótulo de peligro por material corrosivo	238
49 Rótulo de peligro por líquidos inflamables	238
50 Rótulo de prohibido fumar	239
51 Rótulo de orden y limpieza	239
52 Rótulo de peligro por radiación	240
53 Cinta de precaución	240
54 Índice 7.13 de la norma coguanor	269

TABLA

PÁGINA

I. Características para la aplicación de las técnicas no destructivas a aplicar	11
II. Tabla de estudio de tiempos del proceso actual de ultrasonido	55
III. Datos muestreados de la medición de espesor por ultrasonido	58
IV. Tabla de estudio de tiempos del proceso actual de radiografía	77
V. Tabla de defectos encontrados en el proceso actual de radiografía	82
VI. Tabla de estudio de tiempos del proceso propuesto de partículas magnéticas	95
VII. Evaluación de defectos del proceso de partículas magnéticas	99
VIII. Defectos encontrados en el proceso de partículas magnéticas	101
IX. Tabla de estudio de tiempos del proceso propuesto de líquidos penetrantes	119
X. Evaluación de defectos del proceso de líquidos penetrantes	123

XI.	Defectos encontrados en el proceso de líquidos penetrantes	125
XII.	Tabla de estudio de tiempos del proceso propuesto de ultrasonido	140
XIII.	Formato de toma de mediciones de espesor por ultrasonido	144
XIV.	Tabla de resultados muestreados del proceso propuesto de ultrasonido	146
XV.	Tabla de estudio de tiempos del proceso propuesto de radiografía	172
XVI.	Tabla de evaluación de defectos del proceso de radiografía	181
XVII.	Tabla de defectos encontrados en el proceso de radiografía	179
XVIII.	Calendarización del mantenimiento preventivo	205
XIX.	Formato de mantenimiento preventivo	208
XX.	Formato de mantenimiento correctivo	210
XXI.	Dosis de radiación permisible	235
XXII.	Formato de registro de inspecciones	247
XXIII.	Tabla K de letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D	263
XXIV.	Tabla V, norma ABC	264
XXV.	Tabla B	265
XXVI.	Tabla de factores de reflexión para techo y paredes	266
XXVII.	Tabla de factores de utilización para iluminación interior	267
XXVIII.	Tabla de niveles de flujo de iluminación para interiores	268

GLOSARIO

Gamma	Radiación electrónica que emiten ciertos núcleos atómicos al pasar de un estado excitado a otro que lo está menos.
Haz	Tubo de haces dirigidos. Tetrodo de potencia cuyos electrodos están dispuestos de tal forma que suprimen la emisión secundaria del ánodo.
Magnetismo	Propiedad que tiene algunos materiales de atraer otras sustancias ferromagnéticas.
Piezoelectricidad	Propiedad que presentan algunos cristales no conductores de cargarse de electricidad al ser sometidos a una presión unilateral..
Radiación	Energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. Estas se originan al sufrir una carga eléctrica a través de una aceleración, y consisten en campos eléctricos y magnéticos cuyos componentes cumplen la ecuación de onda.
Tungsteno	Conocido también como volframio (W), densidad 19.3, metal fundible a 3,600 grados centígrados, de un color gris oscuro. Se utiliza para la fabricación del filamento de lámparas incandescentes.

RESUMEN

El presente informe pretende alcanzar conocimientos, como los principios científicos y aplicaciones de los métodos de inspección no destructiva, utilizados actualmente por la Dirección General de Energía en el análisis de la calidad de cilindros de gas licuado de petróleo (GLP), como también realizar la implementación de un sistema de control de calidad de dicho proceso de inspección, mediante el estudio y utilización de herramientas de ingeniería.

El Laboratorio de Ensayos no Destructivos de la Dirección General de Energía ha prestado sus servicios de inspección en cilindros de GLP desde el año de 1987, a través de este período no se ha realizado un control de calidad de dicho proceso, que permita garantizar la confiabilidad de sus resultados. El estudio y realización de dicho control de calidad enmarca el desarrollo del presente Ejercicio Profesional Supervisado.

OBJETIVOS

General

Establecer los procedimientos lógicos y las condiciones necesarias para la realización adecuada de la inspección no destructiva en cilindros de GLP, como también realizar el diseño, planificación e implementación de un sistema eficiente de control de calidad de dicho proceso de inspección que garantice la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Específicos

- Establecer una capacidad instalada para desarrollar una mayor y mejor inspección en la muestra de cilindros en circulación.
- Determinar la viabilidad y eficacia de la utilización de técnicas no destructivas en el control de calidad de cilindros, mediante la utilización de métodos de ingeniería como se puede mencionar: gráficos de control, diagramas de proceso, medición de tiempos, etc.
- Implementar las técnicas de inspección de calidad en cilindros de GLP que sirvan de complemento a las ya existentes.
- Establecer un lineamiento a seguir dentro de la ejecución del proceso de inspección no destructiva de cilindros de GLP, mediante la utilización de métodos de Ingeniería.

INTRODUCCIÓN

A la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas le fueron adjudicadas las acciones encaminadas al desarrollo y fortalecimiento de: electricidad, electrificación rural, energía nuclear y ambiente. Dentro de la estructura de esta Dirección se encuentra el Departamento de Asuntos Nucleares que tiene como una de sus principales actividades la promoción del uso pacífico de la energía nuclear, el resguardo de la salud, y la protección y mejora del medio ambiente a través del fortalecimiento institucional. El Departamento de Asuntos Nucleares está integrado por varias secciones, creadas como un soporte técnico a las instituciones relacionadas con el ambiente y la industria.

La Sección de Ensayos no Destructivos, como parte del departamento, brinda servicio a la industria, específicamente en la evaluación e inspección de estructuras metálicas utilizadas en el campo de la construcción, aeronáutica, petrolífero, y otros.

Actualmente, uno de los objetivos principales de la sección, es establecer un programa eficiente de control de calidad de cilindros de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en circulación. La fabricación de cilindros de gas de licuado de petróleo de uso doméstico implica el cumplimiento de especificaciones de diseño y construcción detalladas en normas nacionales e internacionales, con la finalidad de garantizar el funcionamiento y la uniformidad de los mismos.

La continua demanda de estos recipientes ha provocado la fabricación e importación de cilindros en gran volumen, muchos de los cuales no cumplen con los requerimientos de fabricación y seguridad, poniendo así en riesgo a la población usuaria.

El laboratorio de Ensayos no Destructivos como función técnica ha de realizar la inspección de calidad en cuanto a la fabricación de los cilindros de GLP, la cual ejecuta sin tomar en cuenta métodos que puedan lograr resultados más confiables, no permite así al laboratorio, prestar un servicio más eficiente, tanto en cantidad como en calidad de la inspección. El efectuar dichas inspecciones de una manera eficiente y total es la misión principal dentro de este Ejercicio Profesional Supervisado.

La realización de inspecciones en cilindros nuevos es una de las actividades que actualmente desarrolla el laboratorio de END, la cual ejecuta de una manera parcial, ya que éste implica la realización y utilización de otras técnicas de inspección con las cuales no cuenta el laboratorio, también cabe mencionar, que tanto el equipo como el sistema de inspección, no son capaces de satisfacer la demanda de control de calidad de cilindros nuevos, produciendo así un control de calidad deficiente.

Con la ejecución del presente proyecto se pretende optimizar el proceso de inspección utilizado por el laboratorio, mediante el desarrollo de los siguientes métodos:

- Estudio de la metodología de inspección por técnicas no destructivas
- Determinar la viabilidad y eficacia de la utilización de técnicas no destructivas en el control de calidad en cilindros de gas en circulación

- Aspectos técnicos a considerar en el diseño, montaje e implementación de técnicas de inspección
- Optimizar la calidad del proceso de inspección en cilindros de GLP, mediante la utilización de métodos de control
- Estudio y análisis de resultados obtenidos de inspecciones
- Implementación de normas de seguridad industrial y protección radiológica

El presente informe muestra en su marco teórico conceptual el principio básico y la explicación científica de las técnicas de inspección no destructivas, como también las herramientas de ingeniería a utilizar dentro del sistema de control de calidad; en capítulos posteriores se encontrará el análisis de la situación actual del laboratorio, como también los factores a tomar en cuenta dentro del sistema de control de calidad propuesto para el proceso de inspección, diseño de los procesos, análisis y evaluación de resultados, así mismo en los capítulos finales se muestran los aspectos de montaje y mantenimiento de equipo y el estudio e implementación de un sistema de seguridad e higiene industrial, que contribuyen a establecer un sistema de control de calidad completo.

1. GENERALIDADES DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA

1.1. Antecedentes

El Laboratorio de Ensayos no Destructivos de la Dirección General de Energía ha prestado sus servicios de inspección en cilindros de GLP desde el año de 1,987 en conjunto con La Dirección General de Hidrocarburos, la cual tiene como labor oficial el velar por el cumplimiento de los requisitos necesarios para la comercialización y circulación de los cilindros de GLP como producto, para lo cual, actualmente, realiza muestreos aleatorios en empresas fabricantes y en empresas importadoras de cilindros, como parte de los trámites correspondientes para la obtención de la licencia de comercialización. Los cilindros tomados como muestras representativas son trasladados a La Dirección General de Energía, para ser analizados en el Laboratorio de Ensayos no Destructivos y determinar si éstos cumplen o no con los requerimientos de fabricación.

Para asegurar la calidad de la fabricación de los cilindros, éstos deben contar con varios requerimientos, los cuales el Laboratorio de Ensayos no Destructivos no se encuentra con la capacidad técnica de verificar en su totalidad, al realizar sus análisis, debido a que no cuenta con el equipo y métodos apropiados para su realización.

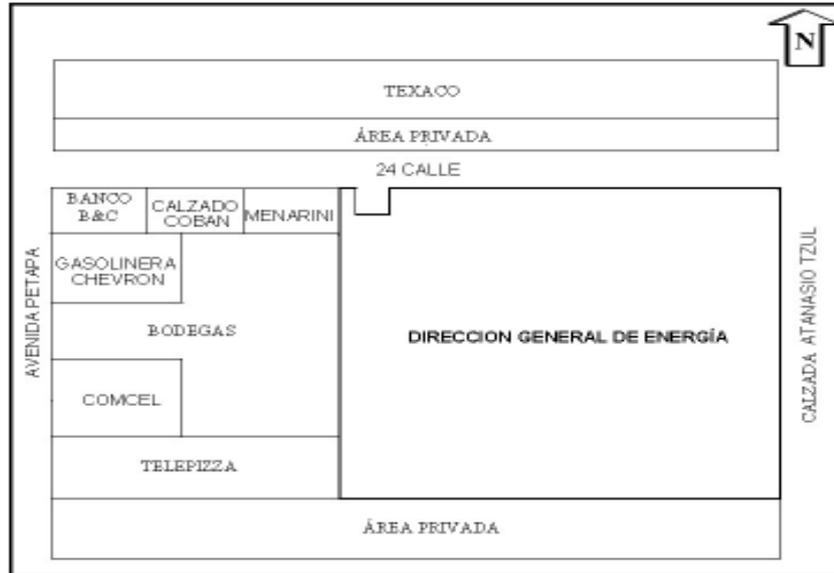
Desde un inicio el Laboratorio ha realizado únicamente análisis de la calidad de la soldadura en los cilindros de GLP, mediante la utilización del método de Inspección por Radiografía Industrial, como también la medición de espesores de material laminoso por medio del método de Ultrasonido, estas dos técnicas no cuentan con la capacidad de determinar la falta de discontinuidades en la lámina, factor muy importante, ya que al existir estas fallas pueden originarse fugas en un futuro; existen métodos no destructivos que tienen la capacidad de determinar la existencia y ubicación de estas fallas, pero el laboratorio no cuenta con la capacidad para realizar estos análisis, cuestión que este ejercicio profesional tiene el objetivo de alcanzar, tanto en el logro de su instalación e implementación como en la comprobación de su eficacia y la confiabilidad de sus resultados.

El proceso de inspección en los cilindros se ha venido realizando sin un control de calidad aceptable que permita brindar confiabilidad en los resultados obtenidos, lo cual perjudica directamente la idea de contar con la capacidad cuantitativa y cualitativa de prestar un servicio de inspección eficiente, máxime cuando estamos tratando un tema tan importante como los cilindros de GLP, que en nuestro país, debido a su deficiente calidad ha provocado numerosas pérdidas humanas y materiales.

1.2. Descripción y localización

La Dirección General de Energía -DGE-, es la dependencia del Ministerio de Energía y Minas, que tiene como propósito formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos que promueven el empleo de energía renovable y el uso eficiente de los recursos energéticos para mejorar la calidad de vida de la población guatemalteca. Así como también promover las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en industria, agricultura, ambiente y salud. Estableciendo las condiciones mínimas de seguridad a fin de proteger la salud, los bienes y el medio ambiente.

Figura 1. Plano de localización de la Dirección General de Energía



ESCALA 1:1500

La Dirección General de Energía es una institución estatal, creada por el Ministerio de Energía y Minas y fundada en el año de 1987. Esta tiene su ubicación en la 24 calle 21-12 zona 12. de la Ciudad de Guatemala, (ver figura 1).

1.3. Visión y misión

A continuación se presentan la misión y visión del Ministerio de Energía y Minas:

- **Visión:** promover el desarrollo racional de los recursos energéticos mineros y de los yacimientos de hidrocarburos, estableciendo una política orientada a tener mejores resultados en la exploración y explotación de dichos recursos, con el objeto de lograr la independencia energética del país, el autoabastecimiento de los hidrocarburos, y el desarrollo sostenido de las actividades mineras, coadyuvando al fortalecimiento económico social del país.
- **Misión:** orientar y facilitar el desarrollo del sector energía (subsector eléctrico e hidrocarburos) y del sector minería hacia la satisfacción del mercado actual y futuro, promoviendo la óptima utilización de los recursos naturales salvaguardando el medio ambiente y mejorando el nivel de vida de los habitantes. Así como controlar, supervisar y fiscalizar todas las actividades relacionadas con el uso de las radiaciones, proporcionando servicios de ensayo y calibración.

1.4. Estructura organizacional

La Dirección General de Energía se encuentra conformada por dos ramas, enmarcadas éstas dentro de las actividades del empleo de las energías renovables, y el uso de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear.

La unidad de planificación informática de ambiente núcleo energético y el departamento de electricidad, tienen entre sus actividades principales, el identificar mediante estudios de ingeniería y ambiente, puntos en la región que sean posibles de explotar con el objetivo de obtener suministros energéticos, como también la promoción y utilización de la energía renovable en el país.

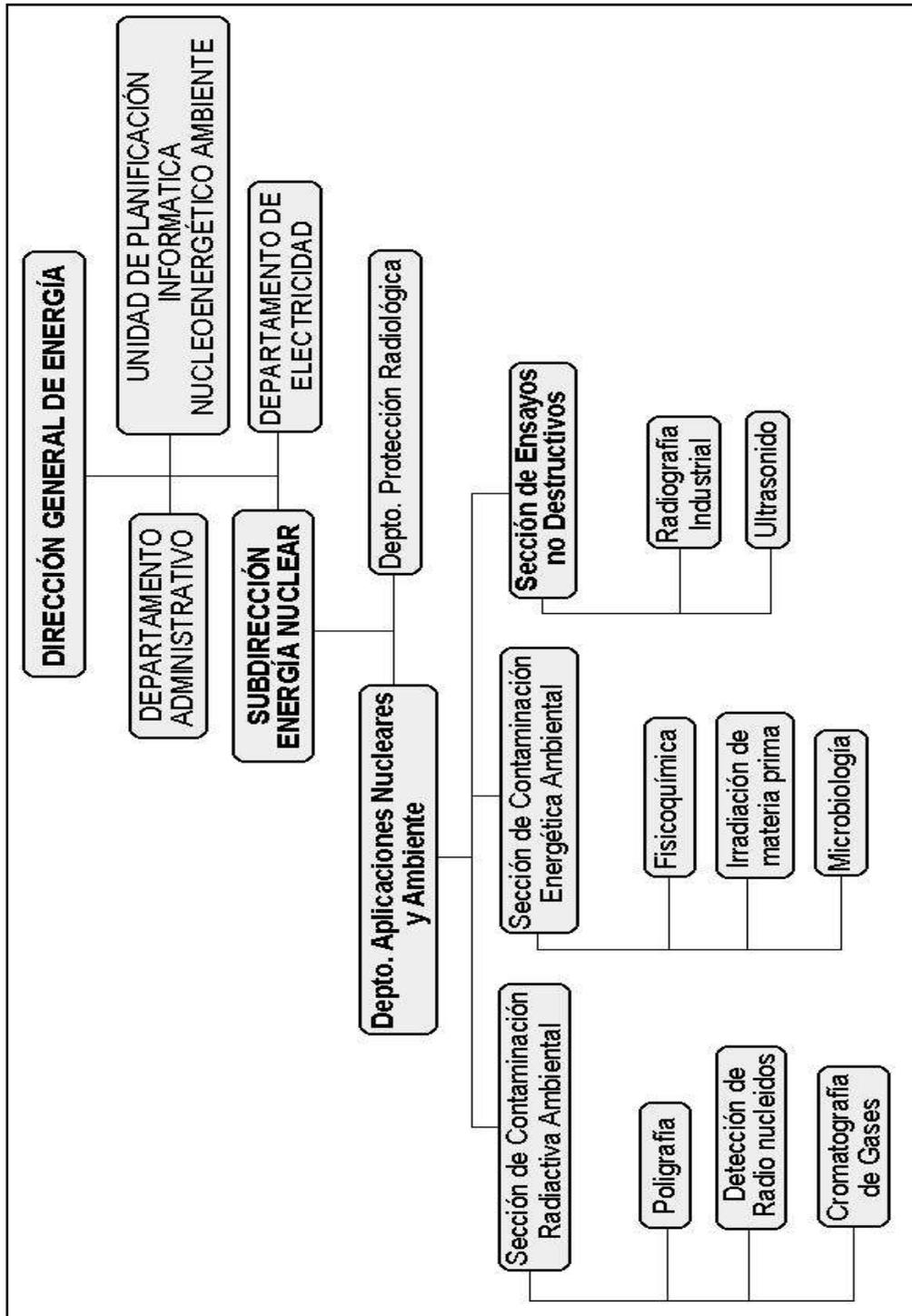
Por otro lado, el departamento de protección y seguridad radiológica tiene entre sus actividades la elaboración de normas para el uso de fuentes radiactivas, guías técnicas para el licenciamiento de personal e instalaciones que operan con material radiactivo, como también la promoción de programas de seguridad radiológica y de control de calidad en equipos generadores de radiaciones ionizantes.

El Departamento de Asuntos Nucleares brinda a través de los laboratorios de Contaminación Radiactiva Ambiental y Ensayos no Destructivos, los servicios de análisis, como un control de calidad. El laboratorio de Contaminación Radiactiva Ambiental realiza análisis en muestras de productos agroindustriales de importación y exportación, monitoreo de fuentes de agua, aire, suelos y ambiente marino, con el objetivo de evaluar los niveles de radioactividad en éstos.

El laboratorio de ensayos no destructivos hace uso de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, orientándose en la inspección de componentes mecánicos utilizados en los distintos campos de la industria. En dicho laboratorio es donde se realizó el presente ejercicio profesional supervisado.

A continuación se muestra un Diagrama Organizacional que indica la interrelación entre las distintas áreas y departamentos, (ver figura 2).

Figura 2. Organigrama de la Dirección General de Energía



2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Concepto de ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos se definen como aquellos que se realizan sobre piezas acabadas o semiacabadas, sin interferir con el uso futuro de las mismas. Estos constituyen una modalidad de inspección y análisis de una de las mencionadas piezas que permite la utilización de las mismas, sin presentar modificaciones en sus características físicas, químicas o mecánicas, pese a la inspección realizada sobre dicha pieza.

Los ensayos no destructivos permiten obtener indicaciones de discontinuidades tanto superficiales como en el interior del material ensayado; pero, al evaluar si esa discontinuidad interfiere con el buen uso de la pieza, dependerá de las condiciones de diseño, estudios de fractura mecánica y parámetros de aceptación o rechazo característicos del material y del proceso en el cual se utilizará la pieza inspeccionada. Si se determina que la discontinuidad interfiere con el buen funcionamiento de la pieza o es rechazada por una determinada norma o código, entonces la discontinuidad se transforma en un defecto.

La metodología que distingue la aplicación de los ensayos no destructivos es la siguiente:

- Aplicación de una fuente de energía determinada
- Interacción entre esa fuente de energía y el material bajo ensayo

- Detección de las modificaciones energéticas ocurridas mediante el uso de un transductor apropiado al tipo de energía aplicada
- Procesamiento y registro de la información
- Evaluación de la información
- Interpretación de los resultados en relación con los requerimientos de la especificación correspondiente al material ensayado

2.2. Técnicas de ensayos no destructivos

Los métodos de ensayos no destructivos pueden ser agrupados en función del tipo de energía o medio de prueba utilizado. A su vez, cada método que resulta seleccionado puede ser aplicado de forma diferente, según las condiciones que se deben enfrentar. Esto da lugar a las distintas técnicas de aplicación de ensayos no destructivos. El detalle de los pasos o etapas de aplicación de la técnica y de interpretación y evaluación de los resultados, constituye lo que se conoce como procedimiento de ensayo. Los métodos de ensayos no destructivos se clasifican en tres grandes grupos: métodos visuales, métodos superficiales y métodos volumétricos. Los métodos visuales constituyen todas las inspecciones que se realizan utilizando la vista o algún dispositivo que incluya una lente de aumento. Los métodos superficiales lo constituyen aquellas inspecciones que pueden localizar discontinuidades únicamente en la pieza, tales como la inspección por líquidos penetrantes y partículas magnéticas.

Finalmente dentro de los métodos volumétricos, se incluyen las inspecciones que pueden localizar discontinuidades tanto superficialmente como en el interior de la pieza, tales como ultrasonido y radiografía industrial.

Las técnicas de inspección no destructiva difieren en su principio científico, aplicación, ventajas y limitaciones, las cuales se pueden observar en la siguiente tabla (ver tabla I).

Tabla I. Características para la aplicación de las técnicas no destructivas a aplicar

TÉCNICA DE INSPECCIÓN	EQUIPO NECESARIO	PUEDA DETECTAR	VENTAJAS	LIMITACIONES
MEDICIÓN DE ESPESOR POR ULTRASONIDO	Equipo de transmisión de ondas ultrasónicas	Medición de espesor de material desde un solo lado del material	Portátil, muy sensitivo, práctico en su uso.	Delicado en su manejo, limpieza esmerada para su funcionamiento.
RADIOGRAFÍA	Equipo comercial de rayos x, área y equipo de revelado	Fallas o grietas interiores microscópicas, porosidad, cavidades, inclusiones metálicas, penetración incompleta, socavación en soldaduras.	Es un método de bajo costo para inspección interna, se obtiene registro permanente.	Requiere habilidad en escoger ángulos de exposición, operación, operación de equipo e interpretación de datos, precauciones de seguridad.
PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Yugo magnético, polvos magnéticos fluorescentes, lámpara con tubos fluorescentes.	Excelente para detectar discontinuidades en soldaduras, especialmente grietas.	De uso más simple que la radiografía, permite sensibilidad controlada, relativamente bajo costo.	Aplicable nada mas en materiales ferromagnéticos, inspección superficial, requiere habilidad en la interpretación de las indicaciones, se dificulta su uso en superficies ásperas.
LÍQUIDOS PENETRANTES	Juego de envases de líquidos penetrantes y reveladores, lámpara con tubos fluorescentes.	Grietas superficiales no visibles al ojo. Excelente para localizar fugas en soldadura.	Aplicable a materiales magnéticos y no magnéticos, fácil de usar y bajo costo.	Sólo detectan defectos superficiales. No puede usarse en juntas calientes.

2.2.1. Ensayo ultrasónico

Mediante la utilización de esta técnica de inspección se podrá evaluar el espesor de la lámina en los cilindros. Los elementos a considerar en el ensayo ultrasónico son los siguientes.

2.2.1.1. Principio básico

El ensayo ultrasónico de los materiales está basado en los fenómenos que se producen en la propagación de vibraciones mecánicas, con frecuencias entre 0.25 y 25 MHz. Este intervalo de frecuencias se inscribe muy por encima de lo que constituye el sonido y al no ser detectadas por el oído humano se las designa como ultrasonido.

La más extendida de las aplicaciones se basa en la reflexión del ultrasonido en la interfase producida por discontinuidades en los materiales.

El equipo de ultrasonido posee un cabezal que contiene un cristal de cuarzo (u otro material piezoeléctrico). Cuando un voltaje es aplicado, el cristal vibra a alta frecuencia.

Cuando el cabezal ultrasónico es colocado sobre la pieza, esta vibración es transmitida a la misma hasta encontrar una discontinuidad o cambio de densidad. En este punto, parte de esta energía (vibración) es reflejada de vuelta y llega nuevamente a el cabezal, transmitiendo la vibración al cristal el cual la transformará en pulsos eléctricos que podrán ser visualizados en la pantalla de un osciloscopio, esta actividad es llamada efecto piezoeléctrico, en el cual se basa la producción de energía ultrasónica.

2.2.1.2. Objetivo de la técnica

Los equipos de ultrasonidos son usados como un método de ensayo no destructivo, para detectar fallas, en casi cualquier material capaz de transmitir el sonido. Así puede ser usado para medir espesores de material partiendo de un solo lado.

Las ondas de sonido son utilizadas para obtener información sobre el interior de un material por medio de la observación de los ecos que son reflejados desde el interior del material. Es posible medir espesores, por el tiempo que toma en recibir la pantalla un eco de un defecto (obstrucción). Esta obstrucción de la cual se recibe eco, puede ser la superficie frontal, superficie posterior o un defecto interno. El instrumento es parcialmente un sistema de tiempo para medir la longitud de los diferentes ecos producidos en determinado tiempo, en un objeto dado.

2.2.1.3. Técnicas de ensayo

Los principios de resonancia son usados para medir precisamente el espesor de un material de un solo lado. Los principios de pulsación son usados para detectar fallas y otras aplicaciones.

La energía ultrasónica debe ser transmitida al objeto y recibida del objeto, a través de un líquido intermedio, ya que el aire no transmitirá los ultrasonidos a estas frecuencias.

Son comúnmente usados como líquidos intermedios: agua, aceite, grasa o glicerina, puestos como una fina película entre la pieza y la sonda, o sumergiendo la pieza y la sonda en agua.

Una vez la sonda ha emitido unas ondas cortas ultrasónicas, éstas viajan virtualmente hasta encontrar una discontinuidad o cambio de densidad, éstas retornan llegando de nuevo a la sonda en forma de ecos. Cuando recibe los ecos, éstos hacen que la sonda vuelva a vibrar y generan una corriente eléctrica, la que se puede observar visualmente en una pantalla de tubos catódicos.

Los materiales capaces de ser examinados con ultrasonidos son aquellos que transmiten la energía vibrante. Los metales son examinados hasta en espesores de 30 pies. Se pueden examinar plásticos no celulares, cerámica vidrio, concreto nuevo, materiales orgánicos y hules.

2.2.2. Radiografía industrial

A través del desarrollo de la técnica de radiografía industrial es posible determinar defectos internos y superficiales en el cordón de soldadura, como también su ubicación y dimensión; a continuación se describen los elementos a considerar dentro de esta técnica.

2.2.2.1. Principio básico

La radiación X se obtiene por bombardeo electrónico de un blanco metálico. En una válvula electrónica para producir rayos X, los electrones emitidos por el cátodo son acelerados y dirigidos sobre el ánodo mediante un campo eléctrico. El ánodo esta constituido por el blanco metálico.

La emisión de rayos X en el ánodo se produce según dos fenómenos distintos:

- Emisión de un espectro continuo de rayos X, por el frenado violento de los electrones en el blanco
- Emisión de un espectro discontinuo producido por recaptura de electrones orbitales desplazados previamente por choque de los electrones incidentes

Radiación penetrante, toma su nombre de la propiedad que ciertas formas de energía radiante poseen de atravesar materiales opacos a la luz visible.

Se pueden distinguir dos tipos de radiación penetrante usados en radiografía industrial: los rayos X y los rayos *Gamma*. Éstos se distinguen de la luz visible por poseer una longitud de onda extremadamente corta, lo que les da la capacidad de atravesar materiales que absorben o reflejan la luz visible.

Los rayos X y los rayos gamma son ondas electromagnéticas de la misma naturaleza que las ondas de radio o de televisión, pero de frecuencia y, por lo tanto, de energía mucho más alta.

Los rayos X y gamma, al ser de igual naturaleza, se diferencian por su origen. Los rayos X se originan por la excitación de la nube electrónica del átomo mediante el bombardeo con electrones acelerados, o por la desaceleración de dichos electrones en el campo de atracción nuclear.

Los *tubos de rayos X* consisten esencialmente en una ampolla de vidrio cerrada al vacío en la cual se encuentran sellados dos electrodos, el ánodo (positivo) y el cátodo (negativo).

El cátodo termina en un filamento calentado por la circulación de corriente que suministra un transformador de baja tensión. El filamento, que es el elemento emisor de electrones, enfrenta al ánodo que es usualmente un bloque de cobre con su extremo cortado en bisel a 70 grados respecto al eje del tubo. Sobre el ánodo se encuentra una lámina delgada de tungsteno, que constituye el blanco.

El calentamiento del filamento (cátodo) produce la emisión de electrones, el que se regula mediante la corriente que circula por el filamento y que puede llegar a ser de varios amperios. Los electrones son acelerados hacia el blanco mediante la aplicación del alto voltaje entre cátodo y ánodo. El área que cubren los electrones en su colisión con el blanco se llama foco de emisión.

La velocidad o energía de los electrones es controlada variando el voltaje aplicado entre el cátodo y el ánodo. El voltaje para que los electrones adquieran la energía necesaria para lograr la emisión de rayos X es elevado, y se expresa generalmente en kilovoltios. Cuando los electrones acelerados chocan con el blanco son detenidos abruptamente y ceden la mayor parte de su energía en forma de calor, mientras que una pequeña porción, alrededor del 1% , es utilizada en la emisión de rayos X.

El tungsteno es el blanco más utilizado en la construcción de tubos generadores de rayos X, ya que presenta la ventaja de tener un elevado punto de fusión, aunque sus propiedades como conductor de calor no son muy adecuadas. Esto último obliga a utilizar una lámina delgada montada sobre un bloque de cobre, ya que puede ser refrigerado por circulación de aceite o agua en su interior.

2.2.2.2. Objetivo de la técnica

A través de la observación y análisis de las imágenes formadas sobre la película, se puede determinar la existencia y ubicación de discontinuidades en los materiales inspeccionados.

La radiografía obtenida en el ensayo constituye un registro permanente de la imagen radiante que se obtiene del cuerpo examinado al ser sometido a un haz de radiaciones penetrantes.

2.2.2.3. Técnicas de ensayo

Una radiografía es un registro fotográfico producido cuando radiación penetrante, después de atravesar determinado material, impresiona una película fotográfica. Después de su procesamiento, esta película presentará áreas claras y oscuras, las que representan las partes de material que absorben más o menos radiación, respectivamente. Así, la parte de la pieza en la que la radiación atraviesa más fácilmente el material, presenta, en la película procesada, una tonalidad oscura, es decir, que absorbe más radiación, mientras que la parte que presenta zonas claras en la película radiográfica es debido a que absorbió menos radiación.

2.2.3. Partículas magnéticas

A través del desarrollo de la técnica de partículas magnéticas es posible determinar defectos superficiales en soldadura y lámina de los cilindros, como también su ubicación y dimensión superficial; a continuación se describen los elementos a considerar dentro de esta técnica.

2.2.3.1. Principio básico

Se denomina como *imán* a todo aquel cuerpo que tenga la propiedad de atraer otras sustancias ferromagnéticas. Esa característica de atracción se llama magnetismo, y se debe a un efecto de inducción magnética ejercido por el imán sobre el otro cuerpo, al que transforma momentáneamente en un imán.

Wilhem Weber estableció que cuando un material no ha sido magnetizado, los elementos llamados dominios, se encuentran distribuidos en forma aleatoria y un campo magnético los alinea de norte a sur. Se conoce como campo magnético al espacio exterior del imán dentro del cual se ejerza el efecto de inducción. El campo magnético esta conformado por el conjunto de todas las líneas de fuerza, cuyo número y forma dependen del foco magnético o fuente que generó el campo.

Un campo magnético busca el camino de menor resistencia, sí en este recorrido encuentra un obstáculo, las líneas de flujo salvan el mismo, creado un campo de fuga; este obstáculo en un objeto puede muy bien ser una fisura, una porosidad o una discontinuidad.

2.2.3.2. Objetivo de la técnica

El método de ensayo no destructivo por medio de partículas magnéticas, se debe de aplicar para detectar grietas y otras discontinuidades en la superficie o cerca de ella, en materiales ferromagnéticos.

La sensibilidad es mayor para discontinuidades superficiales y se reduce considerablemente cuando éstas discontinuidades se hacen más profundas desde la superficie.

Las discontinuidades típicas que se pueden determinar por este método son: grietas, costuras, laminaciones, falta de penetración, etc.

2.2.3.3. Técnicas de ensayo

En principio, involucra el hecho de magnetizar un área a ser examinada y aplicar partículas ferromagnéticas, extremadamente finas, en la superficie. Las partículas formarán patrones en la superficie donde grietas y otras discontinuidades causan distorsiones en un campo magnético normal. Estos patrones son usualmente característicos del tipo de discontinuidades que se detectan.

Cualquiera que sea la técnica que se utilice para producir el campo magnético en la piezas, la mayor sensibilidad se encontrará orientada, perpendicularmente a las líneas de flujo. Para una efectividad máxima en la detección de defectos, cada área deberá ser examinada por lo menos dos veces, con las líneas de flujo durante un examen, deberán de estar perpendiculares a las del otro examen.

Un polvo magnético espolvoreado sobre toda la superficie se juntará en el área de fuga mas fuertemente que en otra parte, señalando una indicación de discontinuidad.

2.2.4. Líquidos penetrantes

A través del desarrollo de la técnica de líquidos penetrantes es posible determinar defectos superficiales en la lámina de los cilindros, como también su ubicación y dimensión superficial; a continuación se describen los elementos a considerar dentro de esta técnica.

2.2.4.1. Principio básico

El fundamento del método reside en el principio de la capilaridad, capacidad de ciertos líquidos para penetrar y ser retenidos en fisuras, grietas y poros o huecos abiertos a la superficie de un material cuando son aplicados sobre la misma; esta es una de las fuerzas más poderosas de la naturaleza, es la misma fuerza, que hace subir el agua, hasta la cima del árbol más alto.

Esta capacidad depende principalmente de tres propiedades: mojabilidad o ángulo de contacto entre líquido y sólido; tensión superficial y viscosidad.

Este método tiene sus antecedentes en la antigua técnica de *aceite y blanqueo* aplicado desde fines del siglo pasado en los talleres ferroviarios para detectar fisuras de fatiga en componentes de locomotoras y vagones.

La técnica de *aceite y blanqueo* consistía en la aplicación de las siguientes operaciones: limpiar adecuadamente la pieza; sumergirla durante varias horas en una mezcla de aceite a fin de lograr la penetración de la mezcla en las posibles fisuras o poros; quitar la pieza del baño, escurrirla y remover la mezcla de la superficie; blanquear la pieza con cal o tiza suspendida en alcohol para finalmente observar detenidamente la pieza a fin de detectar las zonas en que las manchas de aceite en la cal revelaban la presencia de los defectos en los cuales había sido retenida la mezcla de aceite.

2.2.4.2. Objetivo de la técnica

La inspección por líquidos penetrantes es un método no-destructivo, para localizar fallas superficiales y agujeros pequeños que no son visibles al ojo humano. Tiene un amplio campo de aplicación en la detección de defectos abiertos a la superficie (grietas, fisuras y poros) en metales (ferrosos y no ferrosos) y en materiales cerámicos, plásticos y vidrios que no sean porosos ni presenten rugosidad excesiva o escamado.

Este método se distingue porque es prácticamente independiente de la forma o geometría de la pieza a examinar, requiere un equipamiento mínimo y permite obtener una gran sensibilidad en la detección de fisuras.

2.2.4.3. Técnicas de ensayo

Existen dos tipos de penetrantes:

- Fluorescentes
- Coloreados

Los que se definen por medio de la sustancia penetrante.

La inspección por penetración es aplicada a la superficie de la parte a ser examinada.

El proceso de inspección por líquidos penetrantes que se debe seguir es el siguiente:

La solución penetrante es aplicada en la superficie de la pieza por inmersión, atomizado o con brocha. El penetrante se coloca en las partes defectuosas y sus alrededores. Literalmente, el penetrante es halado hacia los defectos por la acción capilar.

Una sustancia llamada revelador, es usado para que el penetrante se muestre bien en la superficie y esta indicación resultante es observada por medio de luz negra (ultravioleta, o a simple vista según, sea el tipo de penetrante).

La diferencia de contraste entre el material fluorescente y el fondo hace posible la detección del más pequeño trazo del penetrante.

Ya que está involucrada la detección de diminutas penetraciones de penetrante, la parte a ser inspeccionada debe de estar bien limpia y seca, cualquier materia extraña puede cerrar la abertura, llevándonos a conclusiones falsas. La aplicación del penetrante puede hacerse por medio de inmersión, atomizado o con brocha.

2.3. Planeación del proceso

Para contar con un proceso eficiente de inspección de cilindros, es necesario contar con una planeación de éste que contemple el ordenamiento o sucesión de sus diversas actividades y los tiempos óptimos requeridos para su realización.

2.3.1. Diseño del proceso

Antes de que existieran las grandes empresas como las que ahora se conocen, la producción era escasa y no cubría las necesidades de los consumidores, cada día más grande. Esto se debía en gran parte al método manual de producción que era lento y rudimentario, lo que originó que algunos hombres de ingenio se pusieran a pensar en métodos nuevos de producción. Con el tiempo desarrollaron máquinas que suplían con enorme ventaja a aquellos que tenían la habilidad para hacer un determinado artículo.

Con la invención de los nuevos métodos de producción, se simplificó el trabajo de los artesanos y al mismo tiempo se benefició todo el público, al poder adquirir artículos en mayor cantidad y a precios bajos. El número de centros productivos se extendió, aumentando así las fuentes de trabajo y la oportunidad para muchos de sentirse útiles a la sociedad.

Sin embargo, en tanto que los métodos de producción se mejoraban cada día, no sucedía lo mismo con los métodos administrativos que con el tiempo se hacían inútiles para resolver una gran cantidad de problemas originados dentro de las propias fábricas.

El uso de estas técnicas para analizar y simplificar cualquier operación o proceso dado, no requiere conocimientos o estudios elevados. Es tan sencilla su aplicación que sólo con tener una habilidad analítica, complementada con un criterio práctico y un espíritu de progreso, lograremos realizar un diseño eficiente del proceso y en consecuencia ahorrar el trabajo y reducir el esfuerzo y la fatiga del trabajador.

Siempre que se trate de simplificar el trabajo, tendrá que ser necesario el cambiar el método de trabajo porque no es solamente la habilidad con que un operario cuenta para realizarlo, lo que señala su índice de productividad.

Todo nuevo método a pesar de ser más fácil, parece a primera vista más difícil, esto se debe a que es necesario un cambio en la habilidad del trabajador hasta que éste se acostumbre y tome un nuevo ritmo normal de trabajo.

El objetivo primordial al realizar un diseño del proceso es la simplificación del trabajo, por el cual se comprende como un método sistemático para la aplicación organizada del sentido común con el objeto de identificar y analizar los problemas del trabajo, desarrollar métodos más fáciles y mejores para hacer las cosas e instalar las modificaciones resultantes.

Para alcanzar mejores resultados al momento de realizar el diseño del proceso, es necesario contar con los siguientes requisitos: primero, tener una mente abierta. Un paracaídas como la mente, sólo funciona cuando se mantiene abierta.

Después, mantener una actitud de constante cuestionamiento. Cuestionarse frecuentemente las cosas, en la simplificación del trabajo significa una de las más útiles herramientas, porque a manera de un gancho coge las ideas.

Igualmente, trabajar sobre las causas, no sobre los efectos. No hay que conformarse con ver cómo la gente hace su trabajo; hay que analizarlo y estudiarlo para simplificarlo.

Siempre será necesario trabajar sobre los hechos, no sobre las opiniones mucha gente cree que un trabajo se hace porque desde muchos años antes *sé esta haciendo así*.

Después de lo anterior, la misión final será vencer la resistencia al cambio. Todos por naturaleza nos oponemos a los cambios, pero ellos son el requisito necesario para el progreso.

Sus características son el uso de una metodología para desarrollar las innovaciones. El empleo sistemático de la actitud analítica. El estímulo del sentido común y del ingenio creador, y el control de las ideas geniales desordenadas.

Así pues, la simplificación del trabajo como técnica, como sistema destierra el concepto de los mejoramientos como un fruto aislado de la inspiración y lo reemplaza por la afirmación categórica de que las mejoras deberán venir como resultado de un análisis completo, concienzudo, organizado, sistematizado y metódico, que es absolutamente fácil de seguir aun por las personas más ocupadas de la fábrica.

Se sirve de un método analítico que se ayuda de una serie de preguntas, de formas y diagramas diseñados para facilitar la presentación y análisis cuidadoso de los hechos y permiten recorrer gráficamente cada uno de los aspectos del problema, estudiándolo punto por punto, con la minuciosidad que convenga.

Para desarrollar un método para ejecutar el trabajo, es necesario considerar las respuestas obtenidas, que conducen a tomar las siguientes acciones.

- **Eliminar:** si las primeras preguntas por qué y para qué no pudieron contestarse en forma razonable, quiere decir que el detalle bajo análisis no se justifica y debe ser eliminado.
- **Cambiar:** las respuestas a las preguntas cuándo, dónde y quién puede lograr que se cambien las circunstancias de lugar, tiempo y persona en que se ejecuta el trabajo. es decir, a buscar un lugar más conveniente, un orden más adecuado o una persona más capacitada.
- **Cambiar y reorganizar:** si se tuvo la necesidad de cambiar algunas de las circunstancias bajo las cuales se ejecuta el trabajo, generalmente surgirá la necesidad de cambiar algunos detalles y reorganizarlos para obtener una secuencia más lógica.
- **Simplificar:** todos aquellos detalles que no hayan podido ser eliminados, posiblemente puedan ser ejecutados en una forma más fácil y rápida. la respuesta a la pregunta cómo, llevará a simplificar la forma de ejecución.

2.3.2. Diagramas del proceso

Los diagramas de operación y flujo de proceso se usan principalmente para explorar un proceso, o serie de operaciones, completo, el diagrama de proceso-máquina se emplea para estudiar, analizar y mejorar sólo una estación de trabajo cada vez. Este diagrama indica la relación exacta en tiempo entre el ciclo de trabajo de la persona y el ciclo de operación de su máquina. Con estos hechos claramente expuestos, existe posibilidad de una utilización completa de los tiempos de hombre y de máquina, y un mejor equilibrio del ciclo de trabajo.

En la actualidad muchas máquinas-herramientas están completamente automatizadas, o parcialmente automáticas, en la operación de estos tipos de implementos el operario frecuentemente permanece inactivo durante una porción del ciclo. La utilización de este tiempo de inactividad puede aumentar la retribución del operario y mejorar la eficiencia de la producción.

2.3.3. Estudio de tiempos

A menudo, esta técnica también se conoce como estudio de tiempos. Esta actividad comprende la técnica de establecer un estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada, con base en la medición del contenido de trabajo del método prescrito, con la debida consideración de la fatiga y las demoras personales y los retrasos inevitables. El analista de estudio de tiempos tiene varias técnicas que se utilizan para establecer un estándar: el estudio cronométrico de tiempos, recopilación computarizada de datos, datos estándares, datos de los movimientos fundamentales, muestreo del trabajo y estimaciones basadas en datos históricos. Cada una de estas técnicas tiene su aplicación para distintas situaciones. El analista de tiempos debe saber cuándo es mejor utilizar una cierta técnica y llevar a cabo su utilización juiciosa y correctamente.

Existe una estrecha asociación entre las funciones del analista de tiempos y las del ingeniero de métodos. Aunque difieren los objetivos de los dos, un buen analista de estudio de tiempos es un buen ingeniero de métodos, puesto que su preparación tiene a la ingeniería de métodos como componente básico. Para cerciorarse de que el método que se prescribe es el mejor, el ingeniero especialista en estudio de tiempos con frecuencia asume el papel de un ingeniero de métodos. En industrias pequeñas estas dos actividades suele desempeñarlas la misma persona.

Obsérvese que el establecer valores de tiempos es un paso en el procedimiento sistemático en el desarrollo de nuevos centros de trabajo y mejora los métodos existentes.

2.4. Control de calidad del proceso

Con la finalidad de determinar si los resultados obtenidos del desarrollo de los procesos en estudio son de un nivel de calidad aceptable, se hace necesario realizar un estudio de la calidad, mediante el uso de gráficos de control.

2.4.1. Gráficos de control

Una gráfica de control consiste en una línea central, un par de límites de control, uno de ellos colocado por encima de la línea central y otro por debajo, y en unos valores característicos registrados en la gráfica que representa el estado del proceso. Si los valores ocurren dentro de los límites de control, sin ninguna tendencia especial, se dice que el proceso está en estado controlado. Sin embargo, si ocurren por fuera de los límites de control o muestran una forma peculiar, se dice que el proceso está fuera de control.

Para los gráficos de control se grafican dos tipos de datos:

- Datos de *variables*: son aquellos por las que se obtienen mediciones numéricas
- Datos de *atributos*: son aquellos que indican la presencia o ausencia de alguna condición

Como ejemplo de datos variables se pueden encontrar las mediciones numéricas de temperaturas y presiones de proceso, composiciones, etc. En contraste, las variables de atributos se basan en determinaciones como: pasa / no pasa, bueno / malo, presente / no presente.

El gráfico de control es una herramienta fundamental en el Control Estadístico del Proceso (CEP). Por medio de éste, cualquier dato medible relacionado con el proceso o un producto, puede graficarse contra el tiempo para establecer si el proceso está en *control estadístico*.

Cuando el gráfico de control indica que están presente causas especiales de la variación del proceso, es necesario identificar y corregir estas causas, y tener el proceso estable.

Además, el gráfico de control tiene valores adicionales para el ingeniero de procesos. Si se usa continuamente, puede ser un indicador de la inestabilidad del proceso o del deterioro gradual del equipo.

Los gráficos de control pueden monitorear el deterioro gradual del proceso que resulta por el uso del equipo. Por otro lado, también se pueden detectar efectos ambientales, tales como cambios temporales de temperatura, ambiente y humedad relativa debido al cambio de estación, y variación de día a noche, permitiendo realizar acciones correctivas a tiempo.

Los gráficos de control pueden también indicar la reacción del proceso a variaciones en materias primas. Estas se pueden deber a emplear proveedores múltiples o incluso una condición fuera de control de un mismo proveedor.

2.4.2. Selección de gráficos de control

Cuando el control de calidad se lleva por variables, usualmente los gráficos que se utilizan son el gráfico \bar{X} o de promedios y el gráfico (R) o de rangos. El gráfico \bar{X} controla el promedio o exactitud del proceso y el gráfico R controla su variabilidad o precisión.

Los gráficos \bar{X} y R son de uso muy generalizado, pero éste se encuentra limitado a sólo una parte de las características que tiene un producto. Por otro lado existen características que no pueden ser observadas como variables sino sólo como atributos y en otras ocasiones desearíamos observar una característica como atributo a pesar de que puede ser observada como variable.

Para observar las características como atributos, existe el Gráfico de Control para la Fracción Defectuosa o Gráfico p. El uso que se le da al gráfico p en el estudio de control de calidad es similar al de los gráficos \bar{X} y R, aunque para efectos de análisis es menos sensitiva que éstos.

La fracción defectuosa p puede describirse como la razón que existe entre el número de artículos defectuosos en una muestra y el número total de artículos de la muestra. Por otro lado, un artículo es defectuoso cuando no llena los requisitos indispensables, y defecto es la ausencia de este requisito.

La gráfica de control por defectos, también llamada gráfica c, tiene un uso mucho más restringido que todas las gráficas mencionadas anteriormente. Es posible que en ciertas plantas industriales no exista la más mínima oportunidad de hacer uso de ella, sin embargo, existen procesos en los cuales su uso es imprescindible.

Quizás los campos más adecuados para la aplicación de la gráfica de control por defectos sea, la industria textil, la industria gráfica y las industrias ensambladoras.

La gráfica de control por defectos está basada en la distribución de *Poisson*, las experiencias hechas con la variación del número de defectos para un solo artículo han demostrado que la distribución de la variable se asemeja mucho a la distribución de *Poisson*. Este hecho empírico está fundamentado por consideraciones teóricas, una de ellas es que la distribución de Poisson, se puede usar siempre y cuando el número de defectos por unidad pueda ser convertido en una fracción defectuosa.

Para que la fracción de defectos se aproxime a la distribución de *Poisson*, la fracción defectiva debe ser pequeña comparada con el tamaño de la muestra. A veces la gráfica de control por defectos se basa en la inspección 100 por ciento, en estos casos el número de unidades que componen la muestra no es constante. Cuando se presenta este problema se hace necesario el uso de el gráfico u , el cual utiliza el *promedio* de defectos por muestra unitaria. Visto de otro manera sí c es el número de defectos encontrados en cualquier muestra y k es el número de unidades inspeccionadas en la muestra, usaremos una gráfica en la cual se graficara la cantidad $u = c / k$.

Una de las condiciones para el uso de la gráfica c como aproximación de la distribución de *Poisson*, es que el número de defectos por artículo se pueda convertir en fracción defectuosa. Cuando la naturaleza del proceso nos permite esta conversión podemos estar seguros, que estamos teóricamente haciendo uso de la distribución de *Poisson*. Sin embargo, existen procesos en que dicha distribución no es aplicable, pero la experiencia ha demostrado que aun en éstos casos el uso empírico de la distribución de *Poisson* da buenos resultados.

Cuando se utiliza la distribución de *Poisson*, se debe tener cuidado de mantener constante *el área de oportunidad* para la ocurrencia de un defecto. Esto es muy importante, sobre todo cuando el tamaño de la muestra no es constante. Además de las aplicaciones que tiene la gráfica c en la industria, ésta se ha utilizado ventajosamente en el control de errores de oficina, donde las diferencias entre individuos tienden a ser particularmente importantes.

2.4.3. Interpretación de gráficos

La construcción de gráficos por variable es muy simple, así como su interpretación, por lo que su uso es muy popular. Estos gráficos se construyen sobre ejes de coordenadas, en el eje de las ordenadas se colocan los valores del promedio o del rango, según sea el caso, y en la abscisa usualmente se escribe el tiempo o el número de muestras.

Existen tres líneas que son los llamados límites de control, el límite superior de control (L.S.C.) el límite inferior de control (L.I.C.) y la línea central (L.C.). Los límites L.S.C. y L.I.C. usualmente se calculan como 3σ (tres sigma) o sea tres veces la desviación estándar del proceso. Los límites 3σ indican que la probabilidad que la desviación se exceda de este valor es 0.00135 en cada dirección; esto nos da una seguridad muy grande de que si un punto cae afuera de estos límites, la variación se debe a una causa asignable y no puramente a una causa casual. Esto no quiere decir que siempre se utilicen los límites 3σ . A veces, dependiendo del proceso, límites 2σ y aún 1.5σ da buen resultado y son más económicos.

El gráfico de control es un instrumento poderoso en el control de calidad de un proceso industrial. El gráfico de control nos indicará algunas veces que el proceso está bajo control y otras indicará que el proceso se encuentra fuera de control. Sin embargo, la gráfica no indicará dónde encontrar la causa de la variación en el proceso. Pero la habilidad de detectar dónde se encuentra esta causa puede lograrse con un entendimiento de los principios del gráfico de control y un conocimiento del proceso de manufactura al cual se le está aplicando éste.

El gráfico p es un método muy útil y práctico de utilizar, ya que en éste, los límites de control se basan en un tamaño de lote esperado, implica menos cálculo. Siempre que los límites de control se calculan para un valor n esperado, debe tenerse el cuidado de hacer un examen minucioso de los puntos que caen fuera de estos límites o muy cerca de ellos, para detectar si los límites calculados se aplican realmente a estos puntos.

Cuando el tamaño del subgrupo es más grande que el valor esperado n , los límites verdaderos están dentro de los límites calculados. Cuando el tamaño del subgrupo es más pequeño, los límites de control verdaderos se encuentran fuera de los límites calculados.

Cuando la gráfica p se basa en el muestreo 100 % de la producción, para un período cualquiera, se tiene el problema de decidir el tamaño de la muestra y la frecuencia de la misma. Una solución óptima a este problema sería muy complicado. Básicamente la respuesta está determinada por el costo de inspección y las pérdidas que ocasiona, una falla en detectar cambios en el proceso. Sin embargo, existen algunas consideraciones que no se deben perder de vista, si p' es pequeña, n deberá ser lo mas suficientemente grande como para que exista la probabilidad de encontrar algunos defectuosos en la muestra.

2.5. Montaje y mantenimiento del equipo de inspección no destructiva

En cuanto al montaje del equipo de inspección no destructiva, este se realiza mediante la investigación y análisis de ciertas condiciones necesarias que se deben de cumplir, para lograr resultados satisfactorios. Para la efectiva realización del montaje del equipo a utilizar dentro de la aplicación de las nuevas técnicas a implementar en el laboratorio, se presente también como un requisito mas, la instalación de energía eléctrica para alimentación de los equipos y accesorios.

El mantenimiento del equipo e instalaciones del laboratorio de Ensayos no Destructivos, contempla una serie de actividades que deben realizarse con el fin de conservar en óptimas condiciones los elementos físicos, para operar en condiciones de funcionamiento seguras, eficientes, económicas y especialmente para mantener el servicio de inspección para el cual han sido creados.

El mantenimiento se clasificara en: preventivo, correctivo y de emergencia. Para el desarrollo del mantenimiento preventivo se planificaran y programaran actividades de mantenimiento, de tal forma que se eliminen las averías que provocan paro imprevistos, considerando que los paros necesarios para la realización de este mantenimiento, tengan la menor influencia posible sobre la actividad de inspección del laboratorio.

El mantenimiento correctivo está dirigido a reducir y mejorar las condiciones insatisfactorias en los equipos y accesorios, se realiza después una revisión que ha sido solicitada en cualquier momento, y se llega a la conclusión de que es necesario cambiar algún repuesto dañado, o sea, se corrige lo dañado.

El mantenimiento de emergencia se realiza cuando se produce algún paro en la actividad de inspección no destructiva en el laboratorio, debido a alguna avería o falla imprevista en el equipo y es necesario repararlo.

A continuación se mencionan la ventajas que se obtendrán, al desarrollar un programa de mantenimiento preventivo:

a) Se tiene más tiempo par planificar y programar las reparaciones

Por el mismo hecho de que se planifican las actividades de mantenimiento preventivo a desarrollar, se tiene el suficiente tiempo para poder tomar decisiones, en lo que respecta al cambio de actividades, sus frecuencias, personal que lo llevará a cabo, equipo a utilizar durante el mantenimiento, por lo que se puede acordar con el departamento de producción, fechas y horarios para la realización de las reparaciones e inspecciones, por lo que no hay ningún elemento que impida realizar dichas reparaciones, ya que todo ha sido planificado con suficiente tiempo y esto permite observar y analizar cosas que nos pueden afectar la realización adecuada del programa de mantenimiento preventivo.

b) El equipo es mas eficiente

Con la realización de un programa de mantenimiento preventivo, el equipo de inspección no destructiva se puede mantener siempre en óptimas condiciones de funcionamiento, y que las posibles causas que pueden afectar tal funcionamiento, son detectadas con anticipación, y se evita tener paros indeseados que afecten el proceso, y se logra mantener al equipo funcionando cuando y como se le requiere.

c) Se aumenta la capacidad de inspección

Esto se logra, desde varios puntos de vista, primero, como el equipo funciona cuando y como se le requiere, la capacidad de inspección llegara a sus niveles óptimos, ya que esta aumenta en comparación con la capacidad que se logra cuando el equipo se encuentra detenido por algún desperfecto que no ha sido detectado con anticipación.

d) Se reduce la probabilidad de fallas en los equipos de inspección

Como el programa de mantenimiento preventivo se anticipa a los problemas que pueden afectar a un equipo, la probabilidad de que falle, se reduce, ya que si es necesario cambiar algún elemento para que la maquinaria no tenga ningún problema en su funcionamiento, se cambia y eso disminuye la probabilidad de que falle.

e) Se disminuye el tiempo en que los equipos permanecen fuera de servicio.

Por la planificación que se tiene, se sabe en que momento se va a realizar cada actividad de mantenimiento, lo que implica que al momento de realizarla, se conoce lo que se va a hacer, el personal que lo va a hacer y los repuestos que se van a utilizar, de tal forma que en ningún momento se va a producir alguna falla imprevista, lo cual hace que disminuya el tiempo en el cual los equipos permanecen fuera de servicio, lo cual disminuye los costos totales de producción.

2.6. Seguridad e higiene industrial

La seguridad industrial, como aspecto fundamental para el desarrollo, crecimiento y avance de la industria, ha tenido que ser normalizada y específicamente se utilizan normas que oriente el buen funcionamiento, la planificación, el control, la dirección y la administración de los programas para proteger a los elementos de la producción, siendo ellos el recurso humano, la maquinaria, las herramientas, el equipo y las materias primas; pues para lograr una eficiencia satisfactoria se necesita que ellos permanezcan en condiciones plenas y satisfactorias de total protección.

Las normas deben ser, además eficaces, eficientes, puesto que el impacto que tiene la seguridad industrial de la sociedad es de significativas magnitudes así como el beneficio incalculable que trae a la industria en general.

Un programa de seguridad e higiene industrial persigue lograr un elevado nivel en el control y la eliminación de los accidentes industriales, el cual elimine o minimice pérdidas económicas y sociales, puesto que si los accidentes producen estas pérdidas, la institución es la responsable de incapacitar a los individuos experimentados, ocasionando bajas en la productividad y causante del retardo en el avance de mejores normas de vida, razón por la cual la eliminación de los accidentes es vital, pero las razones por las cuales es necesario que la industria se preocupe de evitar los accidentes y las enfermedades ocupacionales son las siguientes:

- Todos los hombres son responsables por mantener el género humano y no destruirlo

- La función empresarial por sí sola responsabiliza al empresario de tomar las precauciones para eliminar los riesgos potenciales ya existentes
- Los accidentes bajan la eficiencia y la productividad de cualquier empresa, produciendo además daño moral a la sociedad
- El movimiento de la seguridad industrial ha demostrado que sus técnicas pueden reducir los índices de accidentes y fomentar la productividad
- La seguridad e higiene industrial evita destrozos a la economía nacional, a la sociedad y mantiene íntegra a la familia

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1. Diagnóstico del laboratorio de ensayos no destructivos

El Departamento de Asuntos Nucleares está integrado por varias secciones, creadas como un soporte técnico a las instituciones relacionadas con el ambiente y a la industria.

La Sección de Ensayos no Destructivos, como parte del Departamento, actualmente tiene como actividad principal establecer un programa eficiente de control de calidad de cilindros de Gas Licuado de Petróleo (GLP), cuya fabricación implica el cumplimiento de especificaciones de diseño y construcción detalladas en normas nacionales e internacionales, con la finalidad de garantizar el buen funcionamiento y la uniformidad de los mismos. La continua demanda de estos recipientes ha provocado la fabricación e importación de cilindros en gran volumen, muchos de los cuales no cumplen con los requerimientos de fabricación, lo que repercute en el rápido deterioro de los mismos, con el subsecuente riesgo de la ocurrencia de accidentes, no sólo para el consumidor final, sino en los lugares de almacenamiento y transporte de los cilindros.

Actualmente El Laboratorio de Ensayos no Destructivos realiza inspecciones en la soldadura utilizando la técnica de radiografía industrial y medición de espesores en el cuerpo de la lámina, con la finalidad de verificar y garantizar la calidad en muestras de fabricación nacional o de importación de cilindros nuevos.

Actualmente el control de calidad en cilindros nuevos se realiza parcialmente, ya que éste implica la realización y utilización de otras técnicas de inspección con las cuales no cuenta el laboratorio, también cabe mencionar que tanto el equipo como el sistema de inspección no son capaces de satisfacer la demanda de control de calidad de cilindros nuevos.

Actualmente en el Laboratorio se encuentran laborando tres personas las cuales tienen la responsabilidad de realizar todas las operaciones que comprenden la inspección a realizarse en los cilindros de GLP, desde el momento de recepción hasta la entrega de los resultados.

A través de un diagnóstico por el método *FODA*, se determinaron las siguientes factores dentro del Laboratorio de Ensayos no Destructivos:

Fortalezas

1. El Laboratorio de Ensayos no Destructivos cuenta con el equipo de radiografía industrial, que en valor monetario es el de mayor cantidad.
2. El laboratorio de Ensayos no Destructivos cuenta con bibliografía actualizada sobre las técnicas propias a utilizar.
3. El Departamento de Asuntos Nucleares cuenta con personal suficiente para montar un programa eficiente de inspecciones en cilindros de Gas Licuado de Petróleo.
4. Se cuenta con la disponibilidad de las autoridades a favor del mejoramiento de la calidad del servicio que presta el laboratorio.

5. Existe el apoyo de organizaciones internacionales para lograr la capacitación y asesoramiento del personal en las técnicas de inspección.
6. Se cuenta con fondos económicos para cubrir los gastos de insumos, mobiliario y servicios a utilizar para fines de implementación de mejoras en el laboratorio.

Oportunidades

1. El Laboratorio de Ensayos no Destructivos cuenta con el área suficiente para la adecuación de técnicas complementarias.
2. Existe interés por parte de la jefatura del departamento en procurar mejoras en cuanto a la calidad del servicio de análisis o inspección.
3. Existe la posibilidad de encontrar en el medio la disponibilidad de técnicas de inspección afines, que puedan ser implementadas en el laboratorio con el objetivo de complementar un programa de inspecciones en cilindros de GLP, y en consecuencia brindar un servicio más eficiente.

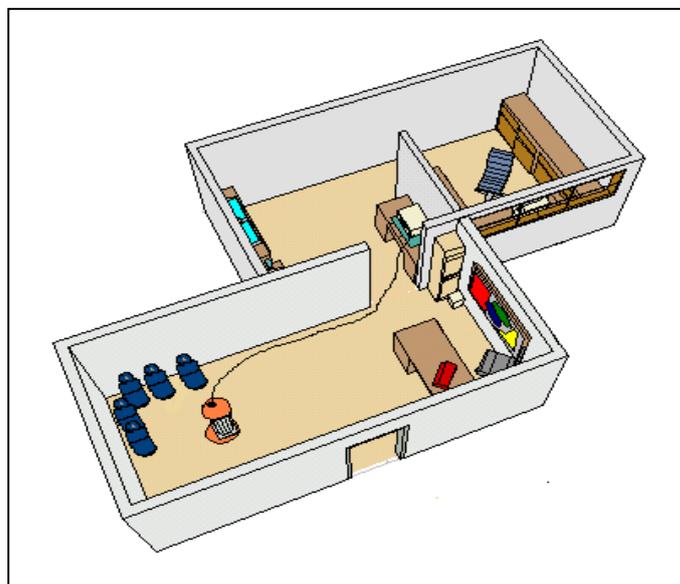
Debilidades

1. No se cuenta con procedimientos establecidos para la ejecución de los procesos de inspección radiográfica y medición de espesor por ultrasonido, que permitan la estandarización de éstos y que asegure la calidad de sus resultados.

2. No se cuenta con diagramas de flujo ni de recorrido de ambos procesos para lograr una comprensión gráfica de la lógica de los procedimientos, como tampoco un estudio y medición de tiempos, con el cual se podrían realizar pronósticos de la capacidad de inspección o la estandarización de los procesos.

3. No se cuenta con un mobiliario apropiado para la realización de las inspecciones en los cilindros, como tampoco una distribución eficiente de las áreas de trabajo, (ver figura 3).

Figura 3. Plano actual de distribución del laboratorio



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

4. Otra de las situaciones que se pueden mencionar, es la realización de operaciones, poco prácticas o erróneas dentro de cada proceso, como por ejemplo utilizar *masking tape* para sujetar la funda de plomo al cilindro en lugar de utilizar algo mas práctico como un cincho de hule.
5. No se realiza un análisis de los resultados obtenidos de las inspecciones en los cilindros, que permita rectificar y corregir alguna anomalía ocurrida dentro de cualquiera de los procesos de inspección.
6. Para realizar un control total es necesario contar con la capacidad instalada para inspeccionar la calidad de la lámina de los cilindros, factor que no es práctico analizar por ninguna de las dos técnicas con las que cuenta actualmente el laboratorio.
7. No se cuenta con un programa establecido de mantenimiento para los equipos de radiografía y ultrasonido.
8. Actualmente no se cuenta con una base de datos de los proveedores, que permita agilizar cualquier trámite de requisición de éstos.
9. Existen condiciones de riesgo o carencia de las aplicaciones de factores de seguridad e higiene industrial dentro del Laboratorio de Ensayos no Destructivos de los cuales se pueden mencionar:
 - El personal no cuenta con la vestimenta adecuada o necesaria para realizar los ensayos
 - No se cuenta con un extinguidor para utilizar en caso de incendios

- El Laboratorio no utiliza eficientemente un sistema de protección radiológica
- El personal no cuenta con licencias vigentes de operación de equipo de rayos X
- El laboratorio no cuenta con un botiquín de primeros auxilios

Amenazas

1. Falta de interés del personal en cuanto a la implementación de reformas a la utilización de las técnicas o métodos a utilizar.
2. Retraso por parte de las autoridades en el cumplimiento de sus responsabilidades económicas causado por el sistema utilizado en la ejecución de un presupuesto de compra de equipo o insumos a utilizar dentro del proyecto.
3. Obstrucción de la ejecución del proyecto debido al interés de las altas autoridades en brindarle la concesión del servicio de inspección a una empresa privada.

3.2. Equipo utilizado

Para la inspección de los cilindros por radiografía industrial se utiliza el tubo de rayos X marca *Gilardoni* con una capacidad de hasta 250 Kilovoltios, y entre 3 y 6 miliamperios. Ver figura 4.

Figura 4. Equipo de rayos X



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

La medición de espesor se realiza con el equipo de ultrasonido marca *Gilardoni* DG35, con una capacidad de medición de hasta una centésima de milímetro. (Ver figura 5).

Figura 5. Equipo de ultrasonido



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

3.3. Análisis del proceso de medición ultrasónica

A continuación se presenta un análisis del proceso actual de medición ultrasónica, para lo cual se han realizado diagramas del proceso, un estudio de tiempos y una evaluación mediante gráficos de control que permitan determinar el nivel de calidad de dicho proceso.

3.3.1. Diagramas del proceso

El proceso actual de medición de espesor por ultrasonido, consta de varios pasos para su concreción, los cuales pueden ser analizados más fácilmente mediante la utilización de los diagramas de proceso.

3.3.1.1. Diagrama de flujo

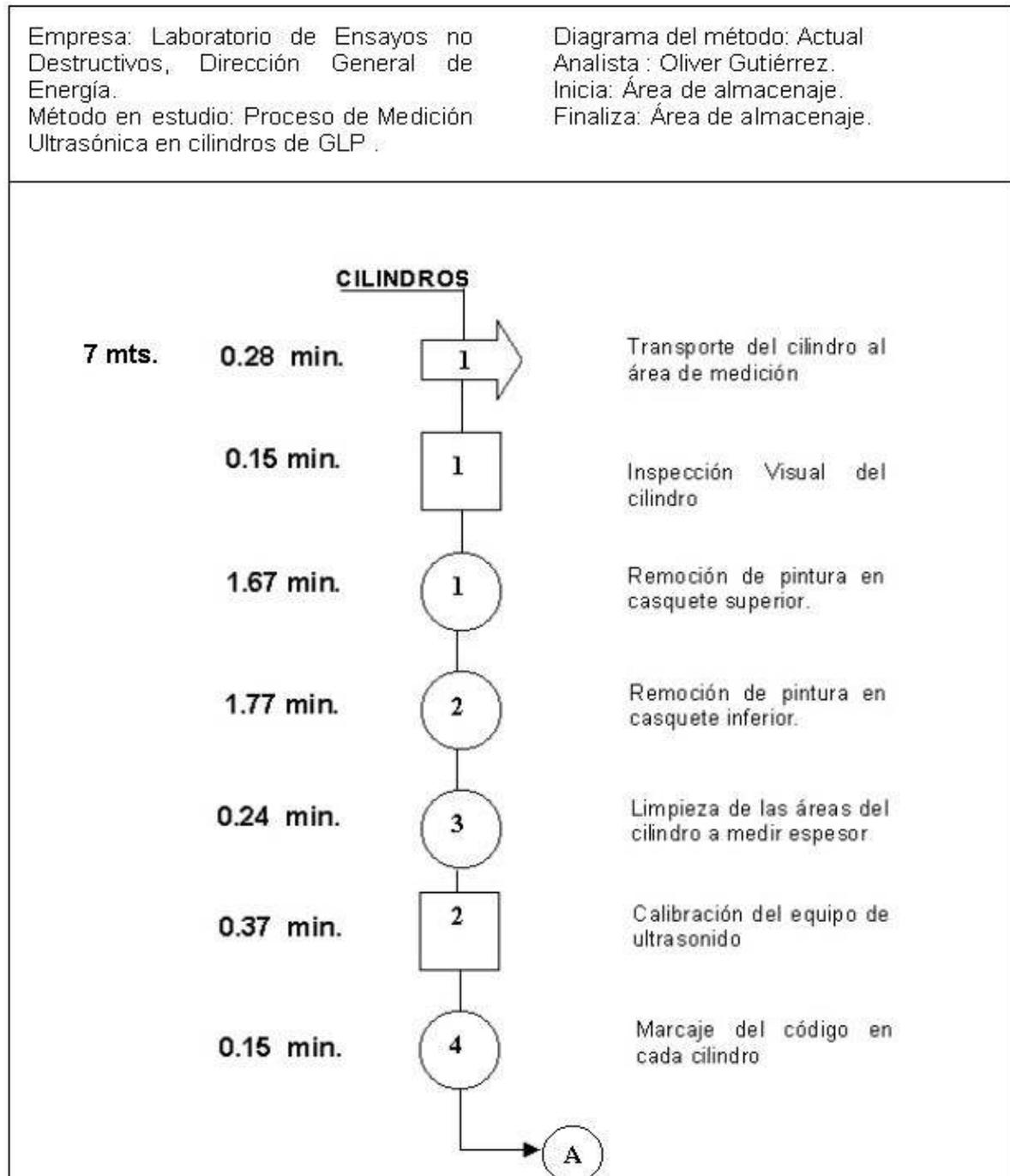
Para una cómoda comprensión del proceso actual de medición de espesor por ultrasonido, se debe de analizar la secuencia de los procedimientos que lo componen, lo cual se encuentra planteado en el diagrama de flujo (ver figura 7), dando a conocer el tiempo estándar utilizado para desarrollar cada uno de los elementos.

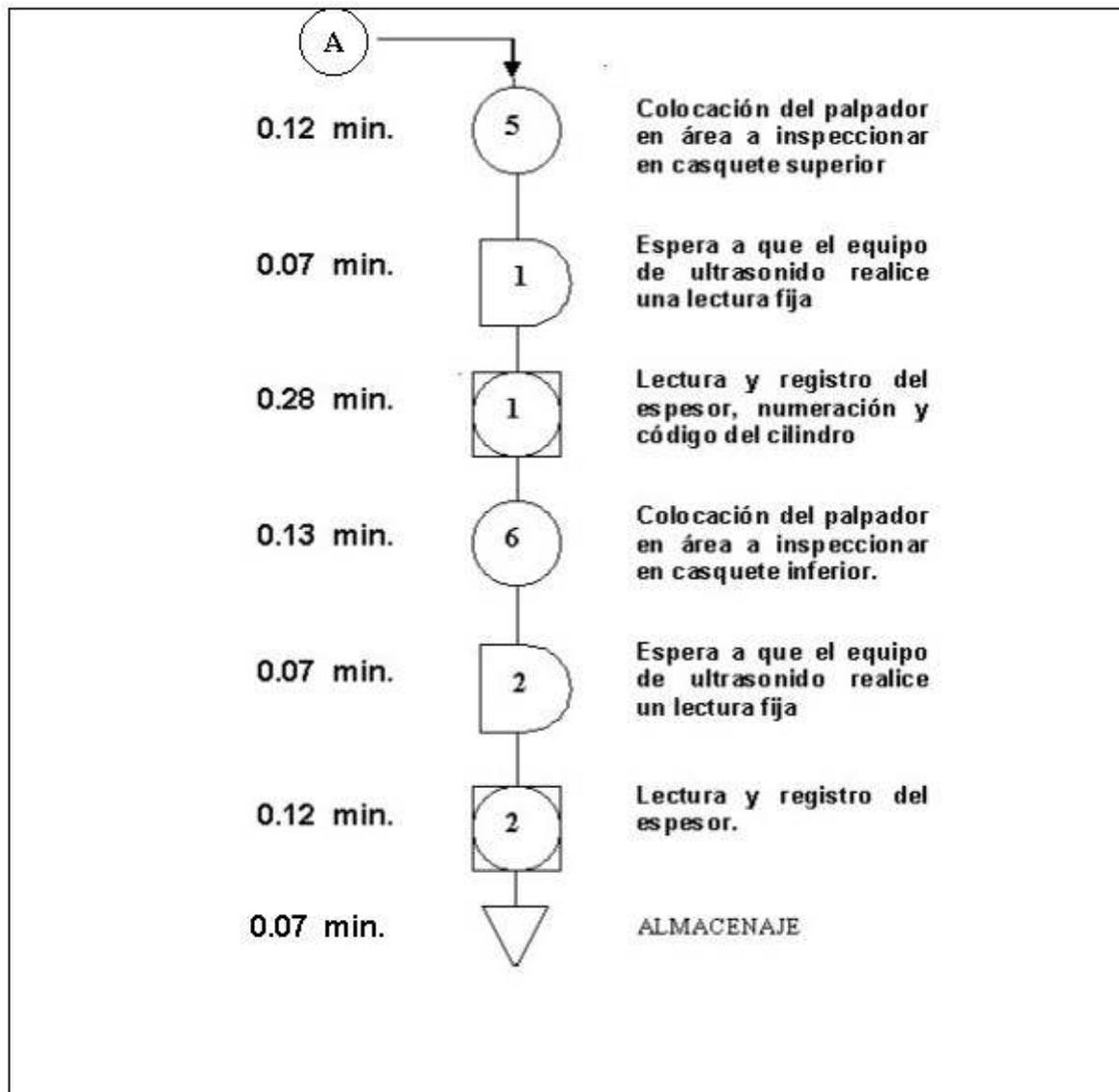
En el presente diagrama de flujo se contemplan como elementos: operaciones realizadas, inspecciones, combinada, traslados y retrasos que se encuentran involucrados dentro del proceso actual de medición de espesor por ultrasonido. La simbología utilizada en el diagrama de flujo se puede observar en la figura 6.

SIMBOLOGÍA				
OPERCIÓN	INSPECCIÓN	COMBINADA	TRANSPORTE	DEMORA
				

Figura 6. Simbología utilizada en el diagrama de flujo

Figura 7. Diagrama de flujo del proceso actual de medición ultrasónica



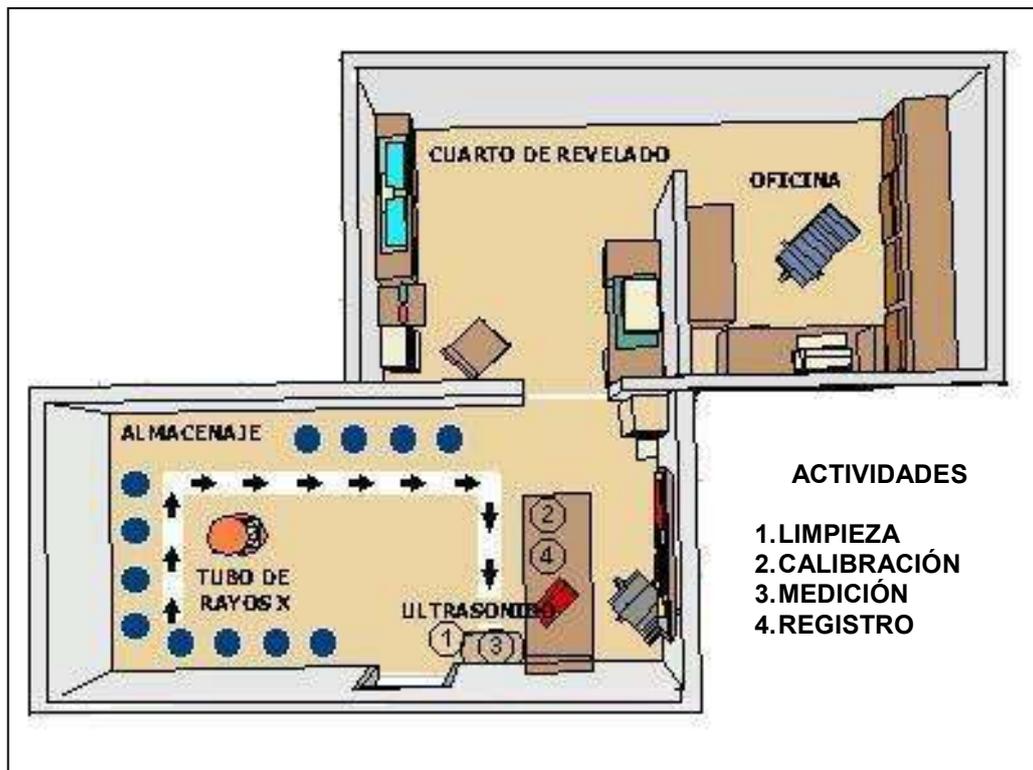


RESUMEN			
EVENTO	NÚMERO	TIEMPO (Min.)	DISTANCIA (Mts.)
OPERACIONES	6	4.08	
INSPECCIONES	2	0.52	
COMBINADAS	2	0.40	
TRANSPORTE	1	0.28	7.00
DEMORAS	2	0.13	
ALMACENAJE	1	0.07	
TOTAL	13	5.49	7.00

3.3.1.2. Diagrama de recorrido

A continuación se muestra el diagrama de recorrido (ver figura 8) del proceso actual de medición de espesor por ultrasonido en la lámina de los cilindros de GLP desarrollado por el laboratorio de ensayos no destructivos, en el cual se puede observar la concentración del trabajo solamente en una área del laboratorio, causando así aglomeración de herramienta y cilindros, lo cual no permite un flujo de movimiento efectivo.

Figura 8. Diagrama de recorrido actual de ultrasonido



3.3.2. Medición de tiempos

Con el objetivo de contar con los tiempos estándar involucrados dentro de los diferentes procesos de inspección, se realizó un estudio de tiempos, el cual se describe a continuación.

3.3.2.1. Equipo utilizado

El equipo que se utilizó para llevar a cabo el estudio de tiempos, se menciona a continuación:

- Un cronómetro electrónico
- Un tablero o paleta
- Formatos impresos para la anotación de tiempos
- Una calculadora

3.3.2.2. Descripción del estudio

Se utilizó el Método de Medición Continuo, ya que con este método se presenta un registro completo de todo el período de observación, en el que se toman en cuenta todos los factores como demoras, retrasos o elementos extraños; se escogió este método debido a que se cuenta con operaciones con tiempos por debajo de 0.1 min. y al no tener que regresar a cero el cronómetro, no estamos despreciando ningún elemento en estudio.

A continuación se describen los pasos realizados para el cálculo del tiempo estándar:

1. Se tomó el tiempo de la duración total del proceso, sin regresar a cero entre cada elemento registrado.
2. Se anotó en una tabla el tiempo exacto que registraba el cronómetro al momento de concluir el elemento en estudio. Dicha tabla se elaboró con el objeto de facilitar el registro de los datos observados, la cual se encuentra en la Tabla II.
3. Se realizó el estudio de tiempos para veinte ciclos de realización del presente proceso.
4. Se realizó la sumatoria y el promedio, por separado para cada elemento, de cada proceso.
5. Se utilizó un factor de multiplicación o porcentaje (factor de desempeño), el cual se determinó y estableció utilizando el Método de *Calificación por Velocidad*, y el apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.
6. Con el objetivo de tomar en cuenta los suplementos especiales involucrados dentro del proceso, como lo son las demoras inevitables, retrasos personales y la fatiga, se buscó representar éstos mediante un factor de multiplicación, el cual consiste en la suma de los tres factores representativos de los suplementos mencionados anteriormente. Dichos factores fueron establecidos con el acuerdo y apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.

Las anotaciones de los cálculos mencionados anteriormente se presentan en la Tabla II.

Tabla II. Tabla de estudio de tiempos del proceso actual de ultrasonido

UNIDAD DE MEDIDA : MIN

FECHA 30/MAYO HOJA No 1/2	PROCESO: ULTRASONIDO ACTUAL	C I C L O											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
OPERACIONES													
1.	Transporte cilindro	0.32	0.32	0.33	0.28	0.30	0.27	0.28	0.27	0.28	0.27	0.28	0.27
2.	Inspección Visual	0.20	0.22	0.18	0.18	0.20	0.15	0.13	0.13	0.12	0.13	0.12	0.15
3.	Remoción pintura cas. sup.	1.48	1.63	1.73	1.75	1.95	1.45	1.58	1.65	1.70	1.65	1.70	1.88
4.	Remoción pintura cas. inf.	1.62	1.82	1.85	1.98	1.90	1.68	1.67	1.75	1.85	1.75	1.85	1.65
5.	Limpieza.	0.18	0.17	0.20	0.25	0.23	0.35	0.27	0.23	0.28	0.23	0.28	0.27
6.	Calibración.	0.40	0.38	0.43	0.40	0.35	0.37	0.33	0.32	0.30	0.32	0.30	0.37
7.	Marcaje código cilindro	0.20	0.23	0.22	0.18	0.13	0.15	0.13	0.17	0.13	0.17	0.13	0.12
8.	Colocación palpador cas. sup.	0.15	0.15	0.12	0.13	0.10	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12	0.12
9.	Espera lectura fija	0.05	0.07	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05
10.	Lectura y registro.	0.40	0.33	0.35	0.28	0.25	0.28	0.27	0.25	0.28	0.25	0.28	0.28
11.	Colocación palpador cas. inf.	0.17	0.15	0.12	0.13	0.12	0.10	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12
12.	Espera lectura fija	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
13.	Lectura y registro del espesor.	0.17	0.15	0.13	0.15	0.12	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12	0.08	0.10

FECHA	PROCESO:	C I C L O											RESUMEN						
		30MAYO	ULTRASONIDO	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTALES	OBSER.	TP.O. PROM. (T.P.)	CALIF. DESEMP (C.D.)	T.P. X C.D.	% TOLER.
HOJA No 2/2	ACTUAL	OPERACIONES																	
1.	Transporte cilindro	0.26	0.28	0.27	0.26	0.28	0.28	0.28	0.28	0.30	0.32	0.28	5.72	20	0.29	0.93	0.27	1.07	0.28
2.	Inspección Visual	0.12	0.13	0.15	0.15	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.12	0.13	3.02	20	0.15	0.93	0.14	1.07	0.15
3.	Remoción pintura cas. sup.	1.48	1.67	1.78	1.68	1.58	1.62	1.72	1.75	1.78	1.58	1.58	33.47	20	1.67	0.93	1.56	1.07	1.67
4.	Remoción pintura cas. inf.	1.78	1.75	1.78	1.62	1.70	1.75	1.78	1.80	2.03	1.82	1.82	35.58	20	1.78	0.93	1.66	1.07	1.77
5.	Limpieza.	0.20	0.18	0.22	0.25	0.23	0.23	0.27	0.25	0.22	0.25	0.25	4.73	20	0.24	0.93	0.22	1.07	0.24
6.	Calibración.	0.37	0.38	0.40	0.35	0.37	0.38	0.40	0.35	0.37	0.35	0.35	7.37	20	0.37	0.93	0.34	1.07	0.37
7.	Marcaje código cilindro	0.13	0.13	0.15	0.12	0.12	0.15	0.13	0.12	0.15	0.13	0.13	3.00	20	0.15	0.93	0.14	1.07	0.15
8.	Colocación palpador cas. sup.	0.13	0.15	0.10	0.12	0.10	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10	2.45	20	0.12	0.93	0.11	1.07	0.12
9.	Espera lectura fija	0.05	0.08	0.07	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	1.30	20	0.07	0.93	0.06	1.07	0.07
10.	Lectura y registro.	0.25	0.27	0.28	0.32	0.28	0.28	0.25	0.23	0.27	0.25	0.25	5.67	20	0.28	0.93	0.26	1.07	0.28
11.	Colocación palpador cas. inf.	0.13	0.17	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	2.60	20	0.13	0.93	0.12	1.07	0.13
12.	Espera lectura fija	0.07	0.07	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	1.42	20	0.07	0.93	0.07	1.07	0.07
13.	Lectura y registro del espesor.	0.12	0.13	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	0.12	2.32	20	0.12	0.93	0.11	1.07	0.12

OPER	CICLO	ELEMENTOS EXTRAÑOS	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO	INICIO ESTUDIO	FINAL ESTUDIO	TIEMPO TOTAL
A	1	3	C. D. = 93 %	14:33	16:35	2:02
B	5	6				
C	4	18	RESUMEN TOLERANCIAS	OBSERVACIONES: Realizar la remoción de pintura con		
D	4	19	PERSONAL	lija, merma el espesor real de la lámina.		
E			INEVITABLE	Las baterías que utilizó el equipo ya estaban usadas.		
F			FATIGA			
G			TOLERANCIA TOTAL %	Tiempo estándar del proceso: 5.42 min.		

3.3.3. Evaluación de los resultados del proceso actual de ultrasonido

Para realizar un mejor análisis de la confiabilidad de los resultados de este proceso, se ha realizado un estudio de calidad, utilizando el gráfico de control por variables, el cual se ajusta a nuestro tipo de resultados.

Los pasos que se realizaron para obtener el gráfico de control son los siguientes:

1. Se tomó como lote de estudio, las mediciones de espesor por ultrasonido realizadas durante una semana de trabajo, las cuales fueron un total de ciento cincuenta mediciones.
2. Al obtener los datos de las ciento cincuenta mediciones se organizaron diez grupos de quince mediciones de espesor cada uno.
3. En cada grupo se tomaron cinco muestras aleatoriamente. Para determinar el tamaño de la muestra se utiliza la tabla *K* y la tabla *V* (ver tablas XXII y XXIII respectivamente) de letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D (Norma ABC), con un nivel de inspección III (riguroso).
4. La medición de espesor está inspeccionada en milímetros.

A continuación mostramos la tabla de los resultados muestreados por grupo de muestreo (tabla III):

3.3.4. Tabla III. Datos muestreados de la medición de espesor por ultrasonido

MUESTREO	1	2	3	4	5	--- X	--- R
1.	2.18	2.21	2.14	2.10	2.17	2.16	0.11
2.	2.17	2.20	2.20	2.08	2.20	2.17	0.12
3.	2.18	2.20	2.14	2.07	2.19	2.16	0.13
4.	2.21	2.22	2.14	2.04	2.20	2.16	0.18
5.	2.21	2.20	2.17	2.05	2.18	2.16	0.15
6.	2.21	2.22	2.20	2.14	2.18	2.19	0.08
7.	2.20	2.21	2.18	2.04	2.18	2.16	0.17
8.	2.21	2.22	2.14	2.13	2.18	2.18	0.09
9.	2.20	2.21	2.14	2.07	2.18	2.16	0.14
10.	2.18	2.21	2.20	2.05	2.20	2.17	0.16
						21.666	1.33

Al tener los datos muestreados, se calculan la sumatoria de medias y la sumatoria de rangos, con éstos valores se procede a obtener los límites para cada gráfico de control.

1. Cálculo de límites para el gráfico normal

Donde para un n igual a cinco, el factor d_2 es igual a 2.326, según tabla B (tabla XXV), factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control.

$$\Sigma \bar{X} = 21.67 \quad \Sigma \bar{R} = 1.33$$

$$\bar{\bar{X}} = \Sigma \bar{X} / N = 21.67 / 10 = 2.17$$

$$\bar{\bar{R}} = \Sigma \bar{R} / N = 1.33 / 10 = 0.133$$

$$\sigma = \bar{\bar{R}} / d_2 = 1.33 / 2.326 = 0.0572$$

$$LSN = \bar{\bar{X}} + 3 \sigma = 2.17 + 3 (0.0572) = 2.34$$

$$LCN = \bar{\bar{X}} = 2.17$$

$$LIN = \bar{\bar{X}} - 3 \sigma = 2.17 - 3 (0.0572) = 2.00$$

2. Cálculo de límites para el gráfico de medias

Donde para un n igual a cinco, el factor A_2 es igual a 0.577, según B (anexo, tabla XXV), factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control.

$$\Sigma \bar{X} = 21.666$$

$$\Sigma \bar{R} = 1.333$$

$$\bar{\bar{X}} = \Sigma \bar{X} / N = 21.666 / 10 = 2.166$$

$$\bar{\bar{R}} = \Sigma \bar{R} / N = 1.333 / 10 = 0.133$$

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 2.166 + 0.577 (0.133) = 2.24$$

$$LCC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} = 2.1666$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 2.166 - 0.577 (0.133) = 2.09$$

3. Cálculo de límites para el gráfico de rangos

Donde para un n igual a cinco, los factores D_4 es igual a 2114 y D_3 es igual a 0, según B (tabla XXV), factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control.

$$LSC_{\bar{R}} = D_4 \bar{R} = 2.114 (0.133) = 0.28$$

$$LCC_{\bar{R}} = \bar{R} = 0.13$$

$$LIC_{\bar{R}} = D_3 \bar{R} = 0 (0.133) = 0$$

Figura 9. Gráfico de control X del proceso actual de medición ultrasónica

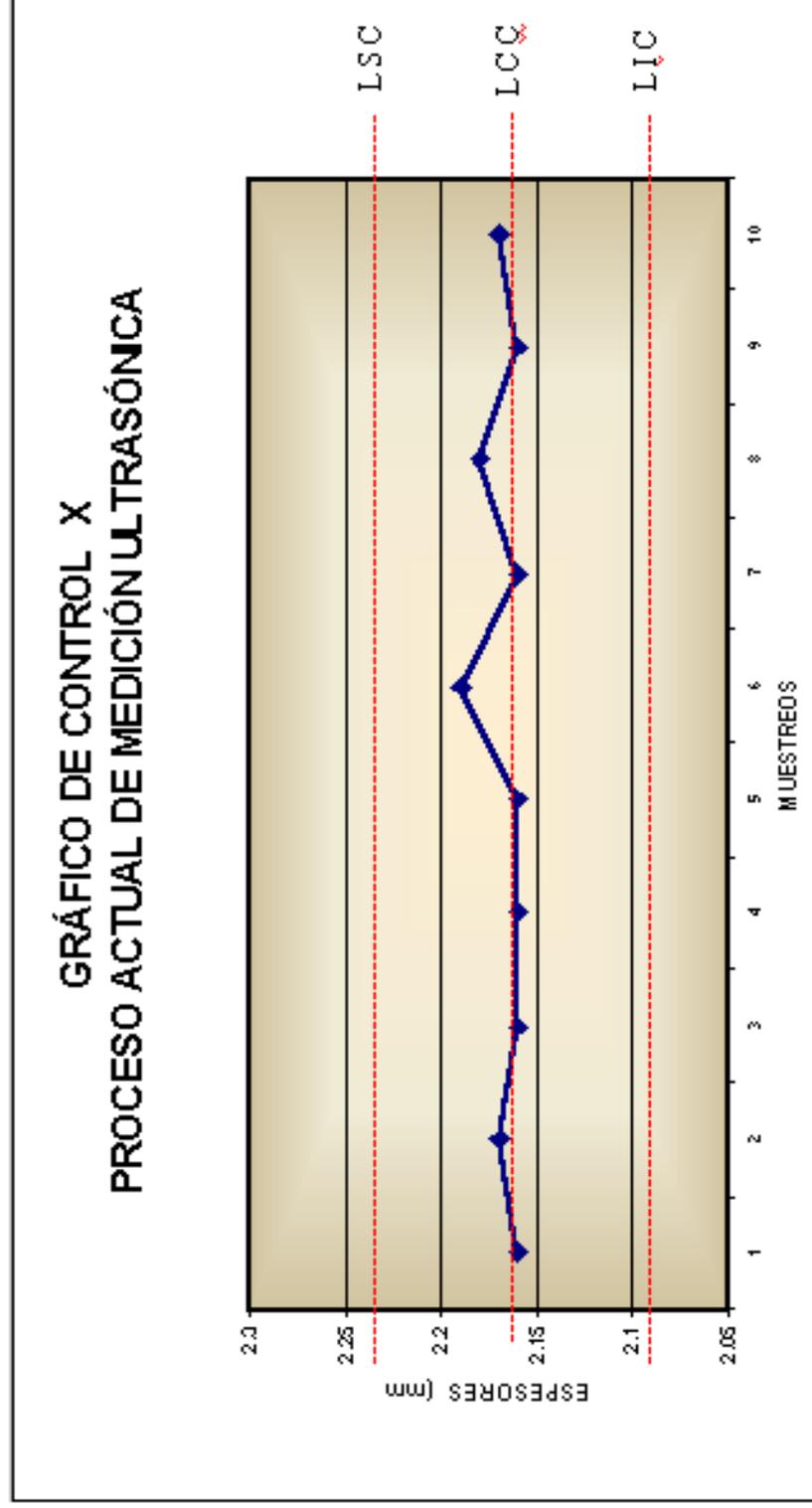


Figura 10. Gráfico de control R del proceso actual de medición ultrasónica

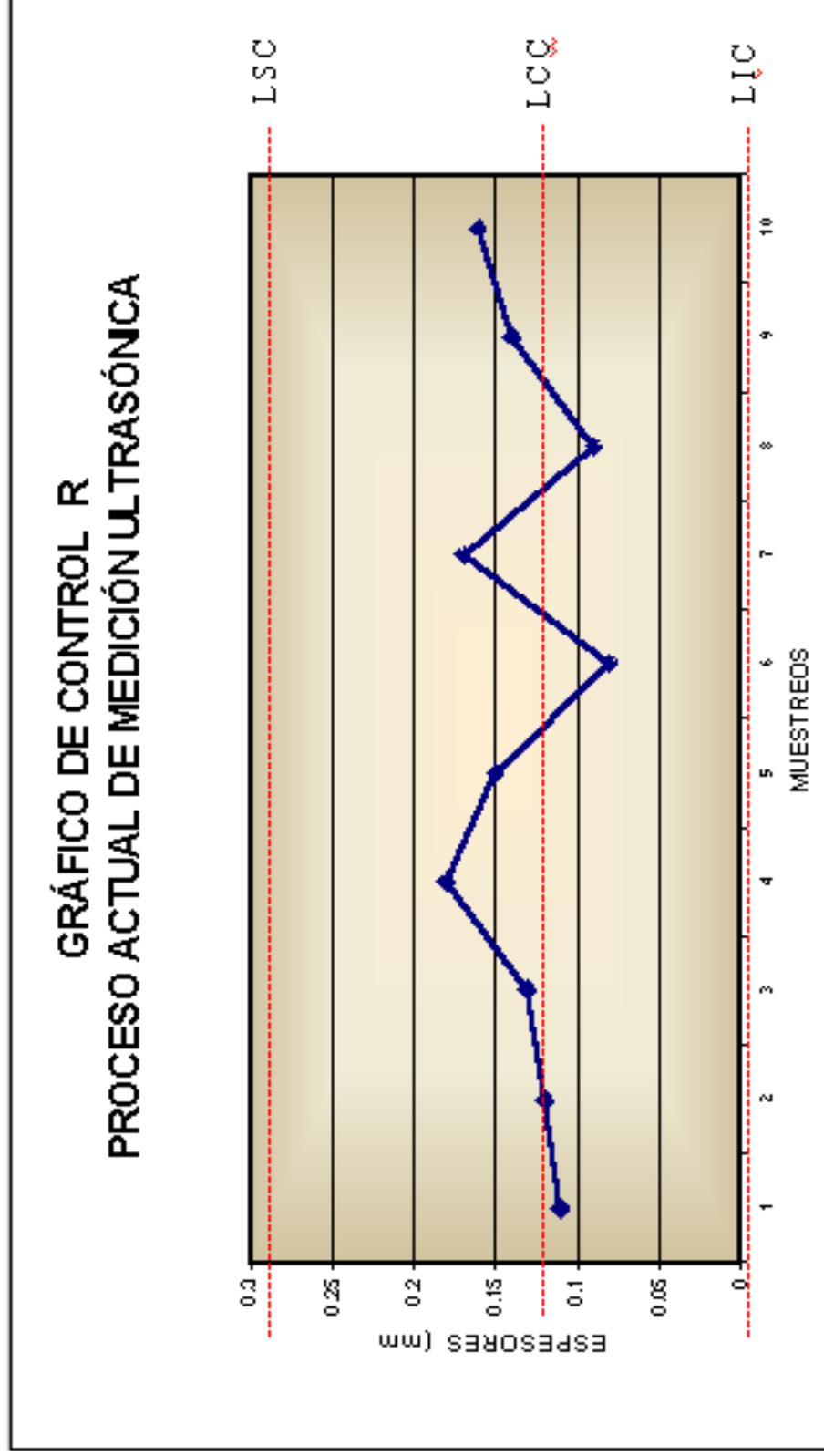
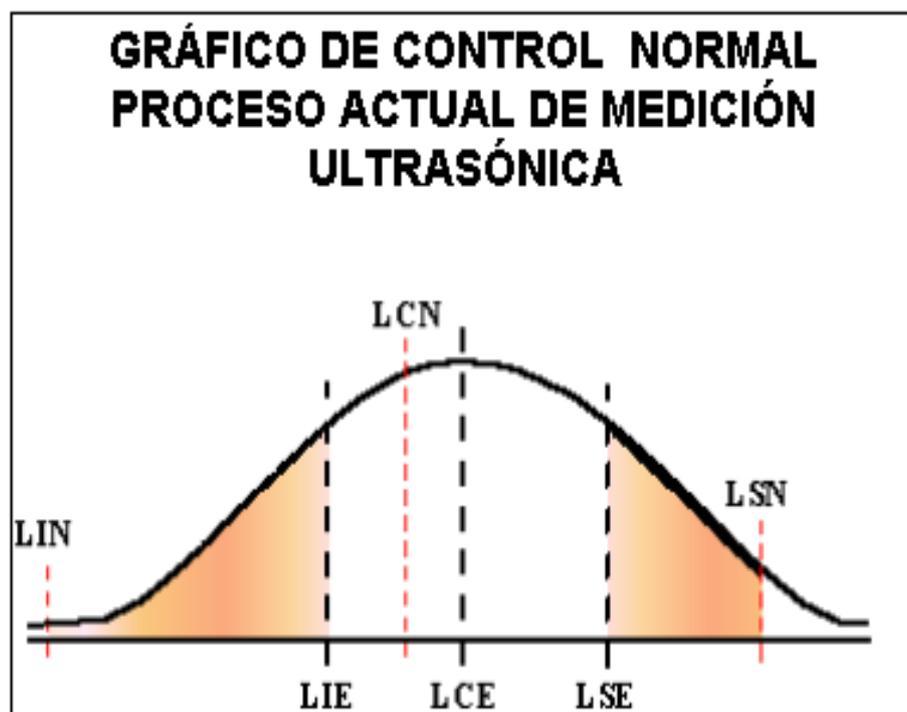


Figura 11. Gráfico de control normal del proceso actual de medición ultrasónica



4. Interpretación del gráfico normal

El fabricante reporta como espesor de la lámina de los cilindros, 2.20 mm.

El laboratorio ha establecido como un margen de variación +/- 7 centésimas de milímetro en la medición del espesor de la lámina de los cilindros, por lo cual se tienen:

$$LSE = 2.27$$

$$LCE = 2.20$$

$$LIE = 2.13$$

A través de nuestros cálculos hemos obtenido los siguientes datos para los límites normales:

$$LSN = 2.34$$

$$LCN = 2.17$$

$$LIN = 2.00$$

- a) En la figura 11 se observa que el límite inferior se encuentra fuera de control, ya que $LIN < LIE$ ($2.00 < 2.13$), de lo cual se puede interpretar que en las mediciones de espesor obtendremos resultados con una variación mayor a los 7 centésimos de milímetro, permitidos por el laboratorio, ya que existen datos por debajo de $LIE = 2.13$, esto es muy posible que suceda a causa del procedimiento inadecuado de remoción de pintura dentro del proceso de medición, pues esta operación se realiza utilizando una lija que muy bien remueve la pintura, pero a la vez merma espesor a la lámina; otras razones podrían ser en algunos casos la utilización de baterías con una baja carga, o la falta de calibración del equipo previo a realizar las mediciones de espesor, lo cual origina mediciones erróneas.

- b) De la misma manera, se puede interpretar la relación que existe entre $LSN > LSE$ ($2.34 > 2.27$), podemos notar que los resultados se encuentran fuera de control, ya que se tienen mediciones de espesor por arriba de 2.27 mm.
- c) Estos resultados que se encuentran por arriba del LSE son muy elevados para ser confiables, y es muy probable que éstos se originen debido a procedimientos inadecuados dentro del proceso de medición, como podría ser la falta de utilización de un aceite acoplante entre la superficie a medir y el palpador, operar el equipo con baterías sin carga suficiente para obtener lecturas con mayor certeza, o la falta de calibración previa del equipo.
- d) El LCN varía del LCE por 3 centésimas de milímetro, demostrando con ello que la media de nuestros datos se encuentra muy alejado de los 2.20 mm. que el fabricante reporta como la media de los espesores de los cilindros.
- e) Al calcular el coeficiente CP podemos determinar que el proceso actual de medición de espesores por ultrasonido se encuentra fuera de control, sus resultados no se encuentran dentro del margen de varianza aceptado por el laboratorio de ensayos no destructivos, por lo cual no son confiables.

A continuación se presenta la fórmula de CP que al calcular nuestros valores en ella nos demuestra como este coeficiente es menor a 1, indicándonos con ello que los resultados obtenidos no son aceptables.

$$CP < 1 \Rightarrow \text{RECHAZO}$$

$$CP = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma} = \frac{2.27 - 2.13}{6 (0.0572)} = 0.408$$

$$0.408 < 1$$

5. Interpretación del gráfico de medias

A través de los cálculos hemos obtenido los siguientes datos para los límites de control de medias:

$$LSC = 2.24$$

$$LCC = 2.17$$

$$LIC = 2.09$$

Se puede notar que el gráfico de medias (figura 9) es demasiado amplio ya que las medias de los resultados muestreados son muy variables lo cual nos indica que no son confiables debido a su bajo nivel de certeza.

6. Interpretación del gráfico de rangos

En este gráfico (figura 10) podemos notar como los resultados obtenidos se encuentran dispersos.

$$LSC = 0.29$$

$$LCC = 0.13$$

$$LIC = 0$$

- a) Al encontrar que el $LCC = 0.13$, los resultados varían en promedio 13 centésimas uno de otro lo cual es aceptable en comparación con el margen de varianza aceptado por el laboratorio, al ser éste de $2 \times 7 = 14$ centésimas de rango.

- b) En el caso del $LSC = 0.29$, se encuentra fuera del rango de aceptación por ser mayor a las 14 centésimas de milímetro, lo cual no es aceptable.

3.4. Análisis del proceso de inspección radiográfica

Para lograr una comprensión del proceso actual de inspección radiográfica se presenta un análisis, para lo cual se han realizado diagramas del proceso, un estudio de tiempos y una evaluación mediante gráficos de control que a su vez permitirán determinar el nivel de calidad de dicho proceso. En la siguiente gráfica se muestra la colocación del cilindro en el área de irradiación (ver figura 12).

Figura 12. Inspección radiográfica



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

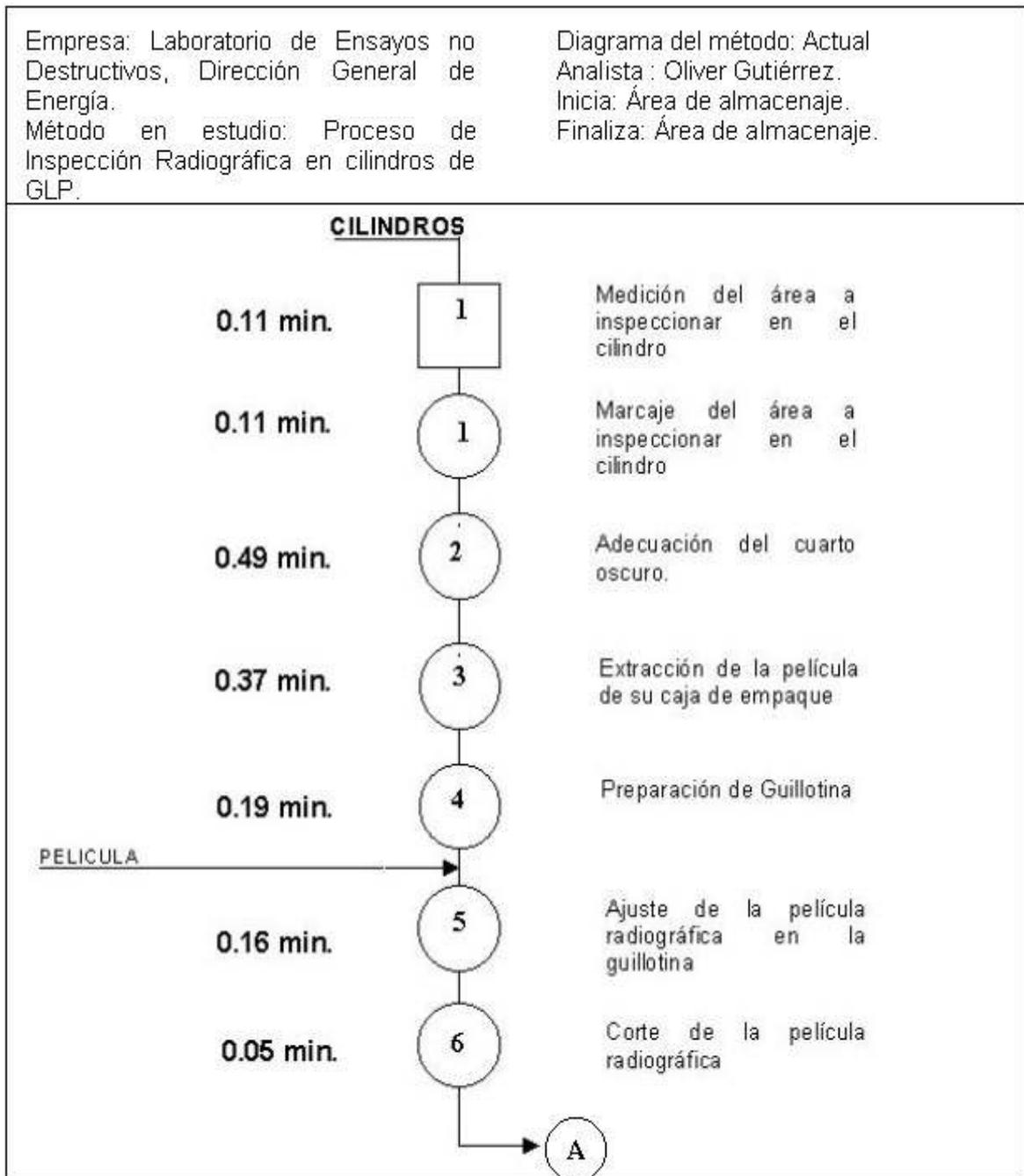
3.4.1. Diagramas del proceso

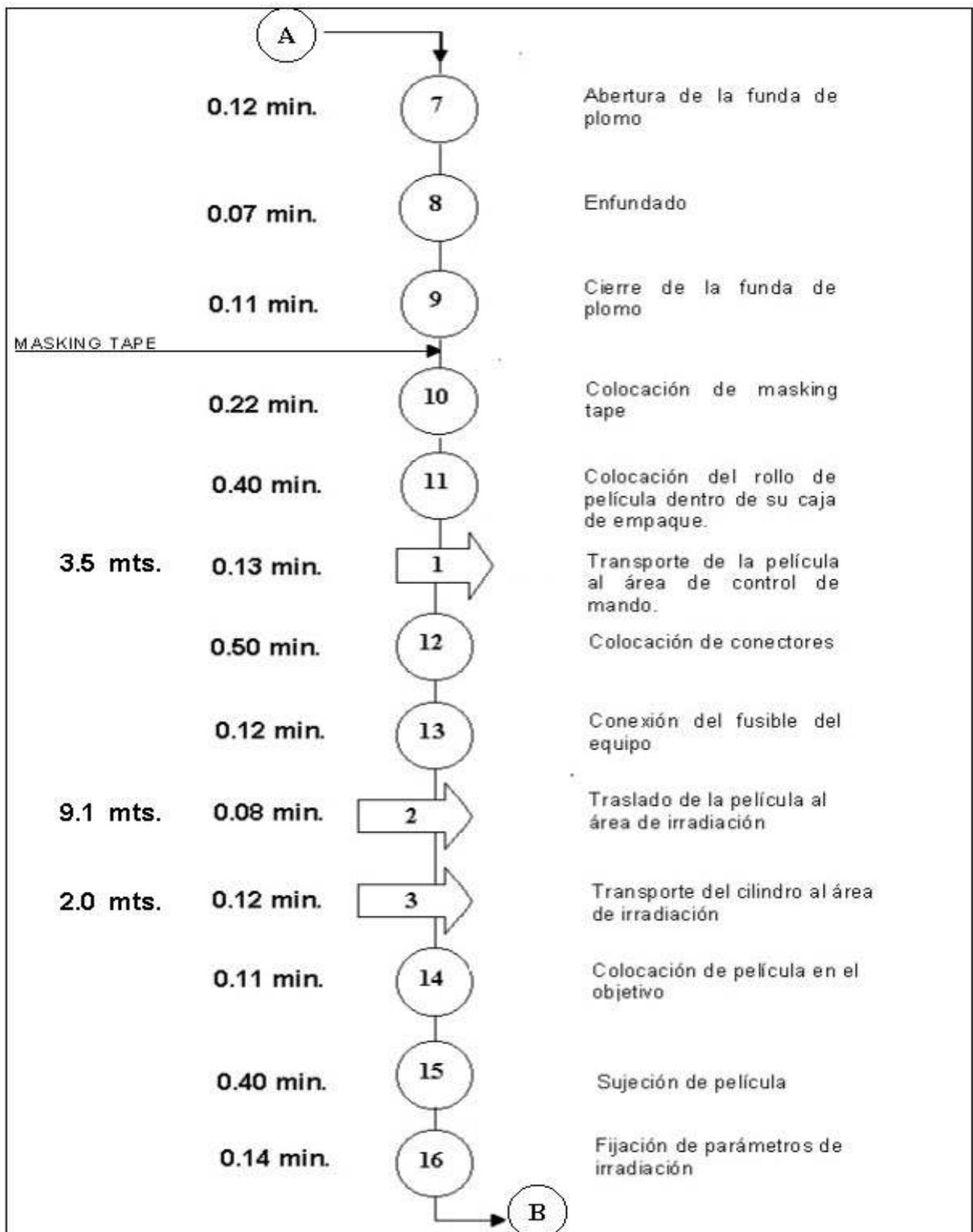
Para lograr un práctico análisis del proceso actual de inspección radiográfica, se utilizarán los diagramas de proceso, en los cuales se encuentran los procedimientos efectuados y sus respectivas líneas de flujo.

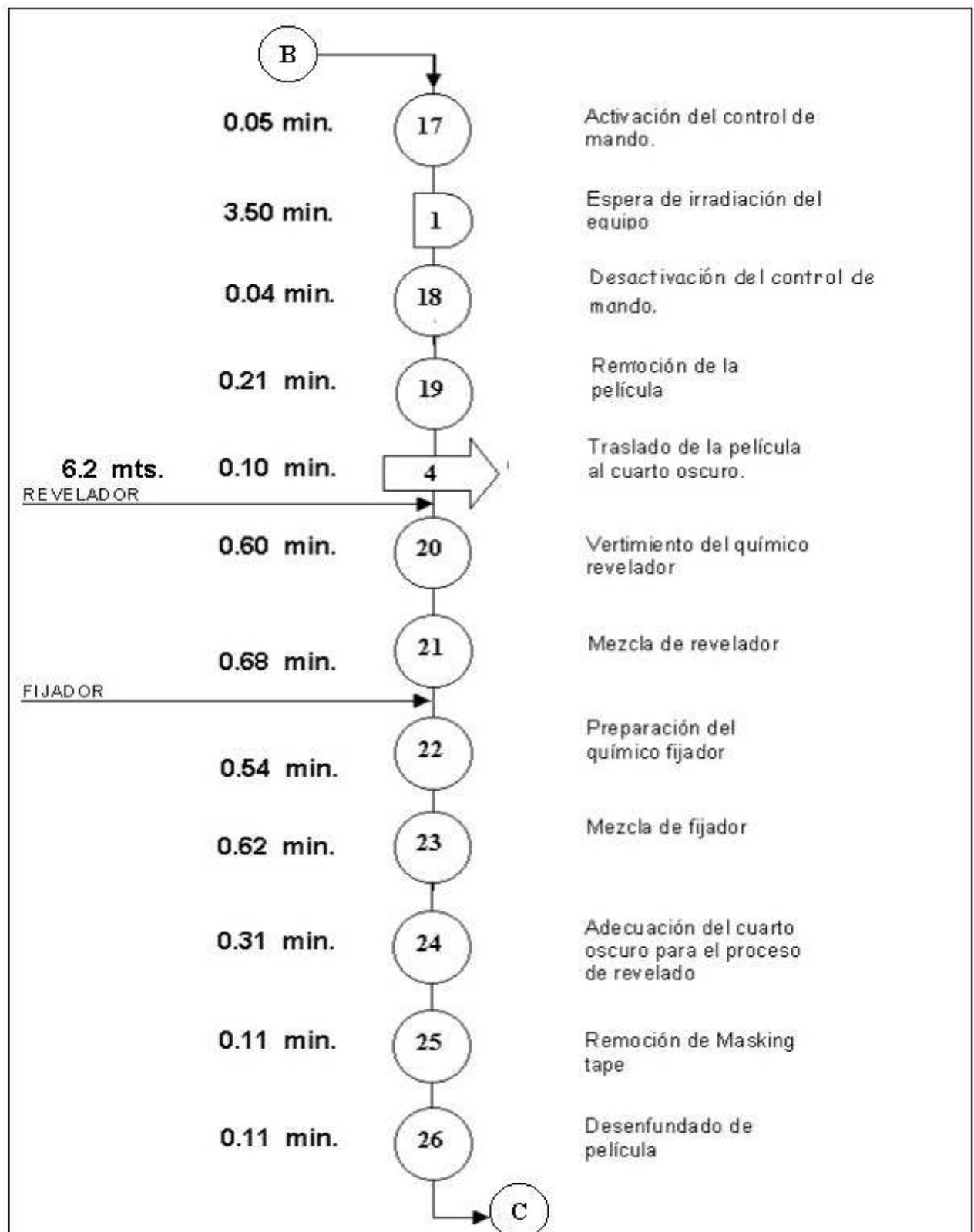
3.4.1.1. Diagrama de flujo

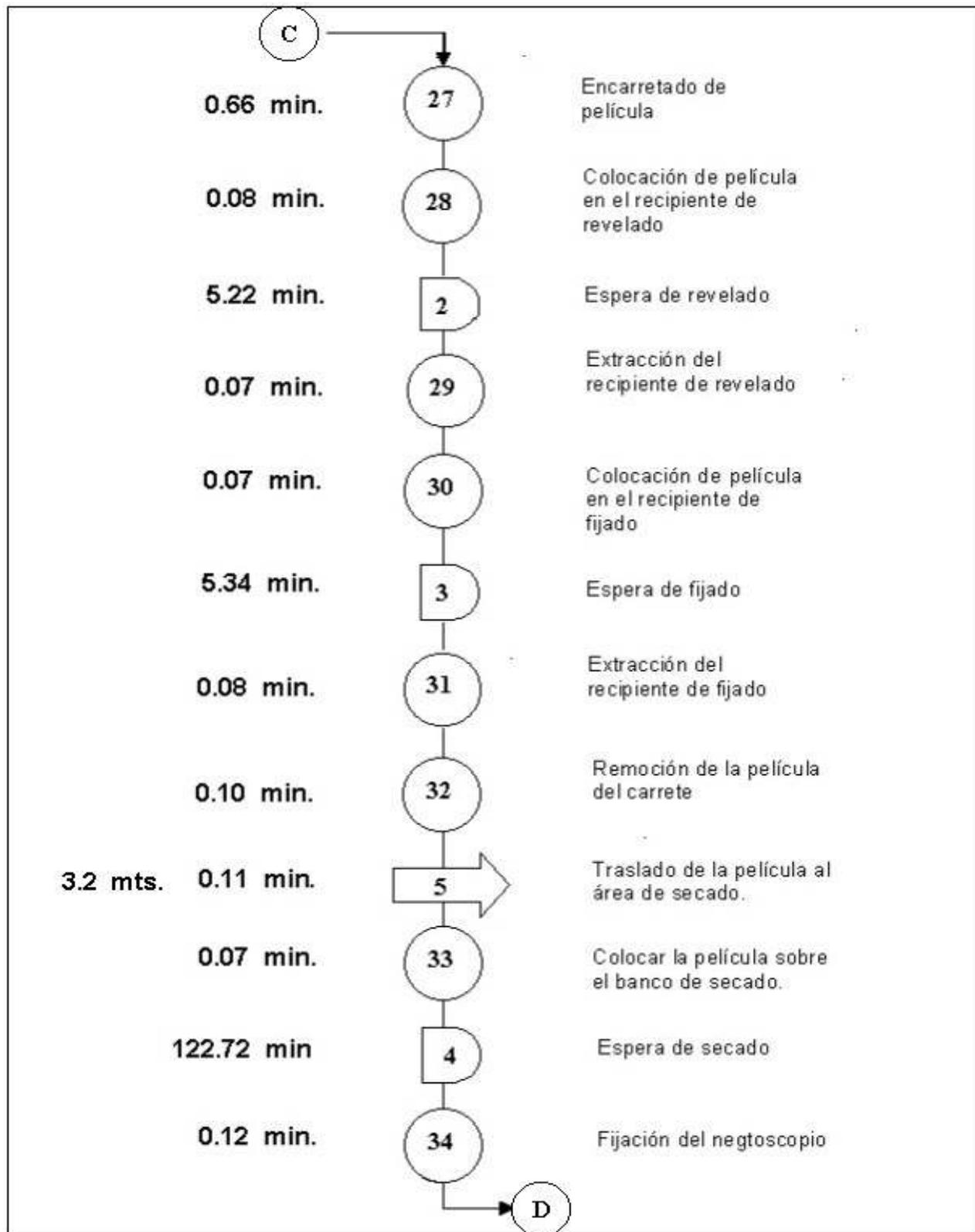
A continuación se muestra a través de un diagrama de flujo (figura 13), la secuencia de operaciones dentro del proceso actual de inspección radiográfica de los cordones de soldadura en los cilindros de GLP.

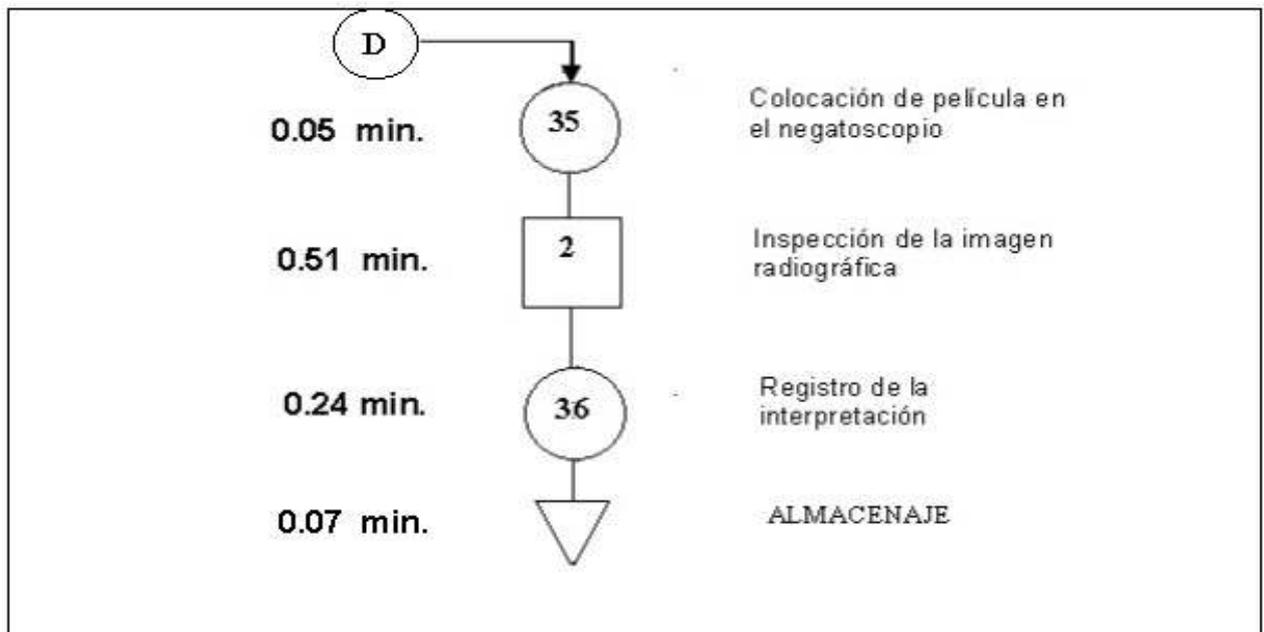
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso actual de inspección radiográfica









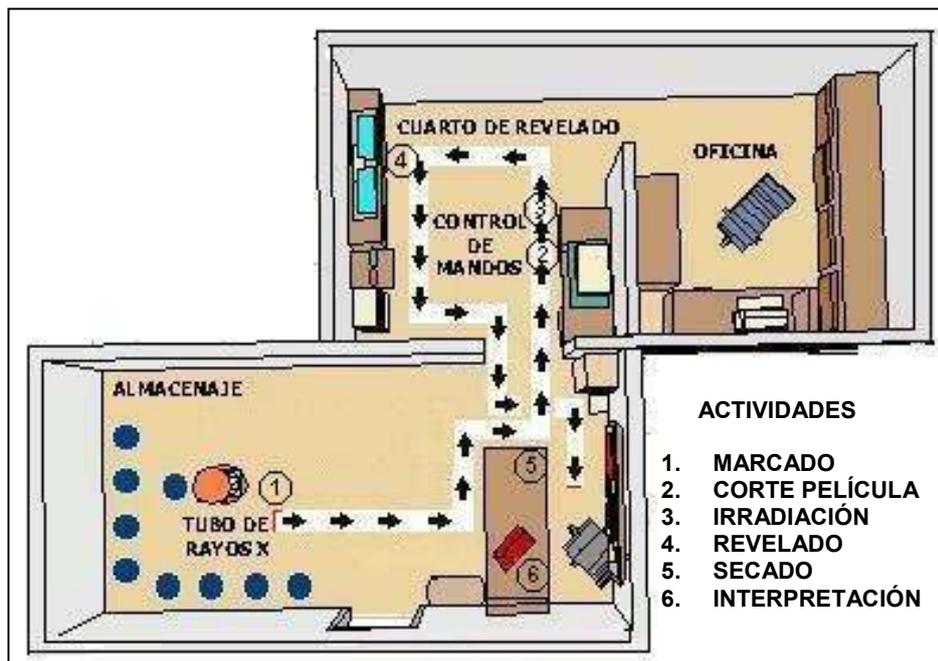


RESUMEN			
EVENTO	NÚMERO	TIEMPO (Min.)	DISTANCIA (Mts.)
OPERACIONES	36	8.35	
INSPECCIONES	2	0.62	
TRANSPORTE	5	0.54	24.00
DEMORAS	4	136.78	
ALMACNAJE	1	0.07	
TOTAL	47	146.36	24.00

3.4.1.2. Diagrama de recorrido

A continuación se muestra el diagrama de recorrido (ver figura 14) del proceso actual de inspección radiográfica de los cordones de soldadura en los cilindros de GLP, en el cual se muestra las líneas de flujo que indican el movimiento de la película radiográfica. En este diagrama se puede observar el riesgo de exposición a que están expuestos los trabajadores, ya que el control de mandos se encuentra en el ambiente contiguo al área de irradiación.

Figura 14. Diagrama de recorrido actual de inspección radiográfica



3.4.2. Medición de tiempos

A continuación se desglosan los pasos seguidos para realizar la medición de tiempos del proceso actual de inspección radiográfica:

1. Se tomó el tiempo de la duración total del proceso, sin regresar a cero entre cada elemento registrado.
2. Se anotó en una tabla el tiempo exacto que registraba el cronómetro al momento de concluir el elemento en estudio. Dicha tabla se elaboró con el objeto de facilitar el registro de los datos observados, la cual se encuentra en la Tabla IV.
3. Se realizó el estudio de tiempos para diez ciclos de realización del presente proceso.
4. Se realizó la sumatoria y el promedio por separado, para cada elemento, de cada proceso.
5. Se utilizó un factor de multiplicación o porcentaje (factor de desempeño), el cual se determinó y estableció utilizando el Método de *Calificación por Velocidad*, y el apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.
6. Con el objetivo de tomar en cuenta los suplementos especiales involucrados dentro del proceso, como lo son las demoras inevitables, retrasos personales y la fatiga, se buscó representar éstos mediante un factor de multiplicación, el cual consiste en la suma de los tres factores representativos de los suplementos mencionados anteriormente. Dichos

factores fueron establecidos con el acuerdo y apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.

Las anotaciones de los cálculos mencionados anteriormente se presentan en la Tabla IV.

FECHA 18-19/JUN HOJA No 1/4	PROCESO: RADIOGRAFIA ACTUAL	C I C L O										RESUMEN							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TPO. PROM. (T.P.)	CALIF. DESEM (C.D.)	T.P. X C.D.	% TOLER.	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)	
OPERACIONES																			
1	Medición área a inspeccionar en el cilindro	0.12	0.13	0.13	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10		10	0.11	0.89	0.10	1.12	0.11	
2	Marcaje del área a inspeccionar	0.13	0.12	0.10	0.12	0.10	0.08	0.08	0.10	0.10	0.12		10	0.11	0.89	0.09	1.12	0.11	
3	Adecuación del cuarto oscuro.	0.68	0.40	0.42	0.48	0.55	0.40	0.55	0.45	0.52	0.48		10	0.49	0.89	0.44	1.12	0.49	
4	Extracción de la película de su caja de empaque	0.47	0.42	0.32	0.37	0.33	0.40	0.35	0.37	0.33	0.37		10	0.37	0.89	0.33	1.12	0.37	
5	Preparación de Guillotina	0.25	0.23	0.17	0.15	0.13	0.17	0.18	0.20	0.23	0.18		10	0.19	0.89	0.17	1.12	0.19	
6	Ajuste de la película en la guillotina	0.17	0.13	0.15	0.18	0.20	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17		10	0.16	0.89	0.14	1.12	0.16	
7	Corte de la película radiográfica	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.07	0.05	0.05		10	0.05	0.89	0.04	1.12	0.05	
8	Abertura de la funda de plomo	0.13	0.15	0.13	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	0.12		10	0.12	0.89	0.11	1.12	0.12	
9	Enfundado	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07	0.07	0.05	0.07		10	0.07	0.89	0.06	1.12	0.07	
10	Cierre de la funda de plomo	0.15	0.12	0.13	0.10	0.08	0.10	0.08	0.08	0.10	0.12		10	0.11	0.89	0.10	1.12	0.11	
11	Colocación de masking tape	0.27	0.25	0.25	0.20	0.20	0.22	0.20	0.22	0.20	0.22		10	0.22	0.89	0.20	1.12	0.22	
12	Colocación del rollo de película dentro de su caja de empaque.	0.47	0.45	0.45	0.37	0.43	0.37	0.40	0.38	0.35	0.37		10	0.40	0.89	0.36	1.12	0.40	
13	Transporte de la película a al área de control de mando.	0.13	0.12	0.12	0.13	0.15	0.13	0.15	0.12	0.13	0.13		10	0.13	0.89	0.12	1.12	0.13	

FECHA 18-19/JUN HOJA No 2/4	PROCESO: RADIOGRAFIA ACTUAL	C I C L O										RESUMEN							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TPO. PROM. (T.P.)	CALIF. DESEMP (C.D.)	T.P. X C.D.	% TOLER.	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)	
OPERACIONES																			
14	Colocación de conectores	0.52	0.47	0.47	0.43	0.52	0.75	0.42	0.46	0.48	0.47		4.97	10	0.50	0.89	0.44	1.12	0.50
15	Conexión del fusible del equipo	0.15	0.13	0.13	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10		1.17	10	0.12	0.89	0.10	1.12	0.12
16	Traslado de la película al área de irradiación.,	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.10	0.10	0.08		0.83	10	0.08	0.89	0.07	1.12	0.08
17	Transporte del cilindro al área de irradiación	0.13	0.12	0.13	0.12	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	0.13		1.17	10	0.12	0.89	0.10	1.12	0.12
18	Colocación de película en el objetivo	0.15	0.10	0.08	0.10	0.12	0.10	0.08	0.10	0.12	0.10		1.05	10	0.11	0.89	0.09	1.12	0.11
19	Sujeción de película	0.50	0.47	0.35	0.42	0.37	0.40	0.40	0.38	0.37	0.38		4.03	10	0.40	0.89	0.36	1.12	0.40
20	Fijación de parámetros de irradiación	0.17	0.17	0.13	0.13	0.12	0.15	0.13	0.12	0.12	0.13		1.37	10	0.14	0.89	0.12	1.12	0.14
21	Activación del control de mando.	0.05	0.03	0.05	0.07	0.03	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05		0.48	10	0.05	0.89	0.04	1.12	0.05
22	Espera de irradiación del equipo	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50		35.00	10	3.50	1.00	3.50	1.00	3.50
23	Desactivación del control de mando.	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03		0.40	10	0.04	0.89	0.04	1.12	0.04
24	Remoción de la película	0.23	0.20	0.22	0.25	0.07	0.23	0.27	0.22	0.23	0.22		2.13	10	0.21	0.89	0.19	1.12	0.21

FECHA 18-19/JUN HOJA No 3/4	PROCESO: RADIOGRAFIA ACTUAL	C I C L O										RESUMEN								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TPO. PROM.	CALIF. DESEMPEÑO	T.P.X C.D.	% TOLER.	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)		
OPERACIONES																				
25	Traslado de la película al cuarto oscuro.	0.13	0.10	0.08	0.10	0.10	0.12	0.10	0.08	0.10	0.12			1.03	10	0.10	0.89	0.09	1.12	0.10
26	Vertimiento del químico revelador	0.68	0.63	0.53	0.58	0.63	0.62	0.60	0.60	0.58	0.57			6.03	10	0.60	0.89	0.54	1.12	0.60
27	Mezcla de revelador	0.73	0.70	0.68	0.65	0.62	0.73	0.68	0.70	0.62	0.65			6.77	10	0.68	0.89	0.60	1.12	0.68
28	Preparación del químico fijador	0.58	0.55	0.60	0.52	0.50	0.62	0.53	0.57	0.52	0.47			5.45	10	0.55	0.89	0.49	1.12	0.54
29	Mezcla de fijador	0.73	0.70	0.68	0.62	0.52	0.67	0.57	0.62	0.55	0.57			6.22	10	0.62	0.89	0.55	1.12	0.62
30	Adecuación del cuarto oscuro para el proceso de revelado	0.43	0.37	0.25	0.23	0.23	0.32	0.37	0.35	0.28	0.28			3.12	10	0.31	0.89	0.28	1.12	0.31
31	Remoción de Masking tape	0.13	0.13	0.10	0.12	0.08	0.12	0.10	0.10	0.10	0.08			1.07	10	0.11	0.89	0.10	1.12	0.11
32	Desenfundado de la película radiográfica	0.13	0.13	0.10	0.08	0.12	0.10	0.12	0.12	0.08	0.08			1.07	10	0.11	0.89	0.10	1.12	0.11
33	Encarretado de película	0.73	0.68	0.65	0.63	0.62	0.67	0.65	0.60	0.67	0.67			6.57	10	0.66	0.89	0.58	1.12	0.66
34	Colocación de película en el recipiente de revelado	0.10	0.10	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07			0.80	10	0.08	0.89	0.07	1.12	0.08
35	Espera de revelado	5.35	5.28	5.02	5.17	4.98	5.23	5.33	5.32	5.35	5.30			52.33	10	5.23	0.89	4.66	1.12	5.22
36	Extracción del recipiente de revelado	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.05	0.07	0.07	0.07			0.73	10	0.07	0.89	0.07	1.12	0.07
37	Colocación de película en el recipiente de fijado	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.05	0.05	0.07			0.70	10	0.07	0.89	0.06	1.12	0.07
38	Espera de fijado	5.28	5.30	5.35	5.37	5.23	5.48	5.45	5.42	5.37	5.35			53.60	10	5.36	0.89	4.77	1.12	5.34
39	Extracción del recipiente de fijado	0.10	0.10	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.10			0.82	10	0.08	0.89	0.07	1.12	0.08

FECHA 18-19/JUN HOJA No 4/4	PROCESO: RADIOGRAFIA ACTUAL	C I C L O										RESUMEN							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TPO. PROM.	CALIF. DESEMPEÑO	T.P.X C.D.	% TOLER.	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)	
40	Remoción de la película del carrito	0.13	0.13	0.10	0.12	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08			10	0.10	0.89	0.09	1.12	0.10
41	Traslado de la película al área de secado.	0.12	0.13	0.12	0.10	0.10	0.13	0.12	0.12	0.10	0.10			10	0.11	0.89	0.10	1.12	0.11
42	Colocar la película sobre el banco de secado.	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07			10	0.07	0.89	0.07	1.12	0.07
43	Espera de secado	118.3	118.5	118.5	117.2	117.2	118.4	118.3	117.6	117.7	117.1			10	118.0	1.00	118.0	1.04	122.72
44	Fijación del negatoscopio	0.15	0.13	0.10	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	0.10	0.12			10	0.12	0.89	0.11	1.12	0.12
45	Colocación de película en el negatoscopio	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.07	0.05	0.05	0.05	0.03			10	0.05	0.89	0.04	1.12	0.05
46	Interpretación radiográfica	0.58	0.53	0.47	0.48	0.46	0.62	0.53	0.52	0.50	0.46			10	0.51	0.89	0.46	1.12	0.51
47	Registro de la interpretación	0.30	0.25	0.20	0.20	0.22	0.30	0.23	0.23	0.23	0.22			10	0.24	0.89	0.21	1.12	0.24

S I M	OPER	CICLO	ELEMENTOS EXTRAÑOS	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO	INICIO ESTUDIO	FINAL ESTUDIO	TIEMPO TOTAL
A	3	1	SE DERRAMÓ AGUA SOBRE EL ESCRITORIO	C. D. = 89 %	18/JUN 9:19	13:14	7:49
B	24	5	SE DESPEGÓ LA PELÍCULA DEL CILINDRO		19/JUN 9:17	13:11	
C	14	6	SE ENTRECruzaron LOS CABLES	RESUMEN TOLERANCIAS	OBSERVACIONES:		
D				PERSONAL	4		
E				INEVITABLE	4		
F				FATIGA	4		
G				TOLERANCIA TOTAL %	12		
					TIEMPO ESTÁNDAR DEL PROCESO = 146.29 min.		

3.4.3. Evaluación de los resultados del proceso actual de radiografía

Para la evaluación de los resultados de este proceso, se ha escogido el gráfico tipo "C", el cual es el más adaptable y conveniente a utilizar, ya que los resultados, en este caso las radiografías, pueden contar con uno o más defectos cada una.

Los pasos que se realizaron para obtener el gráfico de control son los siguientes:

1. Se tomó como lote de estudio, las inspecciones por radiografía industrial realizadas durante una semana de trabajo, que fueron un total de doscientas inspecciones.
2. Al obtener los datos de las doscientas inspecciones, éstas se organizaron en cinco grupos de cuarenta inspecciones, cada uno.
3. En cada grupo se tomaron trece muestras aleatoriamente. Para determinar el tamaño de la muestra se utiliza la tabla *K* y la tabla *V* (ver anexo, tablas XXIII y XXIV respectivamente) de letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D (Norma ABC), con un nivel de inspección III (riguroso).
4. Se obtuvo las sesenta y cinco inspecciones tomadas aleatoriamente, (cinco grupos por trece muestras cada uno).

5. Se analizaron cada una de las muestras, y se determinó cuál de ellas contaban con uno o más defectos (ver tabla V).

A continuación se muestra la tabla de defectos encontrados por muestreo (tabla V):

Tabla V. Tabla de defectos encontrados en el proceso de inspección radiográfica actual

MUESTREO	NÚMERO DE DEFECTOS
1	1
2	2
3	8
4	2
5	2

Teniendo los datos muestreados, se calcula el valor de “C”, y se procede a obtener los límites para el gráfico de control.

1. Cálculo de los límites para el gráfico de control

Donde:

m = número de muestras \sum def. = sumatoria de defectos

$$\bar{C} = \Sigma \text{ def.} / m = 15 / 5 = 3$$

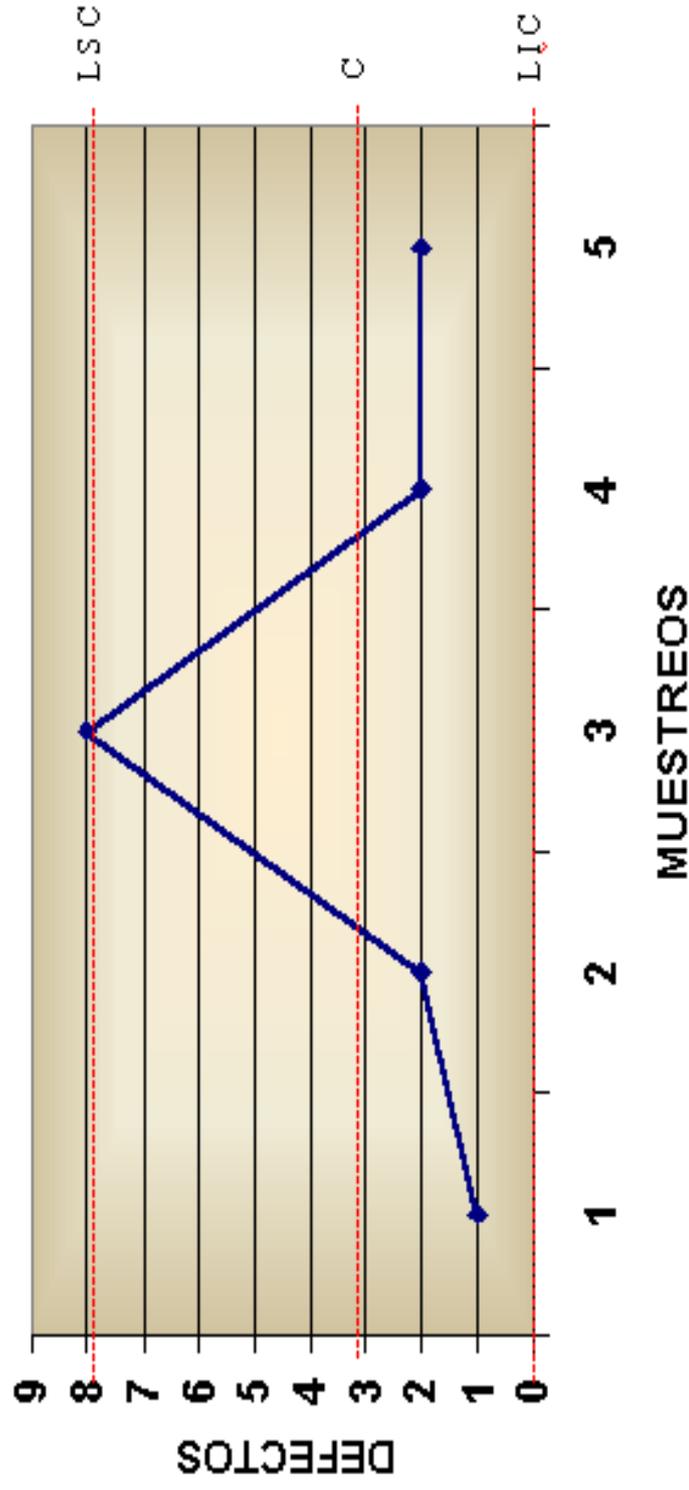
$$\text{LSC} = \bar{C} + 3 \sqrt{\bar{C}} = 3 + 3 (1.73) = 8.20 \simeq 8$$

$$\text{LCC} = \bar{C} = 3$$

$$\text{LIC} = \bar{C} - 3 \sqrt{\bar{C}} = 3 - 3 (1.73) = -2.20 \simeq 0$$

Figura 15. Gráfico de control C del proceso actual de inspección radiográfica

- Se realizaron 200 inspecciones
- 5 grupos de 40 inspecciones cada uno
- En cada grupo se tomaron 13 muestras aleatoriamente, según el nivel de inspección rigurosa de las tablas de control de calidad
- El estudio se realizó por medio del control de atributos según el gráfico **C**



2. Interpretación del gráfico de control

A través de los cálculos se ha obtenido los siguientes datos para los límites de control por defectos:

$$\text{LSC} = 8$$

$$\text{LCC} = 3$$

$$\text{LIC} = 0$$

- a) Los límites inferior y superior enmarcan un campo de defectos demasiado amplio.
- b) En el muestreo número 3 se encontraron 8 defectos, los cuales se encuentran dentro del área de control, según el gráfico.
- c) Según el valor encontrado para el LCC, se tiene como promedio 3 defectos por muestreo. En la figura 15 se puede notar que tenemos un dato en el muestreo número 3, en el que encontramos 8 defectos, lo cual nos indica que el proceso de inspección radiográfico en un período estuvo produciendo radiografías de muy mala calidad. En este caso se debió a que el químico para revelar se encontraba en proceso de descomposición y como resultado no se obtuvo imágenes aceptables en el muestreo.

4. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA

4.1. Implementación de técnicas complementarias

Luego de realizar la investigación, y al tomar en cuenta factores técnicos de inspección, como la facilidad de operación, factibilidad de identificación de discontinuidades típicas del área del cilindro a inspeccionar y la existencia en el mercado local de insumos a utilizar, se determinó que la técnica de partículas magnéticas y la técnica de líquidos penetrantes son las idóneas a utilizar en la inspección de ciertas áreas que componen el cilindro, las cuales se procederá a implementar en el análisis de cilindros de GLP.

4.1.1. Inspección por partículas magnéticas

A través del desarrollo de la técnica de partículas magnéticas es posible determinar defectos superficiales en soldadura y lámina de los cilindros, como también su ubicación y dimensión superficial; a continuación se describen los elementos a considerar para una eficiente implementación de esta técnica. En la figura 16, se muestra la colocación del yugo magnético sobre el área a inspeccionar en el cilindro.

Figura 16. Inspección por partículas magnéticas



4.1.1.1. Justificación del uso de la técnica

El Laboratorio de Ensayos no Destructivos cuenta sólo con dos técnicas de inspección, que son el Ultrasonido, la cual se utiliza para la medición de espesor de la lámina en los cilindros, y la técnica de inspección radiográfica para la verificación de la calidad de soldadura.

Con la finalidad de contar con una capacidad de inspección total de los cilindros de GLP, el laboratorio tiene como objetivo implementar el proceso de inspección por partículas magnéticas, el cual ofrece la posibilidad de verificar la calidad de la lámina en los cilindros, sin deteriorar las cualidades físicas y mecánicas del material. Al utilizar esta técnica es posible detectar discontinuidades superficiales, especialmente grietas.

4.1.1.2. Principio básico

Se basan esencialmente en la propiedad que resulta de crear un campo magnético a través de una pieza. Según el cambio de espesor en el material, así será la variación del campo magnético. En otras palabras, donde hay menos densidad de material, habrá mayor flujo magnético, o más densidad de campo en la pieza. Se aprovecha este fenómeno para detectar fallas superficiales no perceptibles a simple vista

4.1.1.3. Diseño del proceso

El proceso de partículas magnéticas, como se mencionó anteriormente, tiene el objetivo de detectar discontinuidades en la lámina de los cilindros, mediante la creación de un campo magnético y la interpretación de flujos y cambios de densidad.

La ejecución del presente proceso involucra distintas actividades, y su correcta ejecución es la que asegurará la calidad de los resultados de inspección a obtener, para lo cual se han creado las siguientes condiciones:

- a) Dentro del proceso de inspección por partículas magnéticas, se encuentra la actividad de limpieza del área a inspeccionar en el cilindro, para lo cual ha sido necesario fabricar un banco de trabajo (ver figura 17), e instalarlo en el lugar conveniente dentro del laboratorio.
- b) La interpretación de las fallas se realiza bajo luz fluorescente, para lo cual se ha instalado una lámpara de cuatro focos fluorescentes, exactamente sobre el área del banco de trabajo.

- c) Para la magnetización de las áreas a inspeccionar se utilizará un yugo magnético, el cual es algo pesado pero práctico al maniobrar.
- d) Para la correcta ejecución de la inspección, se hizo necesario realizar la instalación eléctrica, tanto para la conexión del yugo magnético, como el interruptor de la lámpara fluorescente.
- e) Los químicos a utilizar para la inspección tienen su ubicación sobre el banco de trabajo, para una pronta disponibilidad.

Figura 17. Banco de trabajo y lámpara fluorescente



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

Para poder desarrollar el proceso de inspección por partículas magnéticas de una manera práctica y eficiente, se debe de utilizar el equipo y los insumos adecuados, los cuales se mencionan a continuación:

- Yugo magnético marca *Magna flux*, con magnetización automática y 60 libras de fuerza
- Lámpara fluorescente
- Área y banco de inspección por partículas magnéticas
- Envase de solvente para la limpieza del área a inspeccionar
- Envase de partículas magnéticas para la inspección
- Indicador de campos magnéticos

4.1.1.4. Diagramas del proceso propuesto

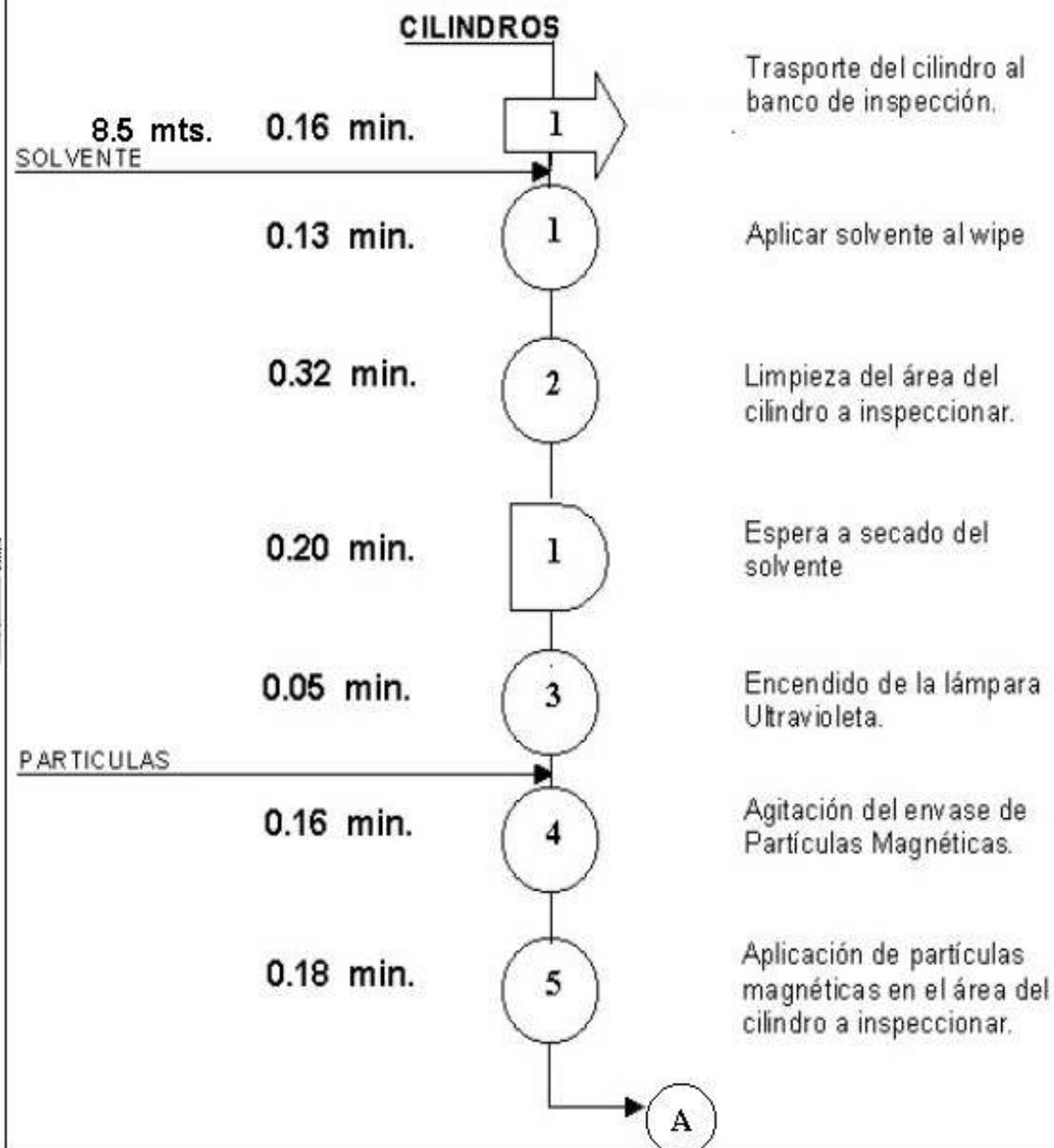
Uno de los propósitos de contar con un proceso estandarizado, es garantizar la calidad de los productos obtenidos, en este caso se desea asegurar que los resultados derivados de la inspección por partículas magnéticas sean confiables, en otras palabras que no se estén certificando como aceptados, cilindros de mala calidad, debido al desarrollo de un inadecuado proceso de inspección.

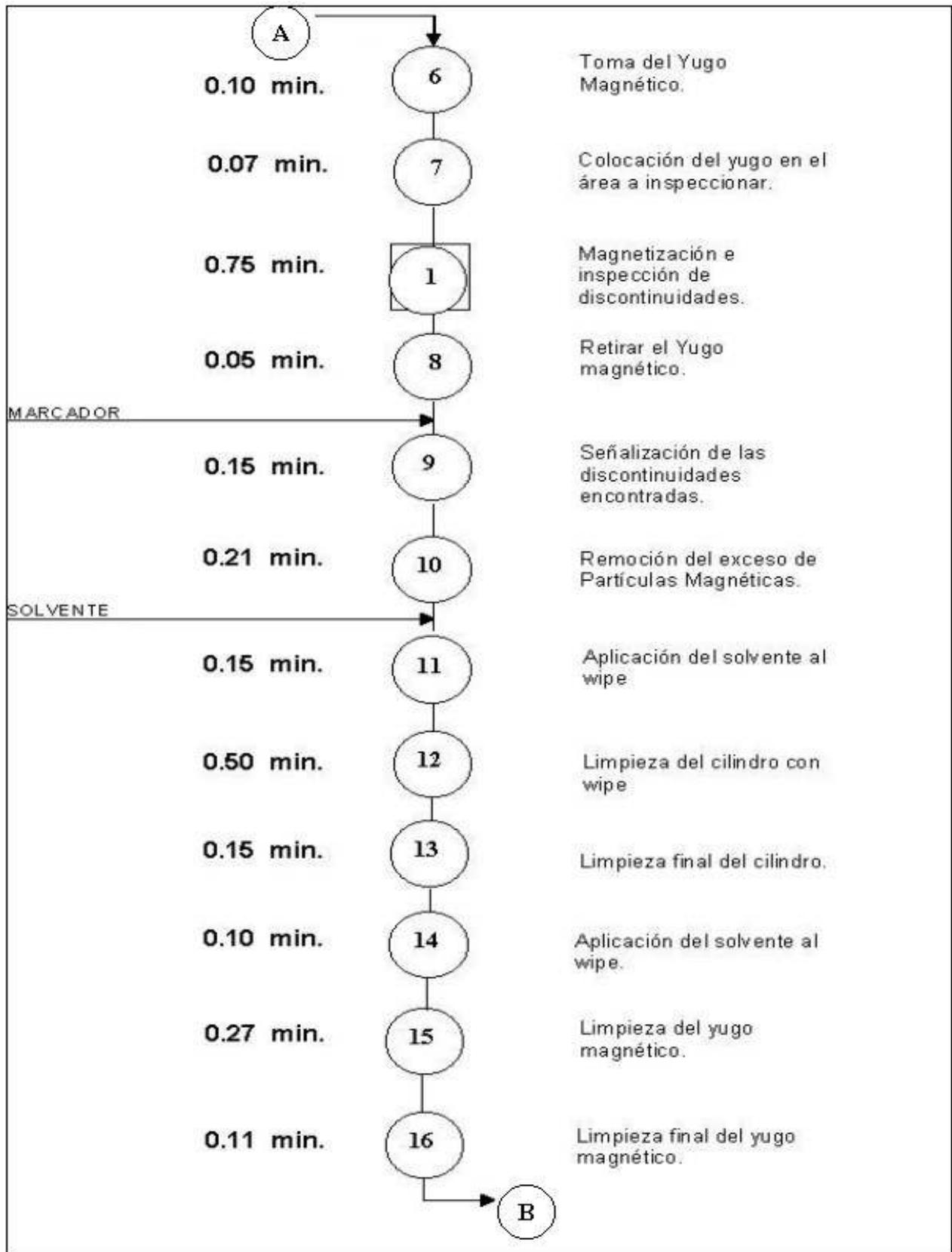
Para lograr este fin se debe contar con un ordenamiento lógico de los procedimientos que componen dicho proceso, lo cual se encuentra planteado en el diagrama de flujo (figura 18), dando a conocer el tiempo estándar utilizado para desarrollar cada uno de los elementos.

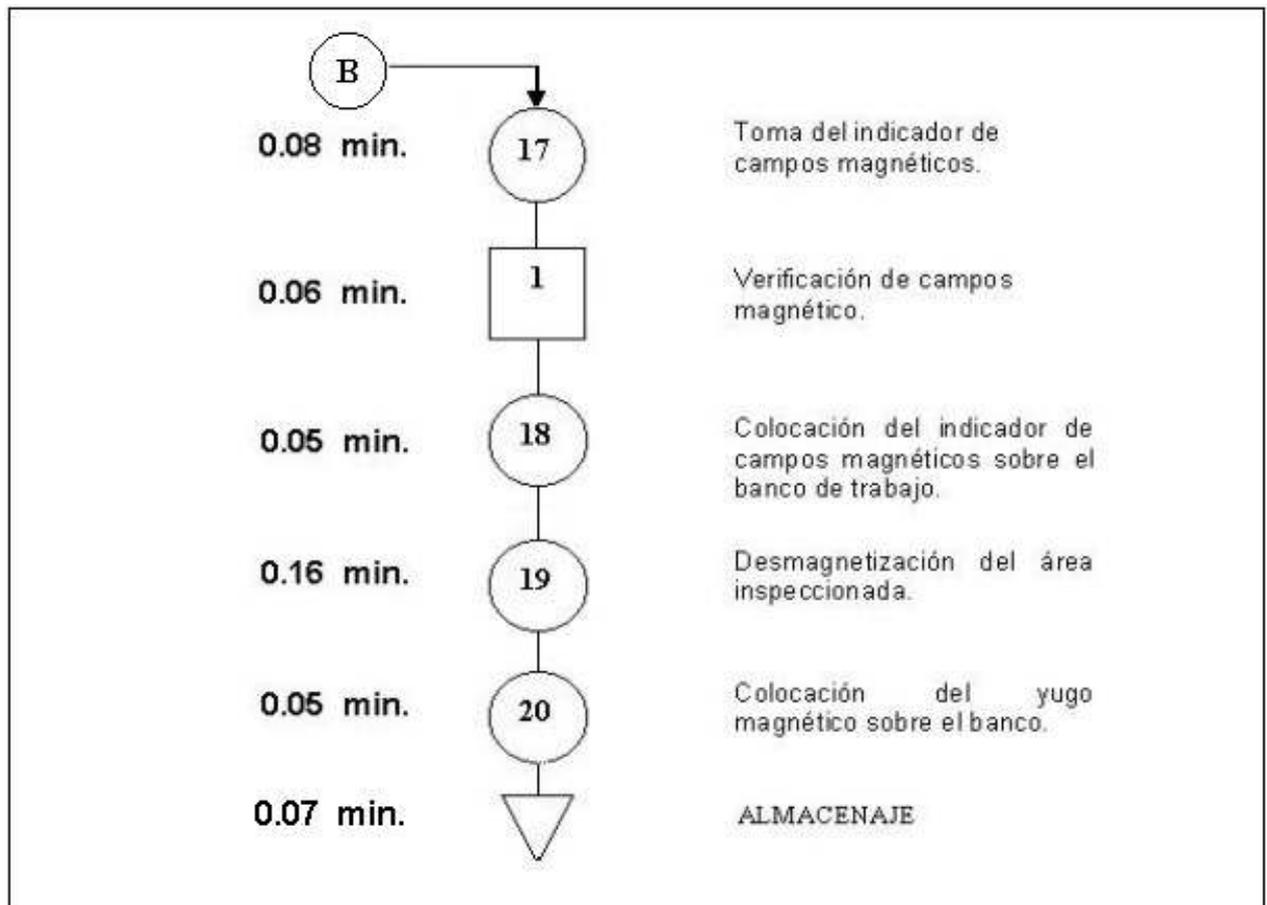
En el presente diagrama de flujo se contemplan como elementos: operaciones realizadas, inspecciones, combinada, traslados y retrasos que se encuentran involucrados dentro del proceso propuesto de partículas magnéticas.

Empresa: Laboratorio de Ensayos no Destructivos, Dirección General de Energía.
Método en estudio: Proceso de Inspección por Partículas Magnéticas en cilindros de GLP.

Diagrama del método: Propuesto
Analista: Oliver Gutiérrez.
Inicia: Área de almacenaje.
Finaliza: Área de almacenaje.



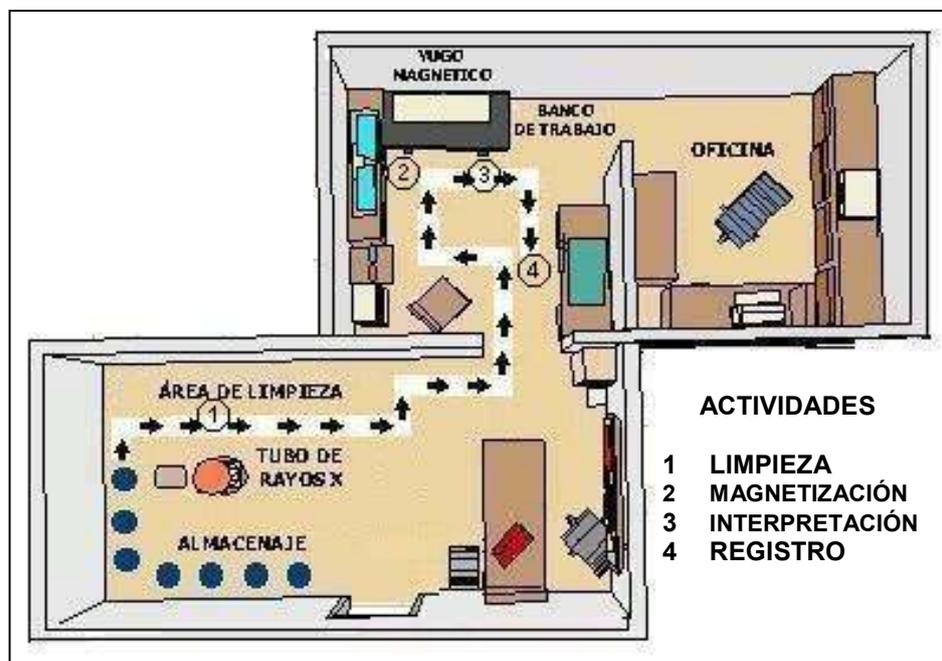




RESUMEN			
EVENTO	NÚMERO	TIEMPO (Min.)	DISTANCIA (Mts.)
OPERACIONES	20	3.04	
INSPECCIONES	1	0.06	
COMBINADAS	1	0.75	
TRANSPORTE	1	0.16	8.5
DEMORAS	1	0.20	
ALMACNAJE	1	0.07	
TOTAL	24	4.28	8.5

En el diagrama de recorrido del proceso (figura 19) se puede observar la distribución de las áreas de trabajo dentro del laboratorio, como también las líneas de flujo que indican el movimiento de los cilindros a inspeccionar. Es de suma importancia realizar la instalación del banco de trabajo dentro del laboratorio, la lámpara de tubos fluorescentes y el yugo magnético.

Figura 19. Diagrama de recorrido del proceso propuesto de partículas magnéticas



4.1.1.5. Medición de tiempos

A continuación se desglosan los pasos seguidos para realizar la medición de tiempos del proceso actual de inspección radiográfica:

1. Se tomó el tiempo de la duración total del proceso, sin regresar a cero entre cada elemento registrado.

2. Se anotó en una tabla el tiempo exacto que registraba el cronómetro al momento de concluir el elemento en estudio. Dicha tabla se elaboró con el objeto de facilitar el registro de los datos observados, la cual se encuentra en la Tabla VI.
3. Se realizó el estudio de tiempos para veinte ciclos de realización del presente proceso.
4. Se realizó la sumatoria y el promedio, por separado, para cada elemento, de cada proceso.
5. Se utilizó un factor de multiplicación o porcentaje (factor de desempeño), el cual se determinó y estableció utilizando el Método de *Calificación por Velocidad*, y el apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.
6. Con el objeto de tomar en cuenta los suplementos especiales involucrados dentro del proceso, como lo son las demoras inevitables, retrasos personales y la fatiga, se buscó representarlos mediante un factor de multiplicación, el cual consiste en la suma de los tres factores representativos de los suplementos mencionados anteriormente. Dichos factores fueron establecidos con el acuerdo y apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.

Las anotaciones de los cálculos mencionados anteriormente se presentan en la Tabla VI.

FECHA 17/JUL PROCESO: HOJA No 1 / 2 PARTICULAS MAGNETICAS		C I C L O											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
OPERACIONES													
1	Transporte cilindro	0.20	0.20	0.17	0.18	0.13	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	0.20	0.17
2	Aplicar solvente al wipe	0.13	0.12	0.15	0.15	0.13	0.13	0.15	0.13	0.15	0.13	0.12	0.12
3	Limpieza del área del cilindro	0.35	0.30	0.33	0.37	0.32	0.30	0.32	0.30	0.32	0.30	0.37	0.38
4	Espera a secado del solvente	0.23	0.23	0.20	0.18	0.17	0.20	0.22	0.23	0.22	0.23	0.23	0.22
5	Encendido de la lámpara	0.07	0.07	0.05	0.07	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05
6	Toma y agitación del spray	0.15	0.20	0.20	0.18	0.20	0.17	0.20	0.18	0.20	0.18	0.13	0.15
7	Aplicación de partículas magnét.	0.20	0.22	0.17	0.18	0.18	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	0.20	0.18
8	Toma del Yugo Magnético	0.12	0.13	0.10	0.10	0.08	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.08	0.08
9	Colocación del yugo	0.08	0.07	0.08	0.10	0.08	0.05	0.05	0.07	0.05	0.07	0.07	0.05
10	Magnetización e interpretación	0.87	0.80	0.87	0.83	0.75	0.78	0.80	0.78	0.80	0.78	0.73	0.75
11	Retirar el Yugo magnético.	0.07	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05
12	Señalización discontinuidades	0.18	0.17	0.17	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.18
13	Remoción del exceso	0.23	0.25	0.22	0.20	0.18	0.20	0.23	0.25	0.23	0.25	0.18	0.22
14	Aplicación del solvente al wipe	0.18	0.17	0.18	0.15	0.15	0.13	0.12	0.15	0.12	0.15	0.17	0.13
15	Limpieza del cilindro con wipe	0.58	0.60	0.55	0.50	0.52	0.53	0.50	0.50	0.50	0.50	0.55	0.50
16	Limpieza final del cilindro.	0.17	0.15	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17	0.15	0.17	0.18	0.18
17	Aplicación del solvente al wipe	0.12	0.13	0.10	0.08	0.08	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10	0.10
18	Limpieza del Yugo magnético	0.32	0.30	0.32	0.33	0.25	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.30	0.25
19	Limpieza final del Yugo	0.13	0.12	0.12	0.12	0.08	0.13	0.10	0.15	0.10	0.15	0.08	0.15
20	Toma indicador campos.	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.10	0.08
21	Verificación de campos magnéticos.	0.07	0.07	0.05	0.07	0.07	0.08	0.05	0.08	0.05	0.08	0.07	0.07
22	Indicador campos sobre banco.	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05
23	Desmagnetización del área	0.20	0.20	0.18	0.15	0.13	0.15	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.20
24	Yugo magnético sobre el banco.	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.07	0.07	0.05	0.07	0.05	0.05	0.03

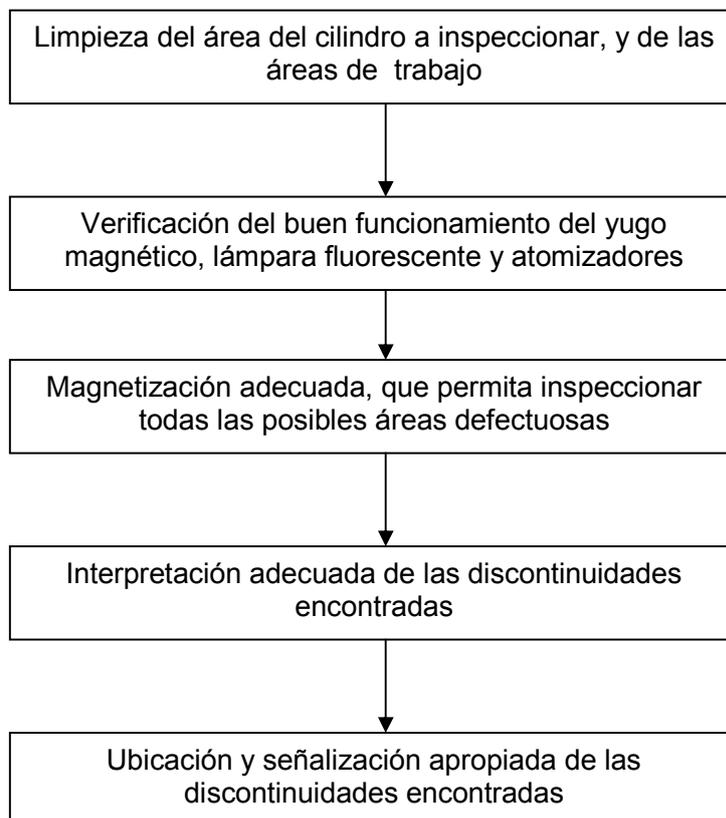
FECHA 13/JUL HOJA No 2/2		PROCESO: PARTICULAS MAGNETICAS		C I C L O												RESUMEN							
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	OB SER.	TPO. PROM. (T.P.)	CALIF. DESEMOP (C.D.)	T.P. X C.D.	% TOLER.	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)			
OPERACIONES																							
1	Transporte cilindro	0.18	0.15	0.17	0.17	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.20	3.35	20	0.17	0.87	0.15	1.10	0.16
2	Aplicar solvente al wipe	0.13	0.13	0.15	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	2.62	20	0.13	0.87	0.11	1.10	0.13
3	Limpieza del área del cilindro	0.33	0.35	0.37	0.33	0.32	0.30	0.33	0.33	0.35	0.35	0.37	0.35	0.37	0.33	0.33	6.72	20	0.33	0.87	0.29	1.10	0.32
4	Espera a secado del solvente	0.20	0.23	0.18	0.17	0.20	0.22	0.20	0.20	0.18	0.22	0.20	0.18	0.22	0.20	0.20	4.12	20	0.20	0.87	0.18	1.10	0.20
5	Encendido de la lámpara	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.98	20	0.05	0.87	0.04	1.10	0.05
6	Toma y agitación del spray	0.17	0.17	0.13	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.15	0.17	0.15	0.17	0.17	0.17	3.38	20	0.17	0.87	0.15	1.10	0.16
7	Aplicación de partículas magnet.	0.20	0.20	0.18	0.15	0.17	0.17	0.18	0.20	0.18	0.20	0.18	0.20	0.18	0.17	0.17	3.63	20	0.18	0.87	0.16	1.10	0.18
8	Toma del Yugo Magnético	0.10	0.08	0.10	0.10	0.12	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.12	0.12	2.08	20	0.10	0.87	0.09	1.10	0.10
9	Colocación del yugo	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	1.42	20	0.07	0.87	0.06	1.10	0.07
10	Magnetización e interpretación	0.75	0.78	0.78	0.75	0.73	0.80	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.73	0.73	15.63	20	0.78	0.87	0.68	1.10	0.75
11	Retirar el Yugo magnético.	0.03	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	1.05	20	0.05	0.87	0.05	1.10	0.05
12	Señalización discontinuidades	0.20	0.13	0.13	0.15	0.15	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.13	0.13	3.07	20	0.15	0.87	0.13	1.10	0.15
13	Remoción del exceso	0.20	0.23	0.23	0.22	0.22	0.20	0.18	0.22	0.20	0.22	0.20	0.22	0.20	0.23	0.23	4.30	20	0.22	0.87	0.19	1.10	0.21
14	Aplicación del solvente al wipe	0.15	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.17	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.13	0.13	3.03	20	0.15	0.87	0.13	1.10	0.15
15	Limpieza del cilindro con wipe	0.52	0.53	0.52	0.50	0.48	0.52	0.50	0.55	0.52	0.50	0.55	0.52	0.50	0.50	0.50	10.47	20	0.52	0.87	0.46	1.10	0.50
16	Limpieza final del cilindro.	0.13	0.13	0.15	0.15	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	3.03	20	0.15	0.87	0.13	1.10	0.15
17	Aplicación del solvente al wipe	0.08	0.10	0.13	0.10	0.08	0.13	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10	0.10	2.10	20	0.10	0.87	0.09	1.10	0.10
18	Limpieza del Yugo magnético	0.25	0.27	0.28	0.30	0.28	0.28	0.28	0.25	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	5.65	20	0.28	0.87	0.25	1.10	0.27
19	Limpieza final del Yugo	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	0.12	0.13	0.10	0.13	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	2.37	20	0.12	0.87	0.10	1.10	0.11
20	Toma indicador campos.	0.08	0.10	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.10	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08	1.68	20	0.08	0.87	0.07	1.10	0.08
21	Verificación de campos magnétis.	0.07	0.05	0.07	0.05	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	1.32	20	0.07	0.87	0.06	1.10	0.06
22	Indicador campos sobre banco.	0.03	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	1.10	20	0.05	0.87	0.05	1.10	0.05
23	Desmagnetización del área	0.20	0.15	0.13	0.17	0.17	0.18	0.20	0.18	0.20	0.18	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	3.40	20	0.17	0.87	0.15	1.10	0.16
24	Yugo magnético sobre el banco.	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.05	0.03	0.05	0.03	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	1.10	20	0.05	0.87	0.05	1.10	0.05

S I M	OPER	CICLO	ELEMENTOS EXTRAÑOS	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO	INICIO ESTUDIO	FINAL ESTUDIO	TIEMPO TOTAL
A	18	2	SE CAYO EL YUGO SOBRE EL BANCO	C. D. = 87 %	10:05	12:33	2:28
B	10	3	SE DESENCHUFO EL CABLE				
C				RESUMEN TOLERANCIAS	OBSERVACIONES:		
D				RETARDO PERSONAL	2	NO SE UTILIZO MARCADOR INDELEBLE, LAS MARCAS SE BORRARON.	
E				RETRASO INEVITABLE	4	EL INDICADOR DE CAMPOS NO TENIA BATERIAS NUEVAS	
F				FATIGA	4		
G				TOLERANCIA TOTAL %	10 %	Tiempo estándar del proceso: 4:21 min.	

4.1.1.6. Puesta en práctica

Para realizar el proceso de inspección por partículas magnéticas en la lámina de los cilindros muestreados deben considerarse los factores mostrados en el siguiente flujo grama, (ver figura 20).

Figura 20. Flujo grama del proceso de partículas magnéticas



4.1.1.7. Recopilación y cómputo de datos

Con el objeto de contar con capacidad de evaluar la calidad en la detección de discontinuidades por partículas magnéticas, es necesario poseer una base de datos, para la recopilación de éstos se cuenta con una tabla en la cual se anotará información sobre el número de inspección muestreada, y los defectos encontrados.

A continuación se muestra la tabla VII de evaluación de la calidad de detección de discontinuidades por partículas magnéticas, según los defectos encontrados dentro del proceso de inspección.

Tabla VII. Evaluación de defectos del proceso de partículas magnéticas

EVALUACIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE INSPECCIÓN POR PARTICULAS MAGNÉTICAS							
CLIENTE: GASEOSO S.A.			EQUIPO: YUGO MAGNÉTICO MAGNAFLUX				
CAPACIDAD: 25 Lbs.			NORMA: CONTROL DE CALIDAD INTERNO				
No.	INSPECCIÓN NÚMERO	DEFECTOS					A/R
		LI	AP	MI	II	SI	
41	622	X					A
42	623		X	X	X	X	R
43	624						A
44	625						A
45	626						R
46	626						A
47	627		X				A
48	628						A
49	629						A
50	630						A

LI = LIMPIEZA INADECUADA	SI = SENALIZACIÓN INADECUADA
AP = APLICACIÓN DE PARTICULAS	A = APROBADO
MI = MAGNETIZACIÓN INADECUADA	R = RECHAZADO
II = INTERPRETACIÓN INADECUADA	

El cómputo de los resultados obtenidos se realiza luego de haber determinado la deficiencia a la que éstos pertenecen, para luego proceder al cálculo de: el valor promedio de la cantidad de defectos de inspección encontrados en las inspecciones muestreadas, los límites necesarios para el desglose de los gráficos de control, y los resultados que se encuentren fuera de control.

4.1.1.8. Selección de gráficos de control

Para el control de calidad de este proceso, se ha escogido el gráfico tipo “C”, que es el más adaptable y conveniente a utilizar, ya que los resultados, pueden contar con uno o mas defectos cada una.

Los pasos que se realizaron para obtener el gráfico de control son los siguientes:

1. Se tomó como lote de estudio, las inspecciones por partículas magnéticas realizadas durante una semana de trabajo, que fueron un total de trescientas inspecciones.
2. Al obtener los datos de las trescientas inspecciones, éstas se organizaron en seis grupos de cincuenta inspecciones, cada uno.
3. En cada grupo se tomaron trece muestras aleatoriamente. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la tabla *K* y la tabla *V* (ver tablas XXIII y XXIV respectivamente) de letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D (Norma ABC), con un nivel de inspección III (riguroso).

4. Se obtuvo las setenta y ocho inspecciones tomadas aleatoriamente, (seis grupos por trece muestras cada uno).
5. Se analizaron cada una de las muestras, y se determinó cuál de ellas contaban con uno o más defectos.

Tabla VIII. Defectos encontrados en el proceso de partículas magnéticas

MUESTREO	NÚMERO DE DEFECTOS
1	5
2	3
3	5
4	2
5	1
6	1

Al tener los datos muestreados, se calcula el valor de "C", y se procede a obtener los límites para el gráfico de control.

- **Cálculo de los límites para el gráfico de control**

Donde:

m = número de muestras \sum def. = sumatoria de defectos.

$$\bar{C} = \sum \text{def.} / m = 17 / 6 = 2.83$$

$$\text{LSC} = \bar{C} + 3 \sqrt{\bar{C}} = 2.83 + 3 (1.68) = 7.88 \approx 8$$

$$\text{LCC} = \bar{C} = 2.83 \approx 3$$

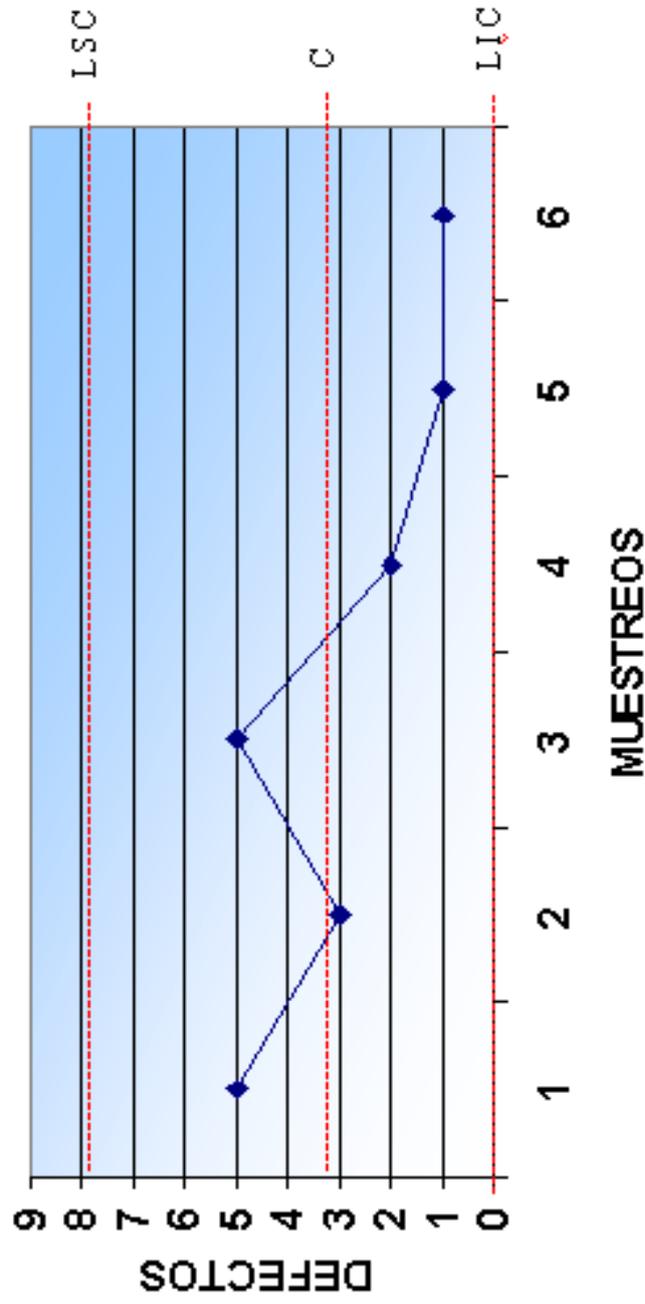
$$\text{LIC} = \bar{C} - 3 \sqrt{\bar{C}} = 2.83 - 3 (1.68) = -2.22 \approx 0$$

4.1.1.9. Gráficos de control

A continuación se muestra en la figura 21 el gráfico de control del proceso de inspección por Partículas Magnéticas.

Figura 21. Gráfico de control del proceso de inspección por partículas magnéticas

- Se realizaron 300 inspecciones
- 6 grupos de 50 inspecciones cada uno
- En cada grupo se tomaron 13 muestras aleatoriamente, según el nivel de inspección rigurosa de las tablas de control de calidad
- El estudio se realizó por medio del control de atributos según el **gráfico "C"**



4.1.1.10. Interpretación de los gráficos

A través de los cálculos realizados se obtuvo los siguientes datos para los límites de control por defectos :

$$LSC = 8$$

$$LCC = 3$$

$$LIC = 0$$

- a) En el gráfico de control (ver figura 21) se puede observar los datos de defectos encontrados dentro de cada muestreo.
- b) Es notorio en la gráfica, que los datos de defectos en los tres primeros muestreos son los más altos, esto se debe a que al ser ésta una técnica nueva, en práctica para el personal del laboratorio, los resultados no fueron muy satisfactorios.
- c) Es posible observar cómo los resultados en las tres últimas prácticas fueron decreciendo en defectos, esto responde a que el personal se fue familiarizando poco a poco con el proceso de inspección, y sus factores críticos.
- d) Se observa en la gráfica que se cuenta con el $LSC = 8$, y el promedio de defectos por muestreo es $LCC = 3$, lo que indica que ocurrieron cambios técnicos dentro del proceso.
- e) Todos los datos de los muestreos se encuentran dentro del área delimitada por el $LSC = 8$, lo que indica que el proceso se encuentra bajo control.

4.1.1.11. Factores críticos del proceso de partículas magnéticas

El proceso de inspección por partículas magnéticas de la lámina en los cilindros cuenta con factores críticos los cuales se deben tener presentes, una inadecuada realización de éstos originará una baja calidad y confiabilidad de la detección de discontinuidades; a continuación se muestran dichos factores desglosados en un diagrama de causa y efecto (ver figura 22).

4.1.1.12. Diseño y planificación del control de las inspecciones

Con el objeto de garantizar la certeza de la detección de discontinuidades por partículas magnéticas, a continuación se presentan los lineamientos a seguir para la realización del control del proceso.

1. Se deben registrar en el libro de anotaciones todas las inspecciones realizadas, la fecha y el responsable del resultado obtenido. El formato de registro de inspecciones realizadas se puede observar en el apéndice, tabla XXII.
2. Se debe entender, en términos de control de calidad, que una muestra se refiere a una inspección por partículas magnéticas realizada.
3. Al realizar trescientas inspecciones, éstas se organizarán en seis grupos de cincuenta inspecciones cada uno.
4. En cada grupo se tomarán trece muestras aleatoriamente.
5. En cada muestra seleccionada al azar, se evaluará cuántos defectos de inspección presentan.
6. Se realizará la recopilación y cómputo de los datos, para ser prontamente evaluados, mediante el gráfico de control tipo C.

7. Realizar la interpretación del gráfico de control para determinar si el proceso se encuentra en control o no. Si se encuentran resultados no confiables del proceso, se debe establecer el origen de éstos, y corregir el o los procedimientos erróneos.

8. La planificación del presente control debe de realizarse no en función del tiempo, sino en función de la cantidad de inspecciones por partículas magnéticas realizadas, ya que la demanda de inspecciones es constante, pero no uniforme. Para fines de eficiencia y para una mejor distribución de las actividades técnicas y administrativas del laboratorio, se tiene establecido realizar un control de la calidad del proceso, cada 300 inspecciones.

4.1.1.13. Observaciones del proceso de partículas magnéticas

Al realizar un estudio de los distintos elementos del proceso de inspección por Partículas Magnéticas en la lámina de los cilindros, se han resuelto las siguientes observaciones:

- a) Al realizar el control de calidad del proceso mediante gráficos (figura 21), se determinó que el proceso de inspección por partículas magnéticas, se encuentra bajo control de calidad, demostrando con ello que el laboratorio cuenta con la capacidad de garantizar la veracidad de los resultados obtenidos.

- b) La buena calidad de los resultados de inspección, reside en no contar con interpretaciones erróneas de defectología, ya que de ser así estaríamos diagnosticando como aceptables, cilindros que en verdad cuentan con discontinuidades en su lámina. Para eliminar esta posibilidad se recomienda realizar una limpieza del área a inspeccionar en el cilindro, minuciosamente, con el objetivo de eliminar partículas ajenas a la superficie.
- c) Es muy importante, verificar el buen funcionamiento del yugo magnético, ya que para lograr una detección de defectos aceptable, es necesario contar con una magnetización uniforme del área inspeccionada.
- d) Aplicar la solución de partículas magnéticas a una distancia aproximada de treinta cms, sobre el área a inspeccionar, de lo contrario se obtendrá un recubrimiento demasiado espeso o demasiado pobre, originando con ello detecciones falsas.

4.1.2. Inspección por líquidos penetrantes

A través del desarrollo de la técnica de líquidos penetrantes es posible determinar defectos superficiales en la lámina de los cilindros, como también su ubicación y dimensión superficial.

A continuación se describen los elementos a considerar para la eficiente implementación de esta técnica.

4.1.2.1. Justificación del uso de la técnica

El contar con una capacidad de inspección total de los cilindros de GLP, es una de las metas del Laboratorio de Ensayos no Destructivos, y debido a que anteriormente no ha sido posible inspeccionar el área de la brida en los cilindros, ya que ninguna de las técnicas con las que cuenta el laboratorio tiene la capacidad de lograrlo, se hace necesario implementar el proceso de inspección por líquidos penetrantes, el cual ofrece la posibilidad de solucionar el problema. Al utilizar esta técnica es posible detectar discontinuidades superficiales existentes en la soldadura y la lámina que sujeta la brida al cilindro.

4.1.2.2. Principio básico

La efectividad del método está basada en el fenómeno natural infalible, la acción capilar, una de las fuerzas más poderosas de la naturaleza. Es la misma fuerza que hace subir el agua, hasta la cima del árbol más alto, y que los líquidos penetren en los espacios vacíos de cualquier material.

Históricamente, los métodos de inspección por penetrantes usaban aceite sucio, como líquido penetrante y alguna pintura blanca como revelador. La idea trabajaba, pero sin ninguna predicción. Actualmente se han desarrollado sistemas más sofisticados, que proveen de una confiabilidad consistente al inspector.

4.1.2.3. Diseño del proceso

El fin de implementar el proceso de inspección por líquidos penetrantes es detectar discontinuidades en la soldadura y la lámina que sujeta la brida de los cilindros, mediante la acción capilar de líquidos especiales y la interpretación de su reacción de éstos en la superficie analizada, sin dañar las propiedades físicas y mecánicas del material.

El laboratorio de END tiene el objeto de contar con un proceso estandarizado que garantice la confiabilidad de los resultados obtenidos, mediante la correcta ejecución de las distintas actividades involucradas dentro de este proceso, para lo cual se han creado las siguientes condiciones:

- a) Se ha fabricado e instalado un banco de trabajo (figura 17) dentro del laboratorio de END, para realizar las actividades de limpieza e inspección de área de la brida en los cilindros.
- b) Se ha instalado una lámpara de cuatro focos fluorescentes, exactamente sobre el área del banco de trabajo, para la realización de la detección de discontinuidades.
- c) Para la magnetización de las áreas a inspeccionar se utilizará un yugo magnético, el cual es algo pesado, pero práctico al maniobrar.
- d) Para el correcto desarrollo de la detección de discontinuidades se hace necesario realizar la remoción de la pintura que recubre a los cilindros, en el área de la brida, para lo cual se utilizará un removedor de pintura.

- e) Efectuar una limpieza de la superficie del área a ser examinada utilizando el líquido limpiador (*cleaner-remover*), para quitar cualquier impureza y suciedad que pueda existir.
- f) Luego de aplicar los líquidos penetrantes, se debe permitir que éstos realicen su reacción por un espacio de 10 minutos aproximadamente.
- g) Aplicar el revelador, que produce una reacción química con el penetrante y permite que resalte más el color de la pieza donde existe alguna discontinuidad.
- h) Al realizar la interpretación de aparentes discontinuidades como grietas, porosidades o agujeros superficiales, estas se deben evaluar y señalar con un marcador permanente.

En la figura 23 se muestra la aplicación de los líquidos penetrantes en el cilindro de GLP.

Figura 23. Inspección por líquidos penetrantes



Fuente: epeista Oliver Gutiérrez

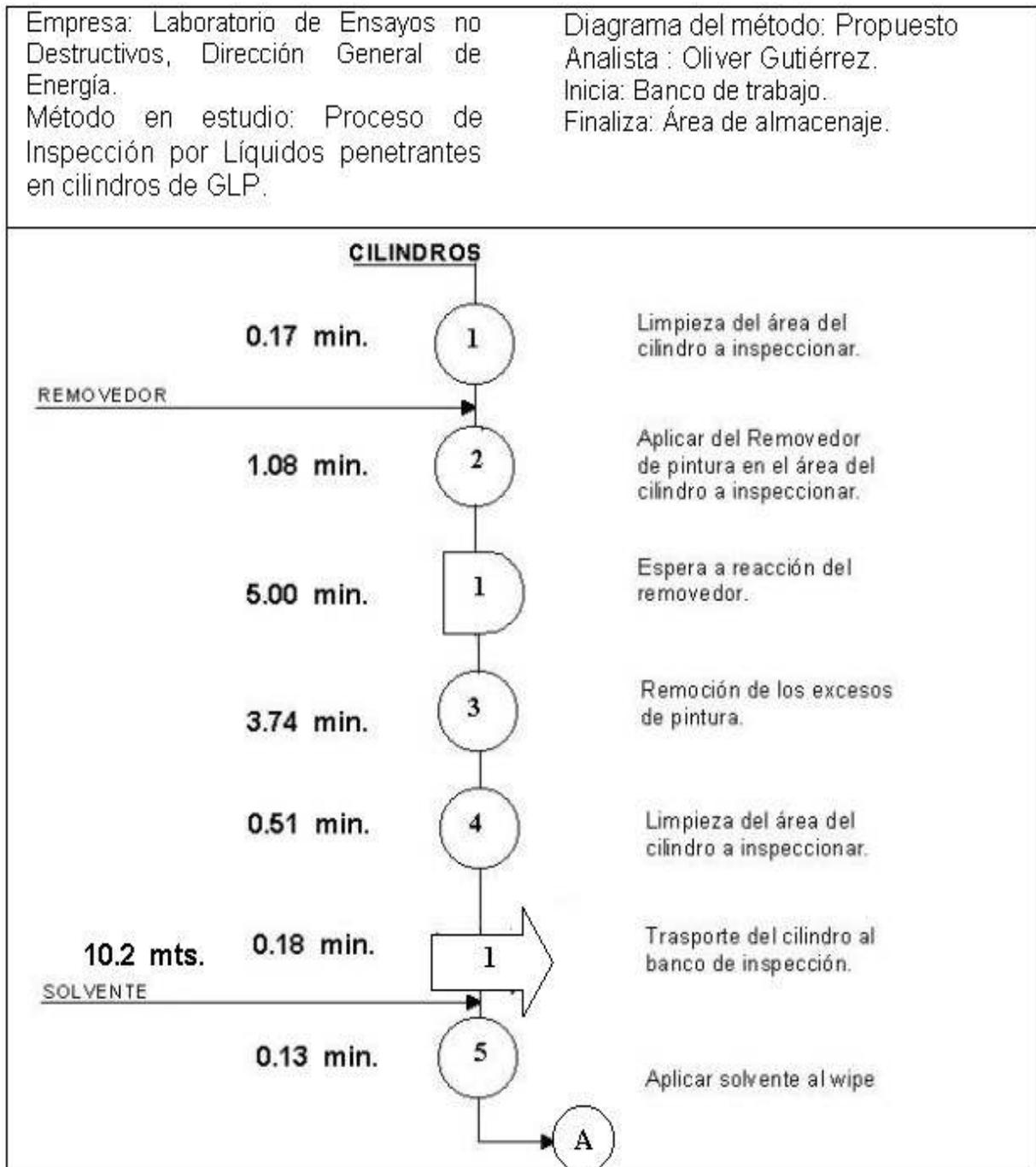
Para poder desarrollar el proceso de inspección por líquidos penetrantes de una manera práctica y eficiente, se debe utilizar el equipo y los insumos adecuados, los cuales se mencionan a continuación:

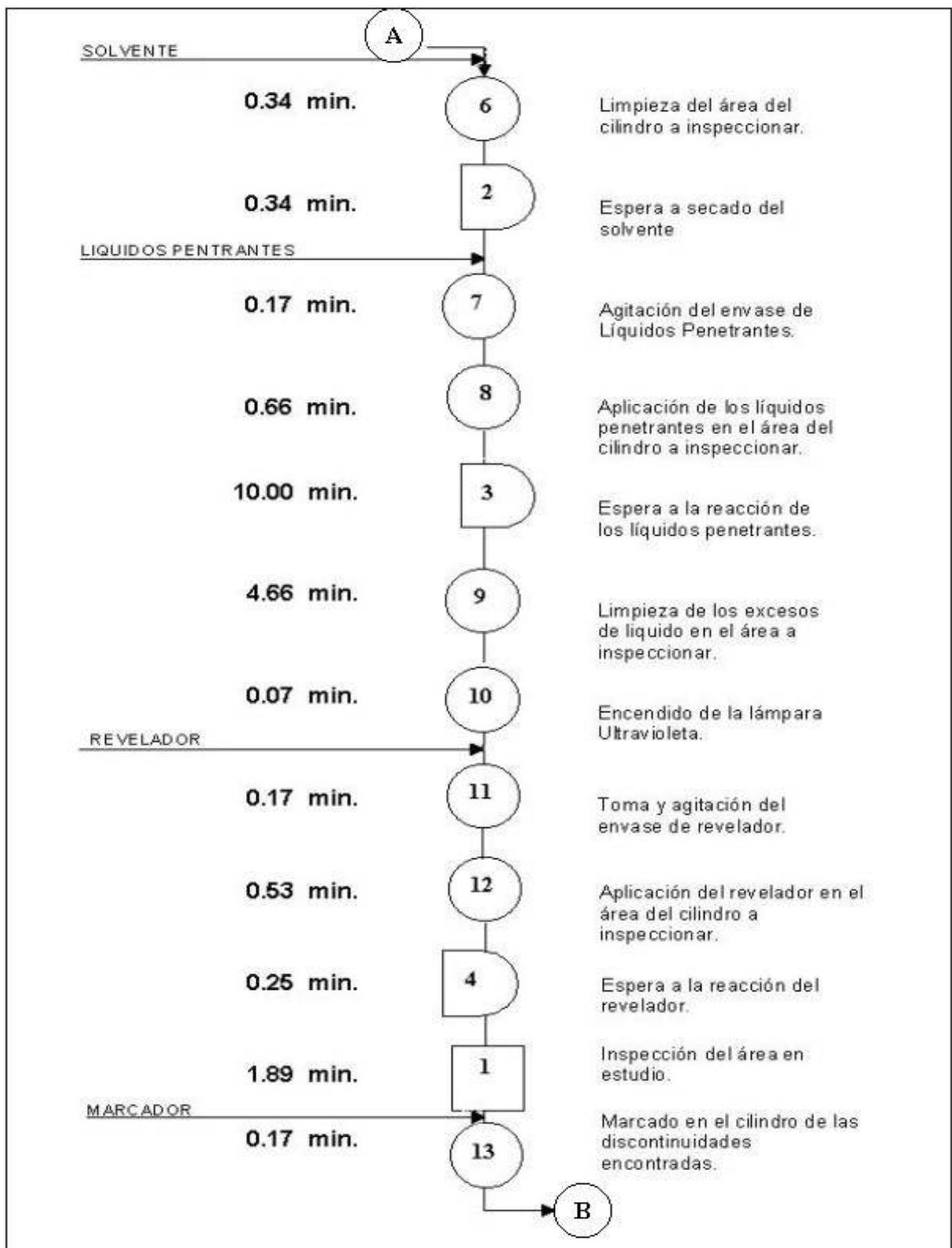
- Equipo de penetrantes *Spotcheck*, *Magnaflux en Spray*, conteniendo:
 - 1 envase de líquido limpiador
 - 1 envase de líquido penetrante
 - 1 envase de líquido revelador
- Lámpara fluorescente instalada
- Área y banco para inspección por líquidos penetrantes
- Envase de removedor de pintura
- Marcador permanente

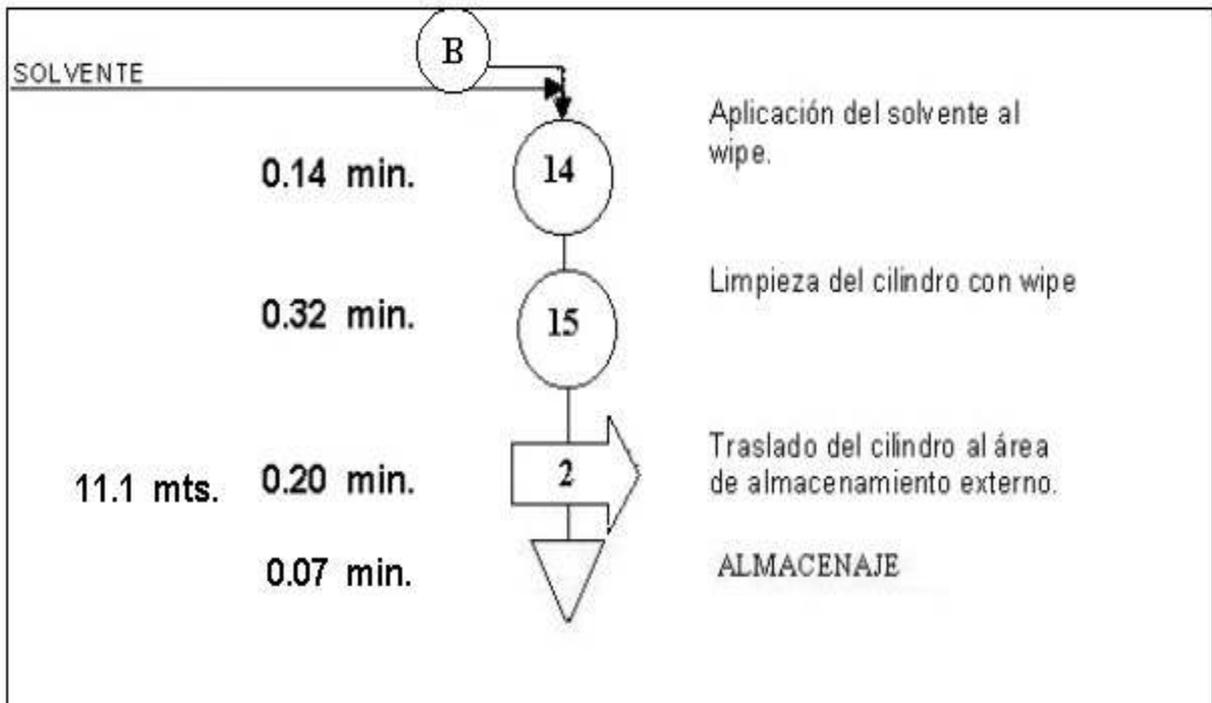
4.1.2.4. Diagramas del proceso propuesto

Con el fin de contar con un proceso estandarizado, se ha realizado un estudio del ordenamiento lógico de los procedimientos que componen la inspección por líquidos penetrantes, lo cual se encuentra concretado en el presente diagrama de flujo, y que da a conocer el tiempo estándar utilizado para desarrollar cada uno de los elementos.

Figura 24. Diagrama de flujo del proceso propuesto de líquidos penetrantes



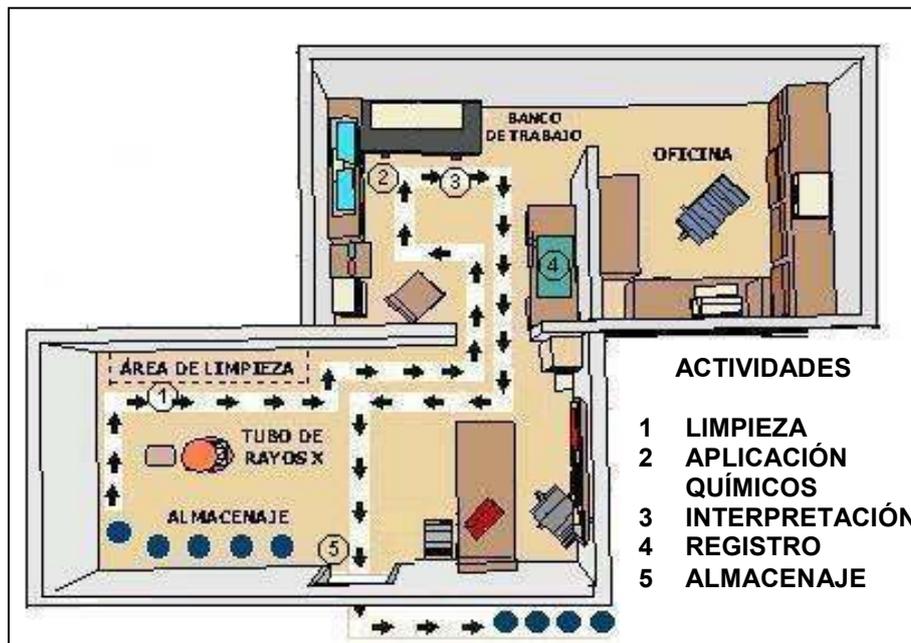




RESUMEN			
EVENTO	NÚMERO	TIEMPO (Min.)	DISTANCIA (Mts.)
OPERACIONES	15	12.86	
INSPECCIONES	1	1.89	
TRANSPORTE	2	0.38	21.30
DEMORAS	4	15.59	
ALMACNAJE	1	0.07	
TOTAL	22	30.79	21.30

Para contar con una visualización de la distribución de las áreas de trabajo dentro del laboratorio, y de las líneas de flujo que indican el movimiento de los cilindros a inspeccionar, se presenta el siguiente diagrama de recorrido del proceso. Es de suma importancia realizar la instalación del banco de trabajo dentro del laboratorio y la lámpara de tubos fluorescentes, los cuales se pueden observar en la figura 25.

Figura 25. Diagrama de recorrido del proceso de líquidos penetrantes



4.1.2.5. Medición de tiempos

A continuación se desglosan los pasos seguidos para realizar la medición de tiempos del proceso implementado de inspección por líquidos penetrantes:

1. Se tomó el tiempo de la duración total del proceso, sin regresar a cero entre cada elemento registrado.

2. Se anotó en una tabla el tiempo exacto que registraba el cronómetro al momento de concluir el elemento en estudio. Dicha tabla se elaboró con el objeto de facilitar el registro de los datos observados, la cual se encuentra en la Tabla IX.
3. Se realizó el estudio de tiempos para veinte ciclos de realización del presente proceso.
4. Se realizó la sumatoria y el promedio, por separado para cada elemento, de cada proceso.
5. Se utilizó un factor de multiplicación o porcentaje (factor de desempeño), el cual se determinó y estableció utilizando el Método de *Calificación por Velocidad*, y el apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.
6. Con el objetivo de tomar en cuenta los suplementos especiales involucrados dentro del proceso, como lo son las demoras inevitables, retrasos personales y la fatiga, se buscó representar éstos mediante un factor de multiplicación, el cual consiste en la suma de los tres factores representativos de los suplementos mencionados anteriormente. Dichos factores fueron establecidos con el acuerdo y apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.

Las anotaciones de los cálculos mencionados anteriormente se presentan en la Tabla IX.

FECHA 19/JUL PROCESO: HOJA No 1/2 LIQUIDOS PENETRANTES		C I C L O									
OPERACIONES		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Limpieza del área del cilindro	0.22	0.20	0.17	0.17	0.15	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17
2	Aplicación removedor.	1.18	1.17	1.13	1.13	1.12	1.07	1.08	1.10	1.12	1.08
3	Espera a reacción.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
4	Remoción exceso de pintura.	3.95	3.98	3.85	4.00	3.80	3.83	3.88	3.97	3.80	3.83
5	Limpieza del área del cilindro	0.62	0.63	0.50	0.47	0.48	0.50	0.47	0.50	0.58	0.53
6	Transporte cilindro	0.17	0.20	0.18	0.18	0.20	0.22	0.20	0.18	0.15	0.15
7	Aplicar solvente al wipe	0.15	0.13	0.15	0.17	0.15	0.13	0.12	0.13	0.13	0.12
8	Limpieza del área del cilindro	0.47	0.40	0.42	0.33	0.30	0.32	0.33	0.28	0.27	0.33
9	Espera a secado del solvente	0.43	0.40	0.37	0.42	0.33	0.42	0.43	0.28	0.27	0.30
10	Toma y agitación del químico	0.20	0.20	0.15	0.13	0.17	0.18	0.20	0.15	0.15	0.13
11	Aplicación del químico.	0.78	0.80	0.78	0.73	0.63	0.72	0.73	0.62	0.58	0.67
12	Espera a reacción químico.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
13	Remoción de excesos.	4.97	5.00	5.02	4.80	4.75	4.77	4.83	4.75	4.77	4.73
14	Encendido de lámpara fluorescente	0.07	0.05	0.07	0.05	0.15	0.05	0.07	0.05	0.07	0.08
15	Toma y agitación revelador	0.22	0.17	0.17	0.18	0.17	0.13	0.28	0.18	0.13	0.13
16	Aplicación del revelador.	0.55	0.53	0.58	0.50	0.60	0.57	0.47	0.53	0.47	0.60
17	Espera a la reacción.	0.32	0.28	0.23	0.25	0.30	0.20	0.25	0.23	0.22	0.27
18	Interpretación analítica.	2.00	2.03	2.17	1.97	1.95	1.83	1.88	1.83	2.07	1.87
19	Marcado del cilindro	0.13	0.15	0.20	0.10	0.08	0.17	0.20	0.23	0.45	0.07
20	Aplicar solvente al wipe	0.20	0.12	0.12	0.13	0.13	0.15	0.13	0.20	0.17	0.13
21	Limpieza del cilindro.	0.37	0.40	0.42	0.30	0.28	0.35	0.37	0.40	0.28	0.30
22	Traslado del cilindro.	0.23	0.25	0.17	0.18	0.22	0.20	0.23	0.25	0.20	0.17

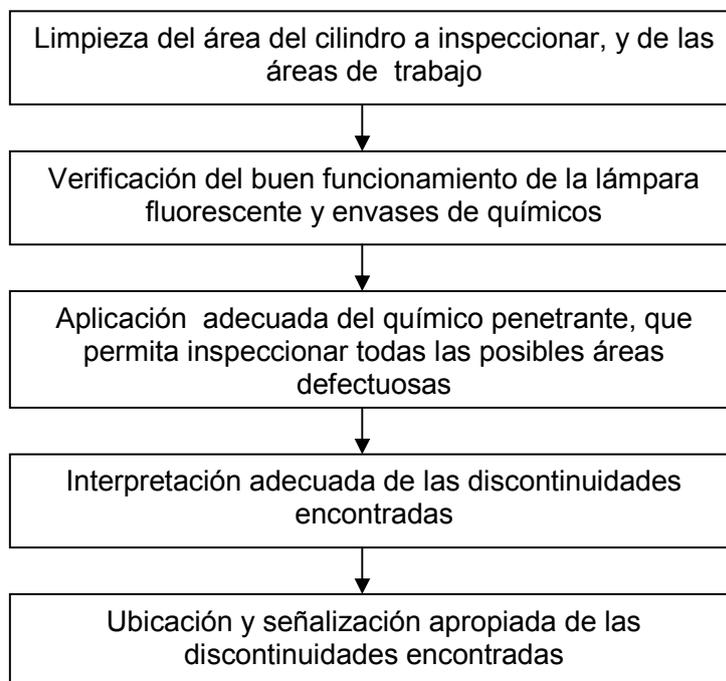
FECHA D/TUL	PROCESO: LIQUIDOS PENETRANTES	C I C L O											RESUMEN							
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL	OB SER.	TPO. PROM. (TP.)	CALIF. DESEMP (C.D.)	TP. X C.D.	% TOLER .	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)		
OPERACIONES																				
1	Limpieza del area del cilindro	0.20	0.17	0.18	0.17	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	0.20			3.53	20	0.18	0.87	0.16	1.09	0.17
2	Aplicación removedor.	1.12	1.10	1.13	1.12	1.08	1.10	1.12	1.10	1.13	1.12			22.30	20	1.12	0.87	0.99	1.09	1.08
3	Espera a reacción.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00			100.00	20	5.00	1.00	5.00	1.00	5.00
4	Remoción exceso de pintura.	3.88	3.80	3.77	3.83	3.85	3.83	3.80	3.77	3.83	3.77			77.03	20	3.85	0.87	3.43	1.09	3.74
5	Limpieza del área del cilindro	0.60	0.47	0.50	0.52	0.48	0.58	0.46	0.55	0.57	0.53			10.53	20	0.53	0.87	0.47	1.09	0.51
6	Transporte cilindro	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.22	0.20	0.20			3.67	20	0.18	0.87	0.16	1.09	0.18
7	Aplicar solvente al wipe	0.13	0.15	0.13	0.13	0.12	0.15	0.13	0.13	0.12	0.15			2.73	20	0.14	0.87	0.12	1.09	0.13
8	Limpieza del área del cilindro	0.37	0.38	0.33	0.30	0.37	0.37	0.40	0.37	0.38	0.35			7.07	20	0.35	0.87	0.32	1.09	0.34
9	Espera a secado del solvente	0.28	0.33	0.37	0.35	0.38	0.30	0.32	0.30	0.30	0.33			6.92	20	0.35	0.87	0.31	1.09	0.34
10	Toma y agitación del químico	0.20	0.13	0.20	0.17	0.18	0.17	0.15	0.20	0.17	0.18			3.42	20	0.17	0.87	0.15	1.09	0.17
11	Aplicación del químico.	0.63	0.63	0.67	0.62	0.60	0.67	0.68	0.70	0.70	0.63			13.58	20	0.68	0.87	0.61	1.09	0.66
12	Espera a reacción químico.	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0			200.00	20	10.0	1.00	10.0	1.00	10.00
13	Remoción de excesos.	4.67	4.82	4.85	4.82	4.77	4.68	4.83	4.77	4.72	4.70			96.00	20	4.80	0.87	4.27	1.09	4.66
14	Encendido de lampara fluorescente	0.07	0.08	0.07	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08			1.38	20	0.07	0.87	0.06	1.09	0.07
15	Toma y agitación revelador	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18	0.20			3.53	20	0.18	0.87	0.16	1.09	0.17
16	Aplicación del revelador.	0.58	0.57	0.52	0.53	0.63	0.46	0.57	0.57	0.55	0.52			10.88	20	0.54	0.87	0.49	1.09	0.53
17	Espera a la reacción.	0.30	0.30	0.28	0.20	0.27	0.25	0.22	0.28	0.25	0.22			5.12	20	0.26	0.87	0.23	1.09	0.25
18	Interpretación analítica.	1.93	1.95	1.92	1.93	1.95	1.92	1.92	2.00	1.95	1.93			39.00	20	1.95	0.87	1.74	1.09	1.89
19	Marcado del cilindro	0.17	0.12	0.07	0.20	0.20	0.17	0.20	0.22	0.25	0.17			3.53	20	0.18	0.87	0.16	1.09	0.17
20	Aplicar solvente al wipe	0.12	0.15	0.15	0.12	0.13	0.12	0.12	0.17	0.13	0.12			2.80	20	0.14	0.87	0.13	1.09	0.14
21	Limpieza del cilindro.	0.28	0.27	0.37	0.35	0.33	0.30	0.32	0.35	0.28	0.33			6.65	20	0.33	0.87	0.30	1.09	0.32
22	Traslado del cilindro.	0.18	0.20	0.23	0.25	0.17	0.27	0.18	0.22	0.17	0.15			4.12	20	0.21	0.87	0.18	1.09	0.20

S	OPER	CICLO	ELEMENTOS EXTRANOS	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO	INICIO ESTUDIO	FINAL ESTUDIO	TIEMPO TOTAL
A	14	5	SE DESENCUJFO EL CABLE	C. D. = 87 %	18/JUL	9:03	8:20
B	15	7	EL OPERADOR BOTO EL QUIMICO		19/JUL	9:12	
C	19	9	EL MARCADOR SE HUMEDECIO DE QUIMICO, NO PINTO	RESUMEN TOLERANCIAS	OBSERVACIONES:		
D				RETARDO PERSONAL	2%	NO SE UTILIZO MARCADOR INDELEBLE, LAS MARCAS SE BORRARON.	
E				RETRASO INEVITABLE	3%	DEBE DE ASEGURARSE EL ENCHUFE ELECTRICO DE LA LAMPARA FLUORESCENTE	
F				FATIGA	4%		
G				TOLERANCIA TOTAL %	90%	Tiempo estándar del proceso: 30.72 min.	

4.1.2.6. Puesta en práctica

Para realizar el proceso de inspección por líquidos penetrantes en la soldadura y la lámina que sujeta la brida en los cilindros muestreados, deben considerarse los factores mostrados en el siguiente flujograma:

Figura 26. Flujograma del proceso de líquidos penetrantes



4.1.2.7. Recopilación y cómputo de datos

Para lograr la evaluación de la calidad de la detección de discontinuidades por líquidos penetrantes, es necesario poseer una base de datos; para la recopilación de éstos se cuenta con una tabla en la cual se anotará información como el número de la inspección muestreada, y los defectos de inspección encontrados. Ver tabla X.

A continuación se muestra la tabla de evaluación de la calidad de detección de discontinuidades por líquidos penetrantes, según los defectos encontrados dentro del proceso de inspección.

Tabla X. Evaluación de defectos del proceso de líquidos penetrantes

EVALUACIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES						
CLIENTE: GASEOSO S.A.			EQUIPO: LÍQUIDOS PENETRANTES			
CAPACIDAD: 25 Lbs.			NORMA: CONTROL DE CALIDAD INTERNO			
No.	INSPECCIÓN NÚMERO	DEFECTOS				A/R
		LI	AL	II	SI	
41.	622	X				A
42.	623					A
43.	624					A
44.	625					A
45.	625		X	X	X	R
46.	626					A
47.	627		X			A
48.	628					A
49.	629					A
50.	630					A

LI = LIMPIEZA INADECUADA	SI = SENALIZACIÓN INADECUADA
AL = APLICACIÓN DE LÍQUIDOS	A = APROBADO
II = INTERPRETACIÓN INADECUADA	R = RECHAZADO

El cómputo de los resultados obtenidos se realiza luego de haber determinado la deficiencia a la que éstos pertenecen, para luego proceder al cálculo de: el valor promedio de la cantidad de defectos de inspección encontrados en las inspecciones muestreadas, los límites necesarios para el desglose de los gráficos de control, y los resultados que se encuentren fuera de control.

4.1.2.8. Selección de gráficos de control

Para el control de calidad de este proceso, se ha escogido el gráfico tipo "C", que es el más adaptable y conveniente a utilizar, ya que los resultados, pueden contar con uno o mas defectos, cada una

1. Se tomó como lote de estudio, las inspecciones por líquidos penetrantes realizadas durante una semana de trabajo, las cuales fueron trescientas inspecciones.
2. Al obtener los datos de las trescientas inspecciones, éstas se organizaron en seis grupos de cincuenta inspecciones, cada uno.
3. En cada grupo se tomaron trece muestras aleatoriamente. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la tabla *K* y la tabla *V* (ver tablas XXIII y XXIV respectivamente) de letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D (Norma ABC), con un nivel de inspección III (riguroso).
4. Se obtuvo las setenta y ocho inspecciones tomadas aleatoriamente, (seis grupos por trece muestras cada uno).
5. Se analizaron cada una de las muestras, y se determinó cuál de ellas contaban con uno o más defectos.

Tabla XI. Defectos en el proceso de líquidos penetrantes

MUESTREO	NÚMERO DE DEFECTOS
1	4
2	2
3	1
4	2
5	0
6	0

Al tener los datos muestreados, se calcula el valor de “C”, y se procede a obtener los límites para el gráfico de control.

- **Cálculo de los límites para el gráfico de control**

Donde:

m = número de muestras Σ def. = sumatoria de defectos

$$C = \Sigma \text{ def.} / m = 9 / 6 = 1.5$$

$$LSC = \bar{C} + 3 \sqrt{\bar{C}} = 1.5 + 3 (1.22) = 5.17 \approx 5$$

$$LCC = \bar{C} = 1.5 \approx 2$$

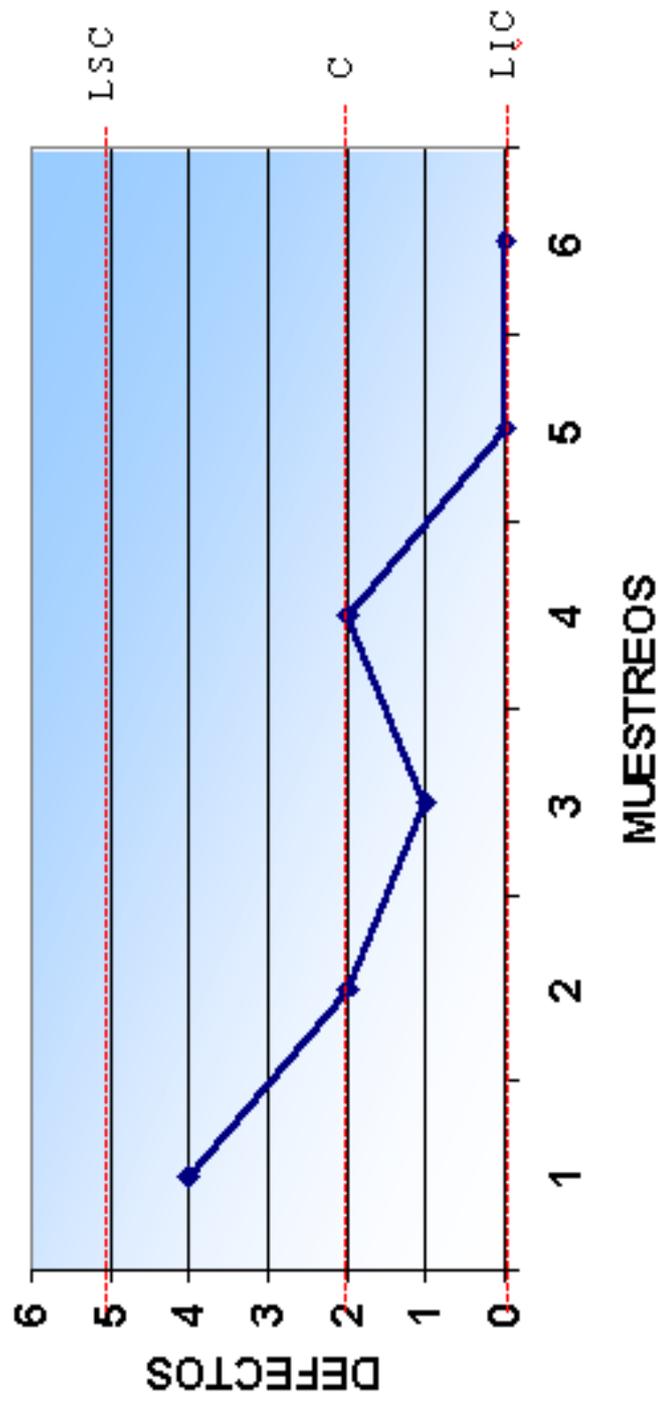
$$LIC = \bar{C} - 3 \sqrt{\bar{C}} = 1.5 - 3 (1.22) = -2.17 \approx 0$$

4.1.2.9. Gráficos de Control

A continuación se muestra el gráfico del control tipo C del proceso de líquidos penetrantes. Ver figura 27.

Figura 27. Gráfico de control del proceso de inspección por líquidos penetrantes

- Se realizaron 300 inspecciones
- 6 grupos de 50 inspecciones cada uno
- En cada grupo se tomaron 13 muestras aleatoriamente, según el nivel de inspección rigurosa de las tablas de control de calidad
- El estudio se realizó por medio del control de atributos según el gráfico "C"



4.1.2.10. Interpretación de los gráficos

A través de los cálculos hemos obtenido los siguientes datos para los límites de control por defectos :

$$LSC = 5$$

$$LCC = 2$$

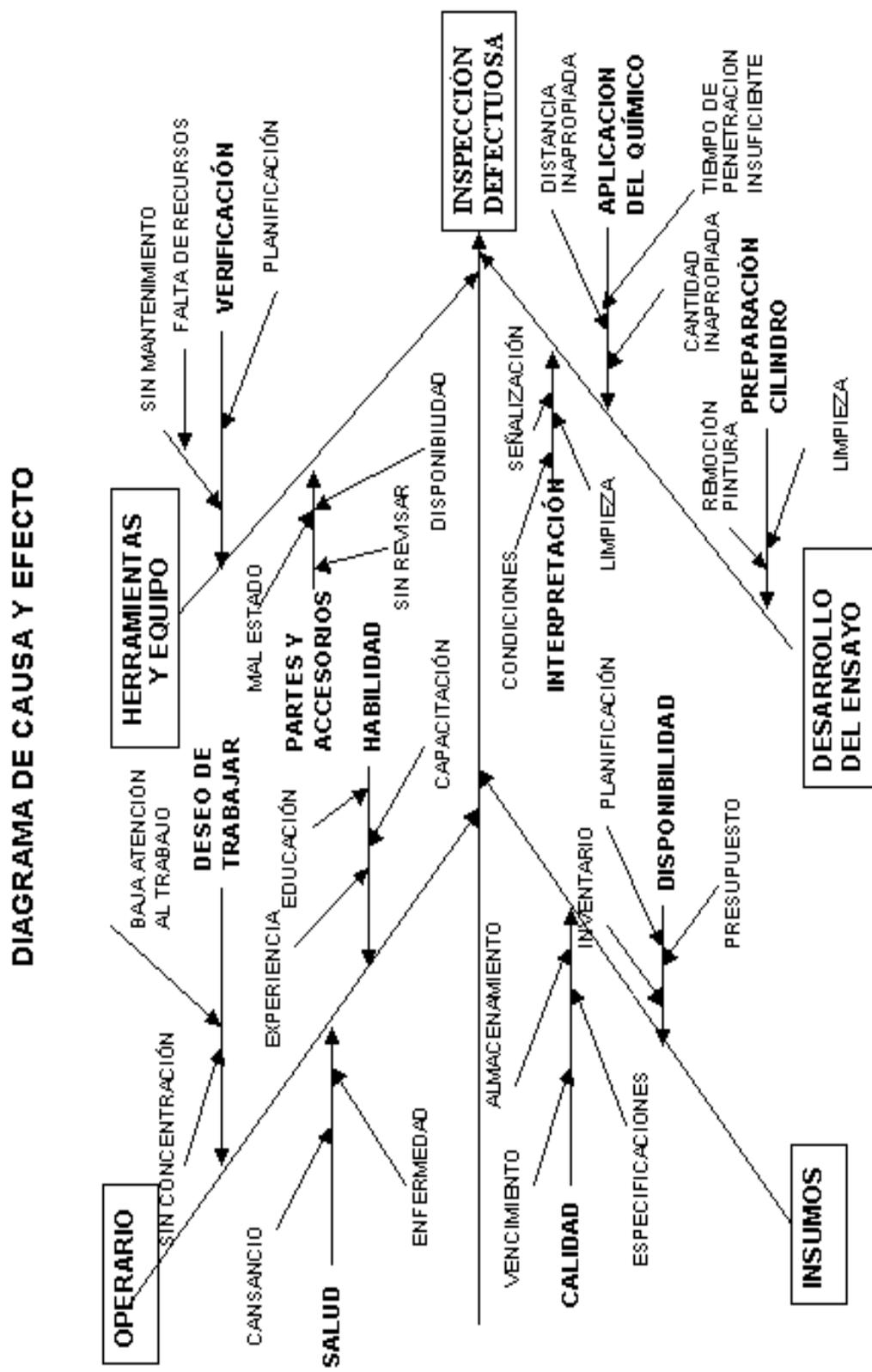
$$LIC = 0$$

- a) En la gráfica (figura 27) se puede observar los datos de defectos encontrados dentro de cada muestreo.
- b) La cantidad de defectos encontrados en el primer muestreo es el mayor de todos, ésto se debe a que esta técnica se estaba implementando y en las primeras prácticas obviamente, se desconocían los factores críticos de este proceso.
- c) Se observa en la figura 27 cómo los resultados en las dos últimas prácticas fueron decreciendo en defectos, al grado de no encontrar ningún defecto en las inspecciones muestreadas.
- d) El desarrollo de esta técnica es sumamente simple, lo cual se deja notar en la gráfica por el área de defectos delimitada por el $LSC = 5$, y determinar que todos los datos del muestreo se encuentren dentro de esta área, indica que el proceso se encuentra bajo control.

4.1.2.11. Factores críticos del proceso de líquidos penetrantes

El proceso de inspección por líquidos penetrantes de la soldadura y lámina que sujeta la brida en los cilindros cuenta con factores críticos los cuales se debe tener presente, una inadecuada realización de éstos originará una baja calidad y confiabilidad de la detección de discontinuidades. A continuación se muestran los factores desglosados en un diagrama de causa y efecto (ver figura 28).

Figura 28. Diagrama de causa y efecto del proceso propuesto de líquidos penetrantes



4.1.2.12. Diseño y planificación del control de las inspecciones

Con el objetivo de garantizar la certeza de la detección de discontinuidades por líquidos penetrantes, a continuación se presentan los lineamientos a seguir para la realización del control del proceso.

1. Se deben de registrar en el libro de anotaciones (ver apéndice tabla XXII) todas las inspecciones realizadas, la fecha y el responsable del resultado obtenido.
2. Se debe de entender, en términos de control de calidad, que una muestra se refiere a una inspección realizada por líquidos penetrantes.
3. Al realizar trescientas inspecciones, éstas se organizaran en seis grupos de cincuenta inspecciones cada uno.
4. En cada grupo se tomarán trece muestras aleatoriamente.
5. En cada muestra seleccionada al azar, se evaluará cuántos defectos de inspección presentan.
6. Se realizará la recopilación y cómputo de los datos, para ser prontamente evaluados, mediante el gráfico de control tipo C.
7. Realizar la interpretación del gráfico de control para determinar si el proceso se encuentra en control o no. Si se encuentran resultados no confiables del proceso, se debe establecer el origen de éstos, y corregir el o los procedimientos erróneos.

8. En cuanto a la planificación del presente control, ésta debe de realizarse no en función del tiempo, sino en función de la cantidad de inspecciones realizadas por líquidos penetrantes, ya que la demanda de inspecciones es constante, pero no uniforme. Para fines de eficiencia y una mejor distribución de las actividades técnicas y administrativas del laboratorio, se tiene establecido realizar un control de la calidad del proceso, cada trescientas inspecciones.

4.1.2.13. Observaciones del proceso de líquidos penetrantes

Con el objetivo de mantener la calidad de los resultados, mediante una adecuada realización de los distintos elementos que conforman el proceso de inspección por líquidos penetrantes, se presentan las siguientes observaciones:

- a) Para poder efectuar una adecuada interpretación de las posibles discontinuidades en el área de la brida, se debe realizar una limpieza exhaustiva de esta área en el cilindro a inspeccionar, debido a que pueden existir partículas en la superficie que obstruyan la efectiva penetración del líquido.
- b) Realizar la aplicación de los líquidos penetrantes a una distancia aproximada de treinta cms. de la superficie del área a inspeccionar, de lo contrario se obtendrá un recubrimiento demasiado espeso o demasiado pobre, que originará detecciones falsas.
- c) Al realizar la inspección por líquidos penetrantes, se debe de procurar la efectiva penetración en el borde de la soldadura, ya que en esta zona es

donde existe la mayor posibilidad de existencia de discontinuidades debido a la concentración de esfuerzos por cambios temperatura.

- d) En la inspección por líquidos penetrantes, al momento de realizar la interpretación de posibles discontinuidades, se debe efectuar una verificación minuciosa ante la luz fluorescente, ya que pueden existir algunas que sean de corta dimensión, pero de una profundidad considerable.
- e) El proceso de inspección por líquidos penetrantes, tiene las propiedades necesarias para lograr la detección eficaz de posibles discontinuidades en el área de la brida de los cilindros de GLP.
- f) Al realizar la evaluación e interpretación del gráfico de control (ver figura 27), se determinó que el proceso de inspección por líquidos penetrantes se encuentra bajo control de calidad, ya que todos sus resultados muestreados están dentro de los límites de control, que indica que el laboratorio cuenta con la capacidad de garantizar la veracidad de los resultados obtenidos.

4.2. Optimización de las técnicas actuales

El laboratorio de ensayos no destructivos actualmente cuenta con dos técnicas, la técnica de medición de espesor por ultrasonido, y la técnica de inspección de soldadura por radiografía industrial. Ambos procesos de inspección no se encuentran estandarizados, y es éste uno de los objetivos del presente proyecto, a continuación se describen los elementos a considerar para su óptima estandarización.

4.2.1. Medición de espesor por ultrasonido

La medición de espesor en la lámina de los cilindros se lleva a cabo por medio de un equipo de ultrasonido, el cual a través de una onda de longitud corta y que nos proporciona el espesor encontrado.

4.2.1.1. Justificación de la estandarización del proceso

Según la norma que detalla los requerimientos de fabricación de los cilindros de GLP en Guatemala (COGUANOR NGO 51009) la cual se puede observar en el anexo (figura 54), establece que la lámina de éstos, debe tener como espesor, un mínimo 1.98 mm. para ser aceptados. El laboratorio de ensayos no destructivos utiliza la técnica de ultrasonido como un método de comprobación del espesor de la lámina en los cilindros muestreados.

Es de suma importancia que los resultados obtenidos de este proceso de medición ultrasónica, sea lo más confiable posible, ya que de otra manera, al existir un margen de error demasiado amplio, se caería en la posibilidad de estar rechazando cilindros que sí cumplen con la normativa, o en un caso más crítico, estar resolviendo como aceptados cilindros que en realidad no cumplen con el requerimiento del espesor mínimo.

El laboratorio de END tiene como objetivo que los resultados obtenidos se encuentren dentro de un margen de variación comprendido entre los límites de +/- 7 milímetros del espesor reportado por los fabricantes de cilindros, ya que este objetivo no ha sido posible concretarlo, es necesario realizar una estandarización del proceso, el cual contemple el establecimiento y rectificación de nuevos procedimientos.

4.2.1.2. Diseño de un nuevo proceso

El nuevo proceso de medición de espesor por ultrasonido, el cual se denotará con el nombre de proceso propuesto, está basado en la rectificación de procedimientos ya existentes y la implementación de otros nuevos. Ésto se realiza con el objetivo de estandarizar este proceso y obtener resultados más confiables.

Entre los procedimientos que se contemplan como críticos dentro del proceso, ya que una buena o mala ejecución de ellos influye de manera radical en los resultados, podemos indicar los siguientes cambios o implementaciones:

- a) En el procedimiento de remoción de pintura en los cilindros, no se utilizará lija, que merme espesor a la lámina, para ello se ha establecido emplear químico removedor de pintura acrílica.
- b) Se utilizará aceite acoplante entre el palpador ultrasónico y la superficie de medición, que permita realizar una medición de espesor más exacta.
- c) Se utilizarán baterías con suficiente carga en el equipo de ultrasonido, para poder realizar mediciones de espesor más exactas.

Para poder desarrollar este proceso de medición de una manera más práctica y eficiente, debemos utilizar accesorios y herramienta adecuada, las cuales mencionamos a continuación:

- Marcador permanente, para el marcaje del código de muestra en los cilindros
- Químico removedor de pintura acrílica

- Espátula metálica, para remover los excesos de pintura
- *Wipe*, para la limpieza de la superficie a medir en el cilindro
- Aceite acoplante, para utilizar en el palpador ultrasónico
- Baterías con suficiente carga, para utilizar en el equipo de ultrasonido

Figura 29. Medición de espesor por ultrasonido

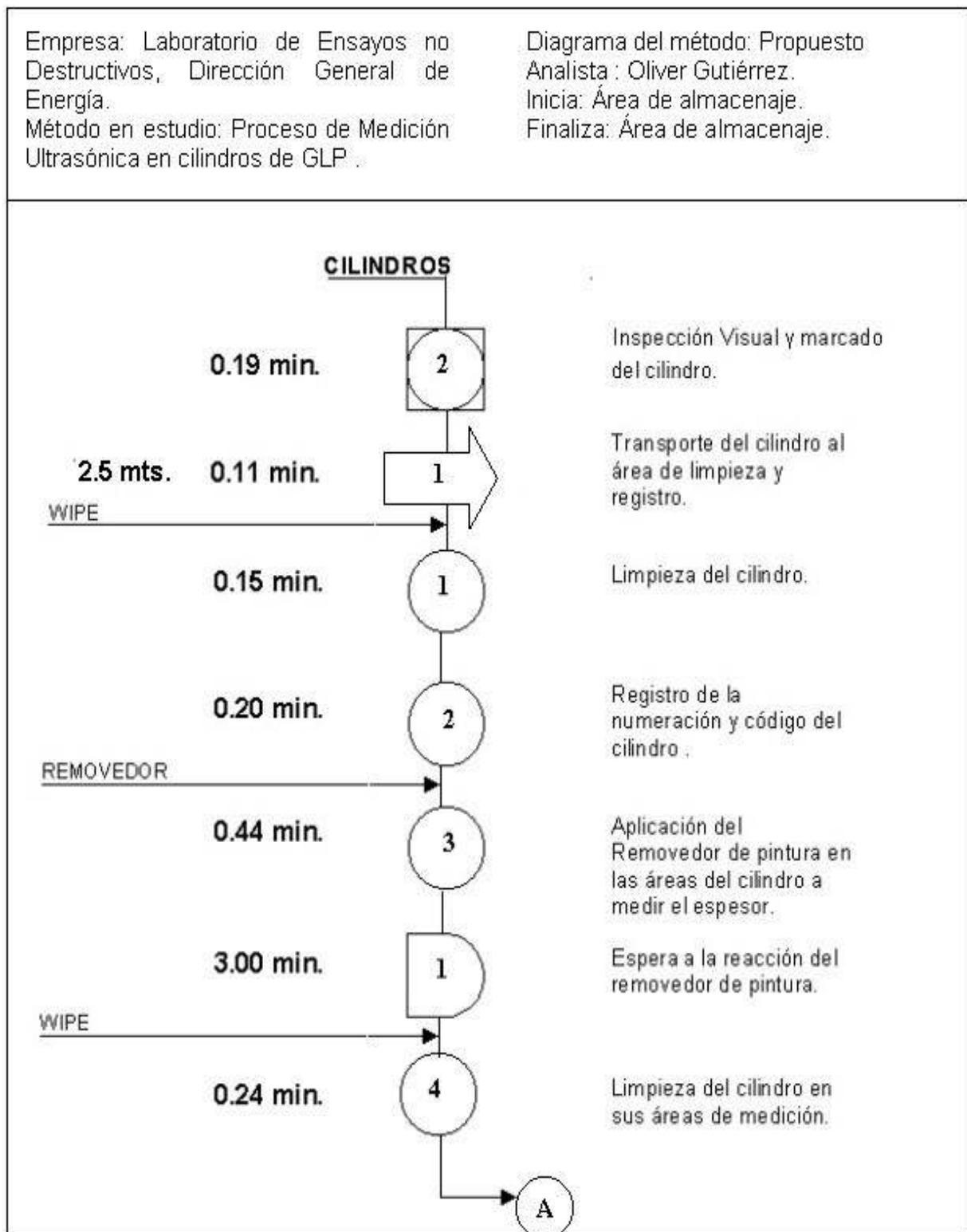


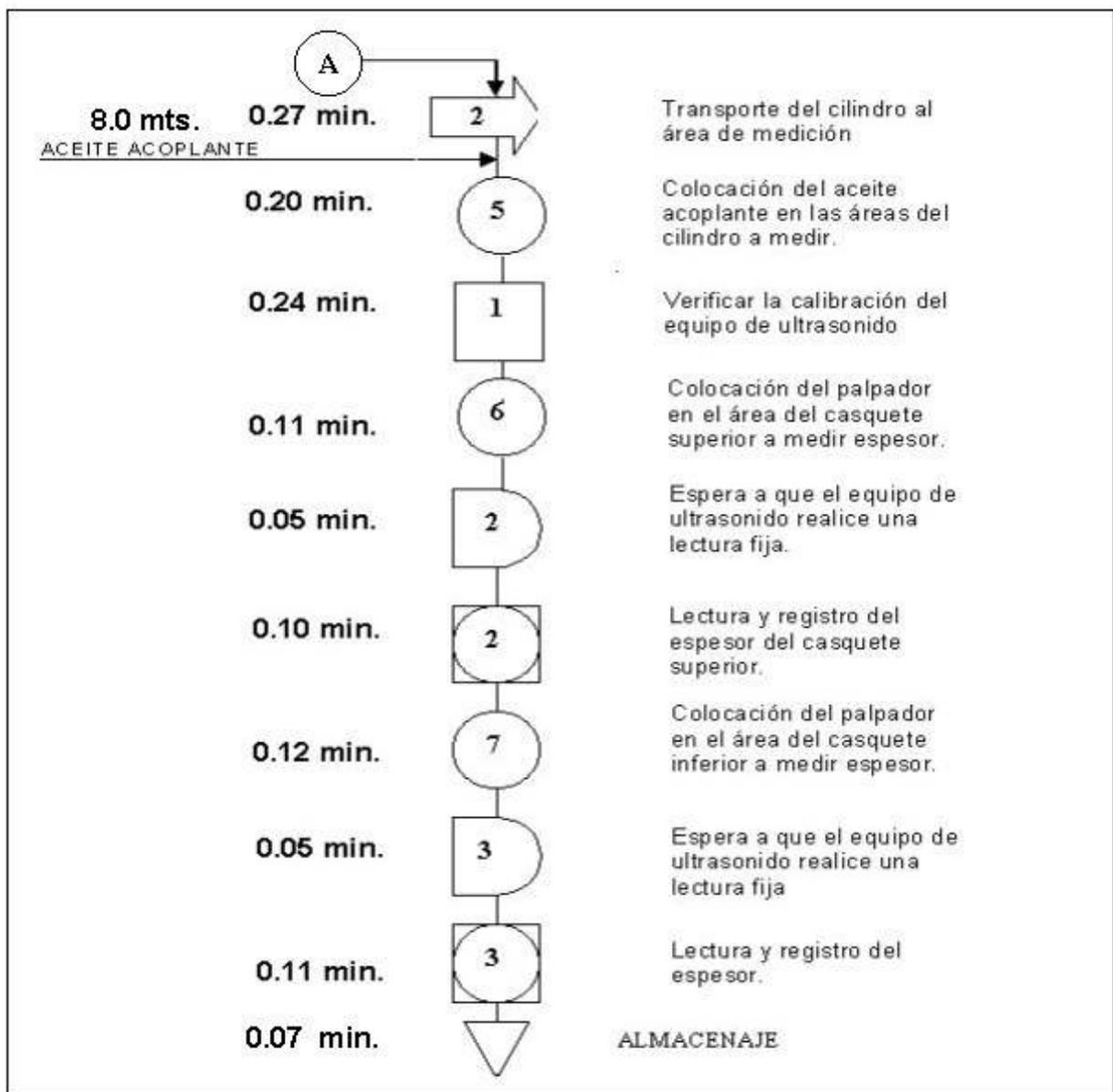
Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

4.2.1.3. Diagramas del proceso propuesto

El objetivo de realizar una innovación en el proceso de medición de espesor por ultrasonido es asegurar la calidad de los resultados obtenidos de éste, y en su consecuencia que sean más confiables. Para lograr este fin se debe contar con un ordenamiento lógico de los procedimientos que componen dicho proceso, lo cual se encuentra planteado en el diagrama de flujo, dando a conocer el tiempo estándar utilizado para desarrollar cada uno de los elementos. En el presente diagrama de flujo (ver figura 30) se contemplan como elementos: operaciones realizadas, inspecciones, operaciones combinadas, traslados y retrasos que se encuentran involucrados dentro del proceso propuesto de medición de espesor por ultrasonido.

Figura 30. Diagrama de flujo del proceso propuesto de ultrasonido

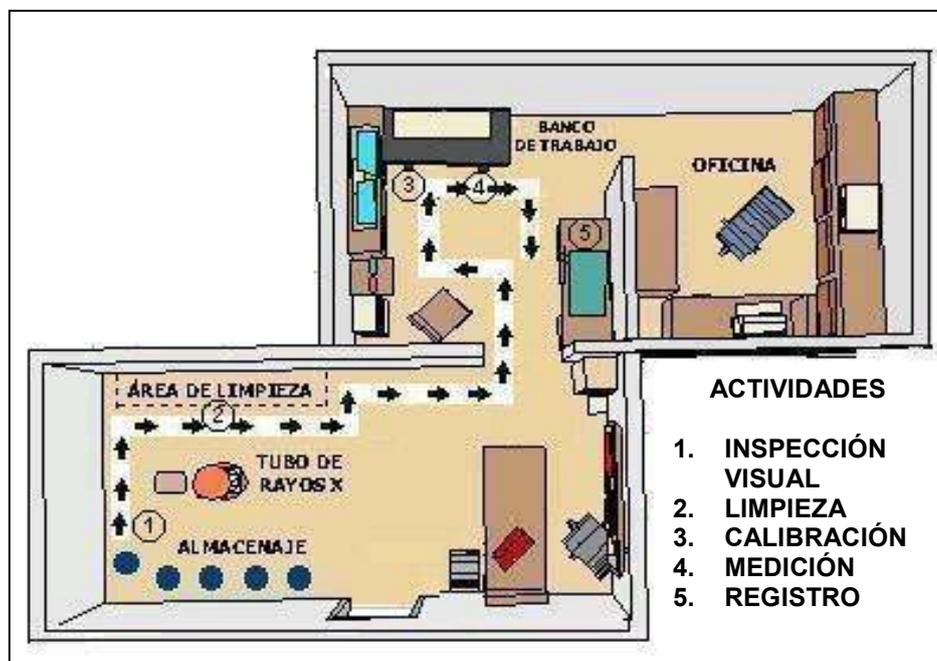




RESUMEN			
EVENTO	NÚMERO	TIEMPO (Min.)	DISTANCIA (Mts.)
OPERACIONES	7	1.46	
INSPECCIONES	1	0.24	
COMBINADAS	3	0.40	
TRANSPORTE	2	0.38	10.5
DEMORAS	3	3.10	
ALMACENAJE	1	0.07	
TOTAL	16	6.05	10.5

En el diagrama de recorrido del proceso (figura 31) se puede observar la distribución de las áreas de trabajo dentro del laboratorio, como también las líneas de flujo que indican el movimiento de los cilindros en inspección. Es de suma importancia realzar la creación de las áreas de limpieza y medición, ya que estas son de mucha utilidad para un mejor ordenamiento de los elementos del proceso dentro del laboratorio, los cuales no existían en el proceso actual.

Figura 31. Diagrama de recorrido del proceso propuesto de ultrasonido



4.2.1.4. Medición de tiempos

A continuación se desglosan los pasos seguidos para realizar la medición de tiempos del proceso propuesto de medición de espesor por ultrasonido:

1. Se tomó el tiempo de la duración total del proceso, sin regresar a cero entre cada elemento registrado.

2. Se anotó en una tabla el tiempo exacto que registraba el cronómetro al momento de concluir el elemento en estudio. Dicha tabla se elaboró con el objeto de facilitar el registro de los datos observados, la cual se encuentra en la Tabla XII.
3. Se realizó el estudio de tiempos para veinte ciclos de realización del presente proceso.
4. Se realizó la sumatoria y el promedio, por separado para cada elemento, de cada proceso.
5. Se utilizó un factor de multiplicación o porcentaje (factor de desempeño), el cual se determinó y estableció utilizando el Método de *Calificación por Velocidad*, y el apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.
6. Con el objetivo de tomar en cuenta los suplementos especiales involucrados dentro del proceso, como lo son las demoras inevitables, retrasos personales y la fatiga, se buscó representar éstos mediante un factor de multiplicación, el cual consiste en la suma de los tres factores representativos de los suplementos mencionados anteriormente. Dichos factores fueron establecidos con el acuerdo y apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.

Las anotaciones de los cálculos mencionados anteriormente se presentan en la Tabla XII.

Tabla XII. Tabla de estudio de tiempos del proceso propuesto de ultrasonido

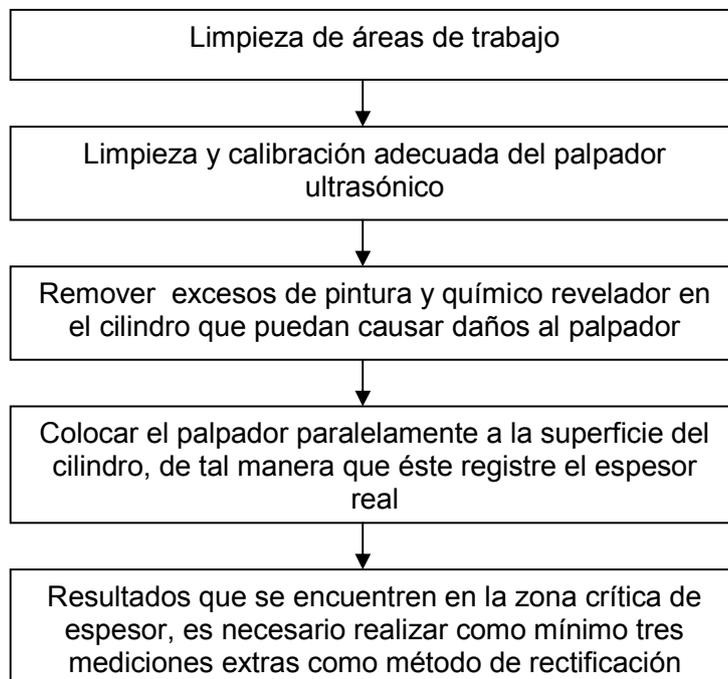
FECHA 25/JUN HOJA No 1/2	PROCESO: ULTRASONIDO PROPUESTO	C I C L O													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
OPERACIONES															
1	Inspección Visual y marcado.	0.27	0.25	0.28	0.23	0.20	0.18	0.18	0.17	0.20	0.17	0.20	0.17	0.20	0.17
2	Transporte cilindro	0.13	0.10	0.08	0.10	0.10	0.12	0.12	0.13	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.10
3	Limpieza del cilindro.	0.20	0.18	0.22	0.18	0.17	0.15	0.13	0.15	0.17	0.15	0.17	0.15	0.17	0.15
4	Registro y numeración.	0.25	0.22	0.23	0.20	0.17	0.18	0.20	0.22	0.25	0.32	0.25	0.32	0.25	0.32
5	Aplicación removedor de pintura	0.48	0.52	0.47	0.45	0.47	0.42	0.43	0.42	0.40	0.43	0.40	0.43	0.40	0.43
6	Espera a reacción.	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
7	Remoción de pintura.	0.28	0.27	0.27	0.23	0.28	0.25	0.27	0.23	0.28	0.30	0.28	0.30	0.28	0.30
8	Trans. cilindro area de inspec.	0.30	0.32	0.28	0.30	0.28	0.35	0.28	0.27	0.25	0.25	0.27	0.25	0.25	0.25
9	Aplic. Aceite acoplante.	0.25	0.20	0.22	0.23	0.25	0.23	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
10	Calibración.	0.25	0.22	0.25	0.23	0.27	0.25	0.22	0.20	0.22	0.28	0.23	0.28	0.23	0.28
11	Colocación palpador cas. sup.	0.08	0.12	0.10	0.08	0.10	0.08	0.13	0.12	0.13	0.10	0.13	0.10	0.13	0.10
12	Espera lectura fija	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05
13	Lectura y registro.	0.13	0.12	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10	0.08
14	Colocación palpador cas. inf.	0.17	0.13	0.13	0.12	0.15	0.13	0.12	0.15	0.17	0.12	0.15	0.12	0.17	0.12
15	Espera lectura fija	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05
16	Lectura y registro del espesor.	0.12	0.12	0.13	0.10	0.12	0.13	0.10	0.13	0.13	0.10	0.13	0.10	0.13	0.10

S I M	OPER	CICLO	ELEMENTOS EXTRAÑOS	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO	INICIO ESTUDIO	FINAL ESTUDIO	TIEMPO TOTAL
A	8	6	SE CERRO LA PUERTA AL TRANSPORTAR EL CILINDRO	C. D. = 91 %	9:40	11:40	2:00
B	4	10	EL NUMERO DEL CILINDRO NO ESTABA BIEN MARCADO				
C				RESUMEN TOLERANCIAS	OBSERVACIONES: SE UTILIZO UN HISOPO PARA		
D				RETARDO PERSONAL	4	APLICAR EL REMOVEDOR DE PINTURA, SERIA DE	
E				RETRASO INEVITABLE	1	MEJOR AYUDA UTILIZAR UN PINCEL.	
F				FATIGA	1		
G				TOLERANCIA TOTAL %	6	Tiempo estándar del proceso: 5.58min.	

4.2.1.5. Puesta en práctica

Para realizar el proceso de medición de espesor de lámina en los cilindros muestreados deben considerarse los siguientes factores :

Figura 32. Flujograma del proceso de medición ultrasónica



4.2.1.6. Recopilación y cómputo de datos

Con el fin contar con la capacidad de evaluar el nivel de certeza de los resultados obtenido de las mediciones de espesor, es necesario poseer una base de datos, La anotación directamente en el cuaderno de notas al realizar las mediciones es la manera más efectiva y práctica de recopilación de datos; a continuación se muestra una tabla de medición de espesores de lámina en cilindros de GLP.

Tabla XIII. Formato de toma de mediciones de espesor por ultrasonido

FECHA: 13/03/2003
Informe No. UBND-16

REPORTE DE MEDIDA DE ESPESORES

CLIENTE: GASEOSOS S.A. CAPACIDAD DE LOS CILINDROS: 25 lbs.
NORMA: CONTROL DE CALIDAD INTERNO PROCEDIMIENTO: ULTRASONIDO

No.	Número de cilindro	ESPESOR DE PARED (mm)		A/R
		SUPERIOR	INFERIOR	
41.	6617	2.20	2.19	A
42.	10182	2.20	2.20	A
43.	23211	2.21	2.21	A
44.	21881	2.19	2.18	A
45.	21908	2.20	2.20	A
46.	22928	2.20	2.20	A
47.	6535	1.92	1.94	R
48.	23309	2.18	2.18	A
49.	22941	2.20	2.20	A
50.	5992	2.20	2.20	A

A = ACEPTADO

R = RECHAZADO

El cómputo de los resultados obtenidos se realiza para luego proceder al cálculo de: el valor promedio de los datos obtenidos, la medición de espesor con el menor valor, la medición de espesor con el mayor valor, valores por debajo del espesor mínimo de aceptación, el rango de valores, y el desglose de los gráficos de control.

4.2.1.7. Selección de gráficos de control

Para el control de calidad de este proceso se ha seleccionado el gráfico por variables, ya que se ajusta a nuestro tipo de resultados.

Los pasos que se realizaron para obtener el gráfico de control son los siguientes:

1. Se tomó como lote de estudio, las mediciones de espesor por ultrasonido realizadas durante una semana de trabajo, las cuales fueron un total de ciento cincuenta mediciones.
2. Al obtener los datos de las ciento cincuenta mediciones, se organizaron diez grupos de quince mediciones de espesor, cada uno.
3. En cada grupo se tomaron cinco muestras aleatoriamente. Para determinar el tamaño de la muestra utilizamos la tabla *K* y la tabla *V* (ver anexo, tablas XXII y XXIV respectivamente) de letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D (Norma ABC), con un nivel de inspección III (riguroso).
4. La medición de espesor está inspeccionada en milímetros.

A continuación se encuentra la tabla XIV, en la que se observan los resultados muestreados por grupo de muestreo:

Tabla XIV. Tabla de resultados muestreados del proceso propuesto de ultrasonido

MUESTREO	1	2	3	4	5	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{R}}$
1.	2.20	2.22	2.21	2.18	2.19	2.20	0.04
2.	2.18	2.23	2.22	2.18	2.20	2.20	0.05
3.	2.21	2.24	2.21	2.20	2.20	2.21	0.04
4.	2.24	2.24	2.19	2.18	2.21	2.21	0.06
5.	2.21	2.22	2.18	2.16	2.20	2.19	0.06
6.	2.19	2.22	2.20	2.17	2.20	2.20	0.05
7.	2.21	2.23	2.20	2.17	2.18	2.20	0.06
8.	2.20	2.22	2.18	2.18	2.22	2.20	0.04
9.	2.22	2.22	2.21	2.17	2.19	2.20	0.05
10.	2.21	2.24	2.21	2.17	2.21	2.21	0.07
						22.02	0.52

4.2.1.8. Gráficos de control

Al tener los datos muestreados, se calculan la sumatoria de medias y la sumatoria de rangos, con estos valores se procede a obtener los límites para cada gráfico de control.

1. Cálculo de límites para el gráfico normal

Donde para un n igual a cinco, el factor d_2 es igual a 2.326, según B (ver tabla XXV) factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control.

$$\Sigma \bar{X} = 22.024 \quad \Sigma \bar{R} = 0.520$$

$$\bar{\bar{X}} = \Sigma \bar{X} / N = 22.024 / 10 = 2.202$$

$$\bar{\bar{R}} = \Sigma \bar{R} / N = 0.520 / 10 = 0.052$$

$$\sigma = \bar{\bar{R}} / d_2 = 0.052 / 2.326 = 0.02236$$

$$LSN = \bar{\bar{X}} + 3 \sigma = 2.202 + 3 (0.02236) = 2.27$$

$$LCN = \bar{\bar{X}} = 2.20$$

$$LIN = \bar{\bar{X}} - 3 \sigma = 2.202 - 3 (0.02236) = 2.13$$

2. Cálculo de límites para el gráfico de medias

Donde para un n igual a cinco, el factor A_2 es igual a 0.577, según B (tabla XXI), factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control.

$$\Sigma \bar{X} = 22.024$$

$$\Sigma \bar{R} = 0.520$$

$$\bar{\bar{X}} = \Sigma \bar{X} / N = 22.024 / 10 = 2.202$$

$$\bar{\bar{R}} = \Sigma \bar{R} / N = 0.520 / 10 = 0.052$$

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{\bar{R}} = 2.202 + 0.577 (0.052) = 2.23$$

$$LCC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} = 2.20$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{\bar{R}} = 2.202 - 0.577 (0.052) = 2.17$$

3. Cálculo de límites para el gráfico de rangos

Donde para un n igual a cinco, los factores D_4 es igual a 2.114 y D_3 es igual a 0, según B (tabla XXV).

$$LSC_{\bar{R}} = D_4 \bar{\bar{R}} = 2.114 (0.052) = 0.11$$

$$LCC_{\bar{R}} = \bar{\bar{R}} = 0.05$$

$$LIC_{\bar{R}} = D_3 \bar{\bar{R}} = 0 (0.052) = 0$$

Figura 33. Gráfico de control X del proceso propuesto de medición ultrasónica

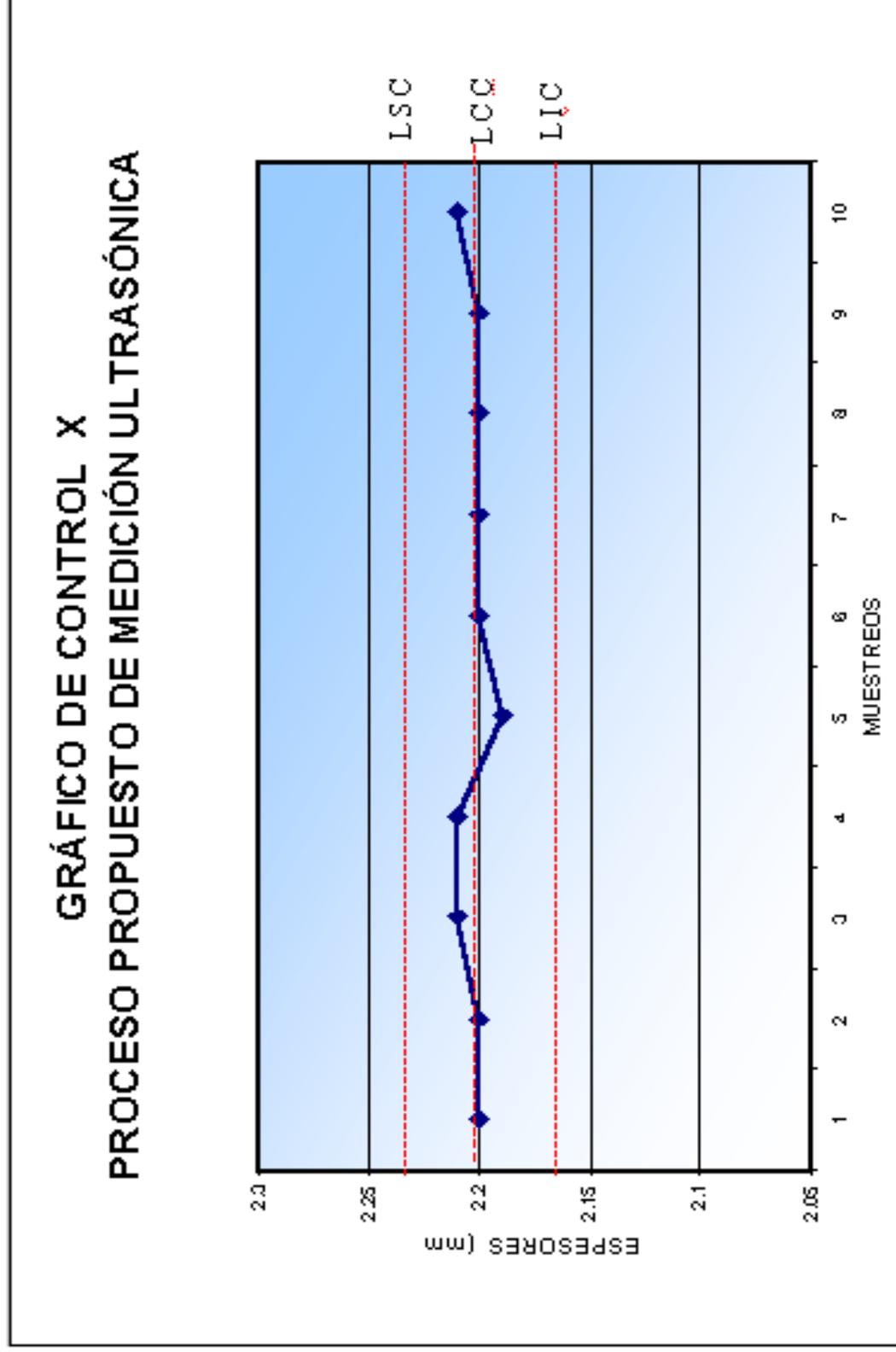


Figura 34. Gráfico de control R del proceso propuesto de medición ultrasónica

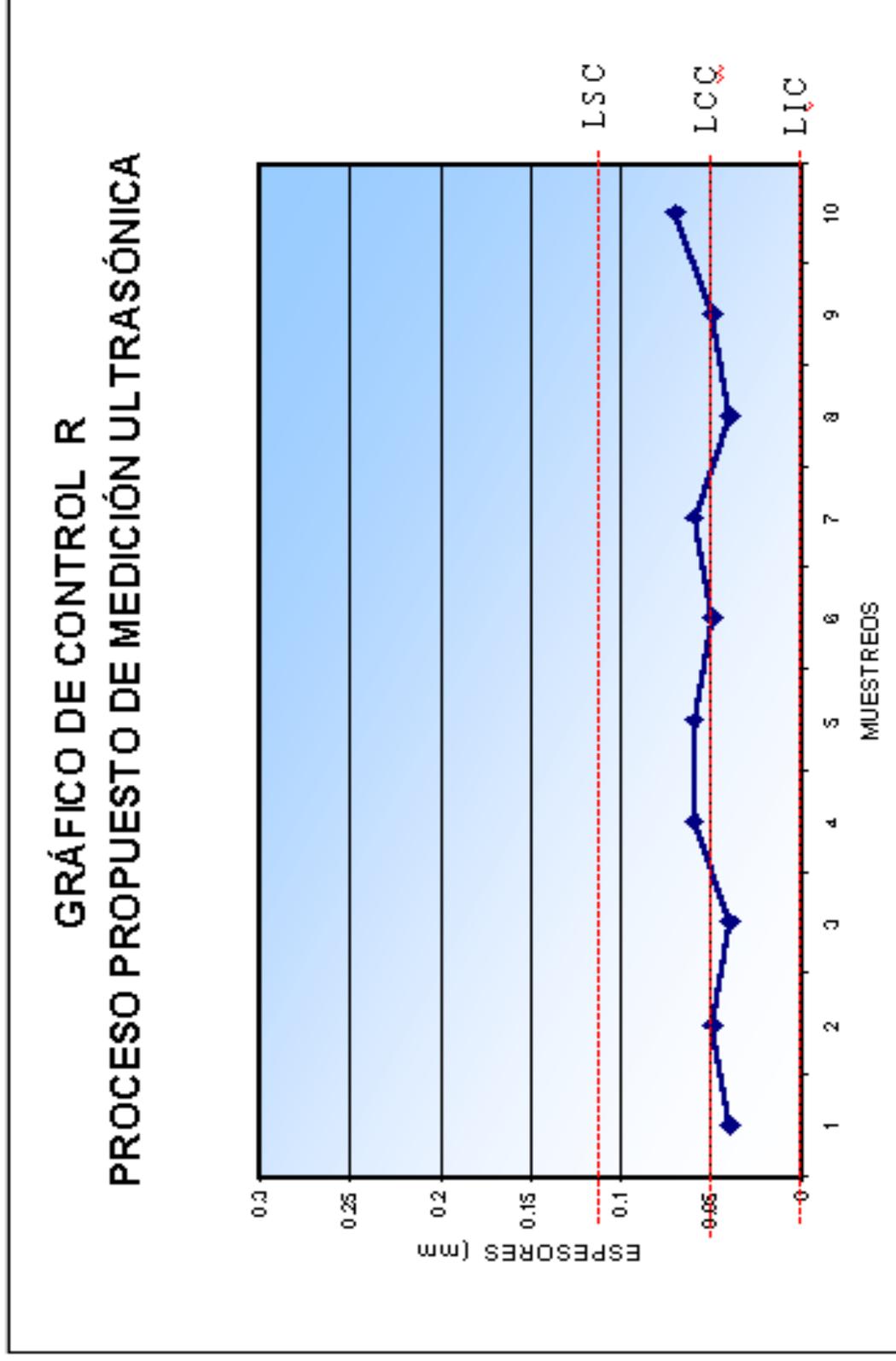
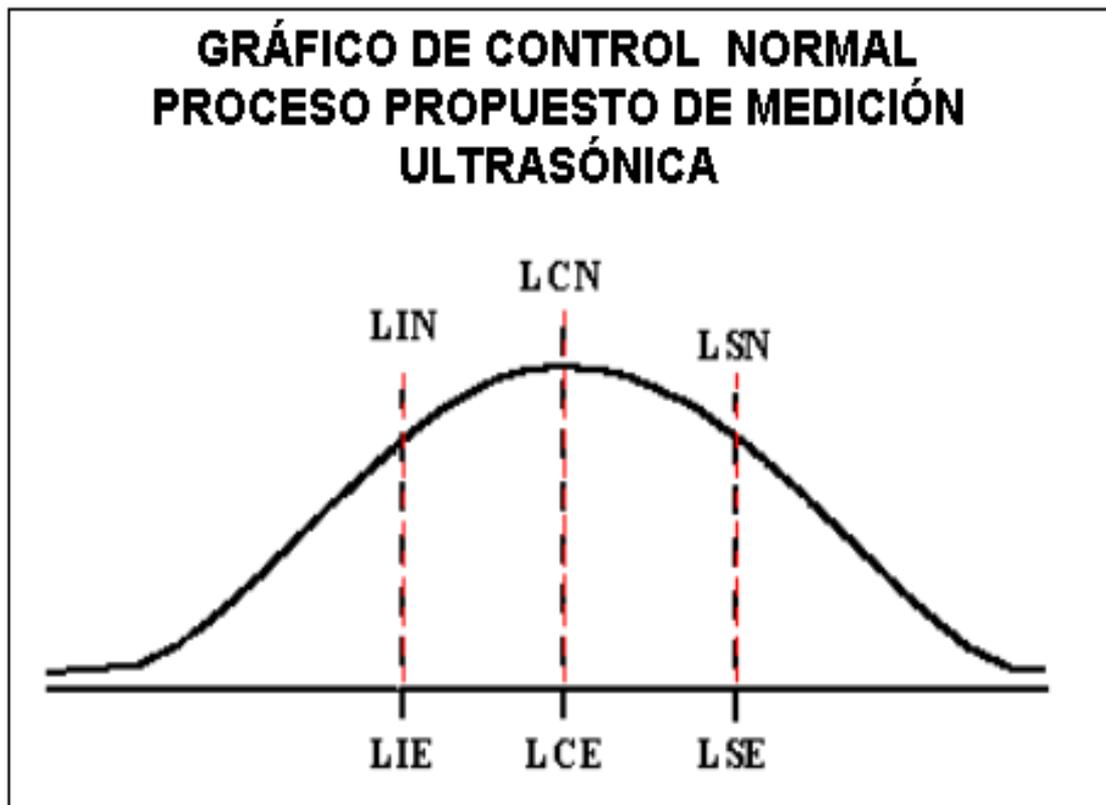


Figura 35. Gráfico de control normal del proceso propuesto de medición ultrasónica



4.2.1.9. Interpretación de los gráficos

1. Gráfico normal

El fabricante reporta como espesor de la lámina de los cilindros, 2.20 mm.

El laboratorio ha establecido como un margen de variación +/- 7 centésimas de milímetro en la medición del espesor de la lámina de los cilindros, por lo cual tenemos:

$$LSE = 2.27$$

$$LCE = 2.20$$

$$LIE = 2.13$$

A través de los cálculos se han obtenido los siguientes datos para los límites normales:

$$LSN = 2.27$$

$$LCN = 2.20$$

$$LIN = 2.13$$

- a) En la figura 35 observamos que el límite inferior normal, tiene el mismo valor numérico que el límite inferior estándar fijado por el laboratorio ($LIN = LIE = 2.13$), como resultado podemos interpretar que las mediciones de espesor obtenidas con este nuevo método, sí se encuentran por arriba de el LIE fijado por el laboratorio como un margen de variación aceptable.
- b) De la misma manera podemos interpretar la relación que existe entre el LSN y el LSE, estas dos constantes, al igual que los límites inferiores, coinciden entre sí, con un valor de 2.27 mm., lo que nos indica que los resultados obtenidos con este nuevo proceso de

medición, se encuentran comprendidos por debajo del límite superior fijado por el laboratorio.

- c) Todos los promedios de los resultados muestreados de este nuevo proceso de mediciones de espesor en lámina, se encuentran dentro de los límites de aceptación fijados por el laboratorio, lo que nos indica que el proceso propuesto se encuentra bajo control de calidad.
- d) El límite central normal coincide en valor con el límite central estándar, comprobando con ello el nivel de certeza de los resultados obtenidos mediante el desarrollo de este nuevo proceso de medición de espesor por ultrasonido.
- e) Al calcular el coeficiente CP podemos determinar que el proceso propuesto de medición de espesores por ultrasonido se encuentra bajo de control, sus resultados se encuentran dentro del margen de varianza aceptado por el laboratorio de ensayos no destructivos, por lo cual son confiablemente aceptados.

A continuación se presenta la fórmula de CP que al calcular nuestros valores en ella nos demuestra cómo éste coeficiente es mayor a 1, indicándonos con ello que los resultados obtenidos son aceptables.

$CP > 1 \Rightarrow$ ACEPTABLE

$$CP = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma} = \frac{2.27 - 2.13}{6 (0.02236)} = 1.044$$

$$1.044 > 1$$

2. Gráfico de medias

A través de los cálculos se han obtenido los siguientes datos para los límites de control de medias:

$$LSC = 2.23$$

$$LCC = 2.20$$

$$LIC = 2.17$$

- a) En el presente gráfico de control (figura 33) se puede notar cómo se ha acortado el campo de distribución de medias en comparación con el gráfico de medias del proceso actual, indicando con ello que los resultados muestreados del proceso propuesto son menos variables y por ende más confiables.
- b) Todos los datos de medias se encuentran dentro del área delimitada por los límites inferior y superior lo que indica que el proceso se encuentra bajo control.

3. Gráfico de rangos

En este gráfico (figura 34) podemos notar cuán dispersos se encuentran los resultados obtenidos.

$$LSC = 0.11$$

$$LCC = 0.05$$

$$LIC = 0$$

- a) Si el $LCC = 0.05$, los resultados mayor y menor muestreados, varían en promedio 5 centésimas uno de otro lo cual es sumamente aceptable en comparación con el margen de varianza aceptado por el laboratorio, siendo éste de 2×7 centésimas = 14 centésimas de rango.

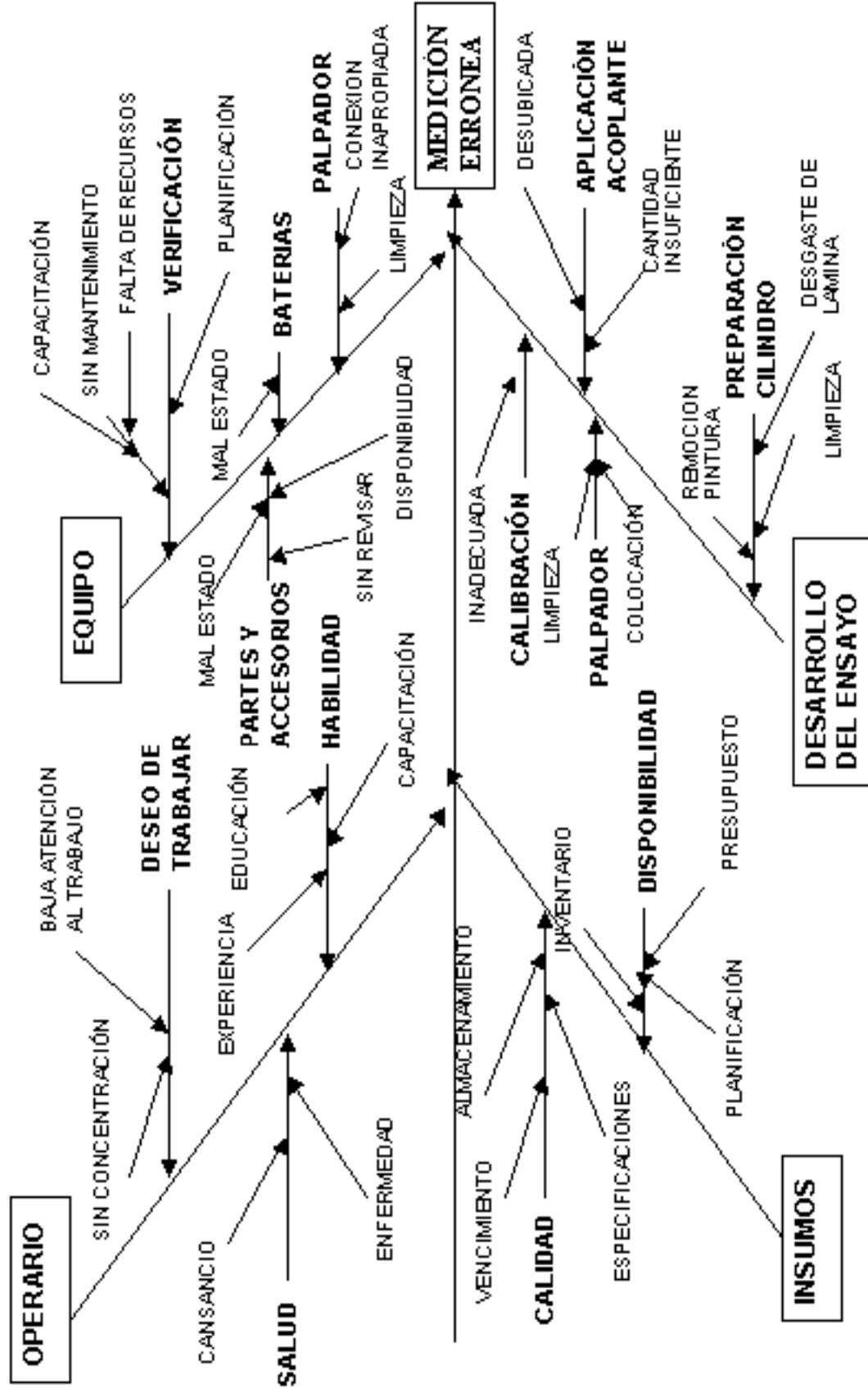
- b) Inclusive el $LSC = 0.11$ se encuentra, como valor, abajo del rango de aceptación por ser menor a las 14 centésimas de milímetro, lo cual demuestra que por más dispersos que se encuentren los resultados obtenidos, siempre se mantendrán dentro del rango de aceptación establecido por el laboratorio.

4.2.1.10. Factores críticos del proceso de ultrasonido

El proceso de medición de espesor de lámina en los cilindros cuenta con factores críticos los cuales se deben tener presentes, una inadecuada realización de éstos originará resultados de baja calidad y confiabilidad, a continuación se muestran dichos factores desglosados en un diagrama de causa y efecto (ver figura 36).

Figura 36. Diagrama de causa y efecto del proceso propuesto de medición de espesor por ultrasonido

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



4.2.1.11. Diseño y planificación del control de las inspecciones

Con el objetivo de mantener una calidad aceptable de los resultados del proceso de medición de espesor por ultrasonido, a continuación se presentan los lineamientos a seguir para la realización del control del proceso.

1. Se debe registrar en el libro de anotaciones todas las mediciones de espesor realizadas, la fecha y número del cilindro. Ver tabla XXII.
2. Luego de recopilar las mediciones de espesor, efectuar el cómputo de éstas, para que el programa realice los cálculos para el valor de medias y rangos.
3. Por cada ciento cincuenta mediciones realizadas, agrupar éstas en 10 grupos de 15 mediciones de espesor cada uno.
4. En cada grupo tomar cinco muestras aleatoriamente, y encontrar su valor promedio y su rango. Ver Tabla XIV.
5. Con los datos muestreados, las medias y los rangos calculados construir los gráficos de control normal, de medias y rangos.
6. Realizar la interpretación de los gráficos de control para determinar si el proceso se encuentra en control o no. Si se encuentran resultados no confiables del proceso, se debe establecer el origen de éstos, y corregir el o los procedimientos erróneos.

7. En cuanto a la planificación del presente control, ésta debe realizarse no en función del tiempo sino en función de la cantidad de mediciones realizadas, ya que la demanda de inspecciones es constante, pero no uniforme. Para fines de eficiencia y una mejor distribución de las actividades técnicas y administrativas del laboratorio se tiene establecido realizar un control de la calidad del proceso, cada ciento cincuenta mediciones de espesor.

4.2.1.12. Observaciones del proceso de medición ultrasónica

A continuación se presentan las observaciones necesarias a tomar en cuenta para lograr resultados satisfactorios en cuanto a la medición de espesor de lámina por ultrasonido se refiere:

- a) En el proceso propuesto de medición de espesor, al momento de desprender la pintura en la lámina de los cilindros, se utiliza la opción práctica de utilizar el químico removedor de pintura, el cual no merma espesor a la lámina, ayudando con ello a realizar una medición del espesor real, y a obtener resultados más confiables.
- b) Es de suma importancia utilizar el equipo de medición ultrasónica con baterías AA con una optima carga energética, de lo contrario las lecturas a obtener podrán ser erróneas.
- c) Se recomienda utilizar aceite acoplante con el objetivo de obtener lecturas reales del espesor de lámina.

- d) Todos los promedios de los resultados muestreados de este proceso propuesto de mediciones de espesor en lámina, se encuentran dentro de los límites de aceptación fijados por el laboratorio, lo que nos indica que el proceso propuesto se encuentra bajo control de calidad, y sus resultados son confiablemente aceptados.

- e) El límite central normal coincide en valor con el límite central estándar, comprobando con ello el nivel de certeza aceptable de los resultados obtenidos mediante el desarrollo de este proceso propuesto de medición de espesor por ultrasonido. (Ver figura 35)

4.2.2. Inspección por radiografía industrial

A través del desarrollo de la técnica de radiografía industrial es posible determinar defectos internos y superficiales en el cordón de soldadura, como también su ubicación y dimensión; a continuación se describen los elementos a considerar para una óptima estandarización de esta técnica.

4.2.2.1. Justificación de la estandarización del proceso

El fin de realizar el proceso de inspección radiográfica en cilindros de gas licuado de petróleo es determinar la calidad de la soldadura en éstos; y el efectuar una aceptable interpretación de las radiografías, depende de la calidad de la imagen alcanzada a través del desarrollo de un conjunto de procedimientos estandarizados.

El laboratorio de ensayos no destructivos tiene el objetivo de contar con un proceso estandarizado que garantice la confiabilidad de los productos alcanzados, que en este caso es la obtención de radiografías con una aceptable calidad de imagen, o por decir de otra manera, sin defectos.

4.2.2.2. Diseño de un nuevo proceso

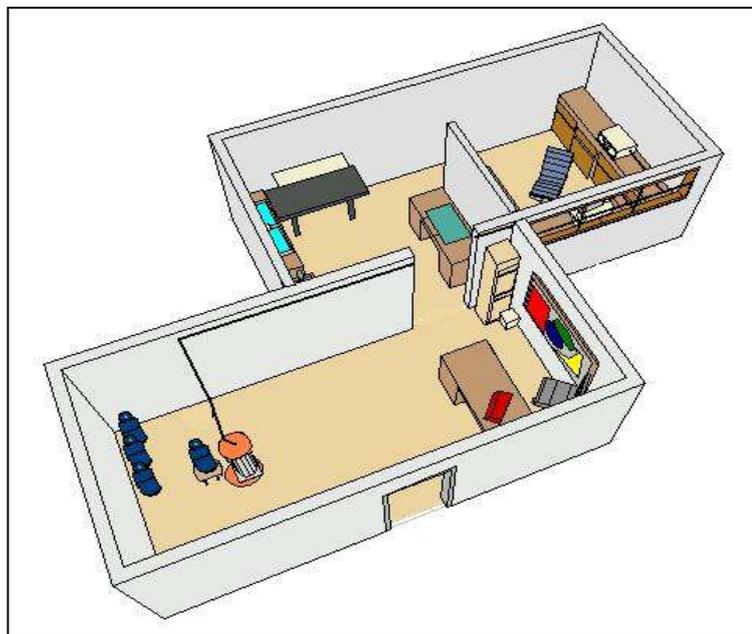
El nuevo proceso de inspección radiográfica, el cual se determinará proceso propuesto, está basado en la rectificación de procedimientos ya existentes y la implementación de otros nuevos. Esto se realiza con el objetivo de estandarizar este proceso y obtener resultados más confiables.

Entre los procedimientos que se contemplan como críticos dentro del proceso, ya que una buena o mala ejecución de ellos influye de manera radical en los resultados, podemos indicar los siguientes cambios o implementaciones:

- a) Realizar el calentamiento previo del tubo de rayos X, para que el flujo de irradiación se emita uniformemente.
- b) Para la adhesión de la funda sobre la superficie del cilindro inspeccionado se utilizará un cincho de sujeción, ya que éste es más práctico de utilizar y cumple de mejor manera su objetivo.
- c) En el procedimiento de revelado se utilizará un cronómetro con agujas fosforescentes, que indique a través de su alarma el inicio o finalización de una actividad, ayudando con ello que los tiempos de inmersión sean lo más preciso posible, y obtener una mejor calidad de la imagen en las radiografías.

- d) En el procedimiento de revelado, luego de extraer la película radiográfica del recipiente del químico revelador, se realizará un remojo de agua pura que ayude a eliminar los excesos del químico y no se mezclen en el recipiente del químico fijador, contaminándolo.

Figura 37. Plano isométrico de distribución propuesta del laboratorio



Para poder desarrollar este proceso de inspección radiográfica de una manera más práctica y eficiente, debemos utilizar accesorios y herramienta adecuada, las cuales mencionamos a continuación:

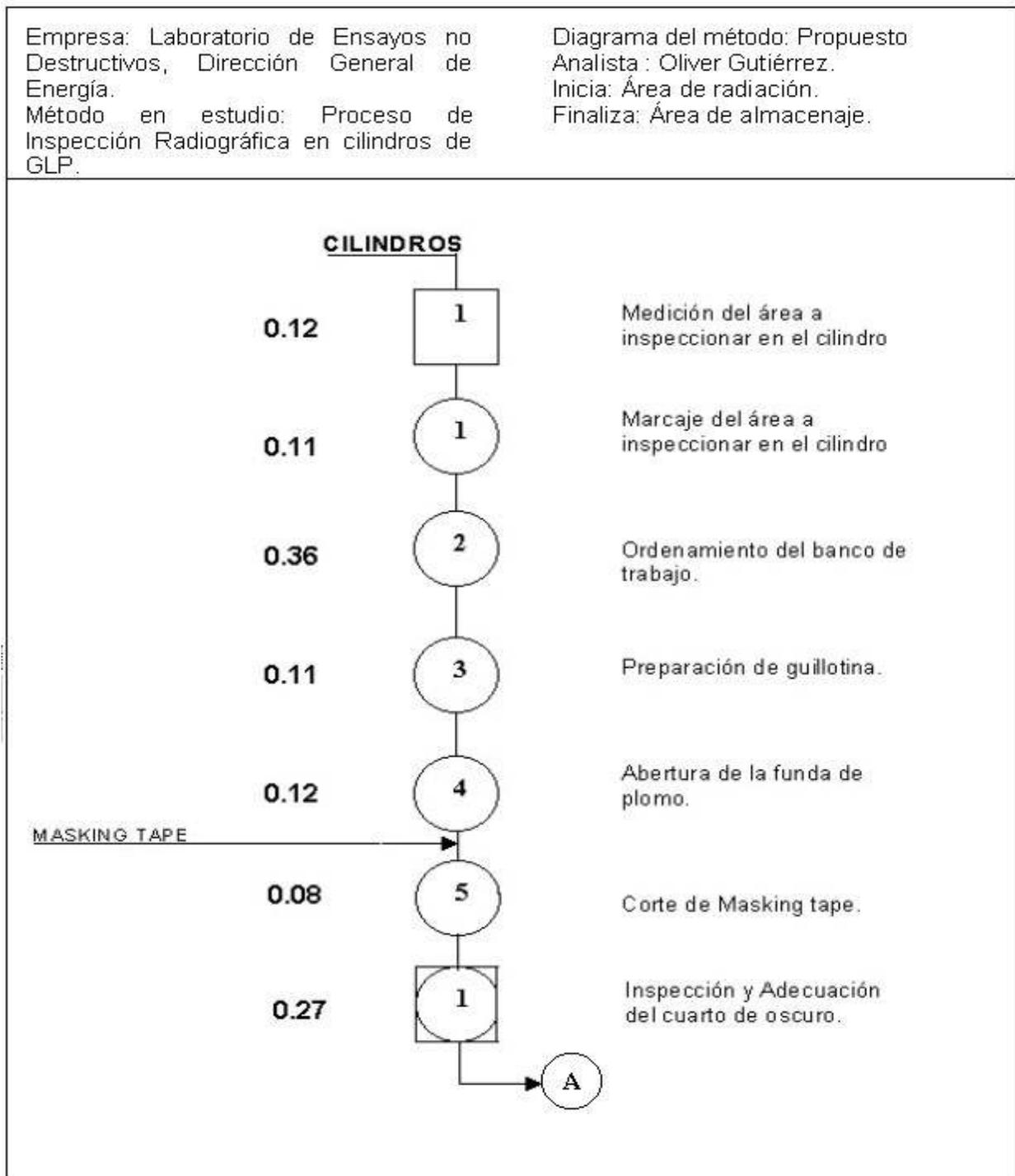
- Negoscopio marca SIRIO para lectura de películas de 70 mm
- Lámpara de seguridad para el cuarto de revelado marca *Bubblite*
- Pantallas intensificadoras de plomo HEXALON de 70 mm por 14”
- Fundas protectoras GAMMA INDUSTRIES de 70 mm X 14 plg.

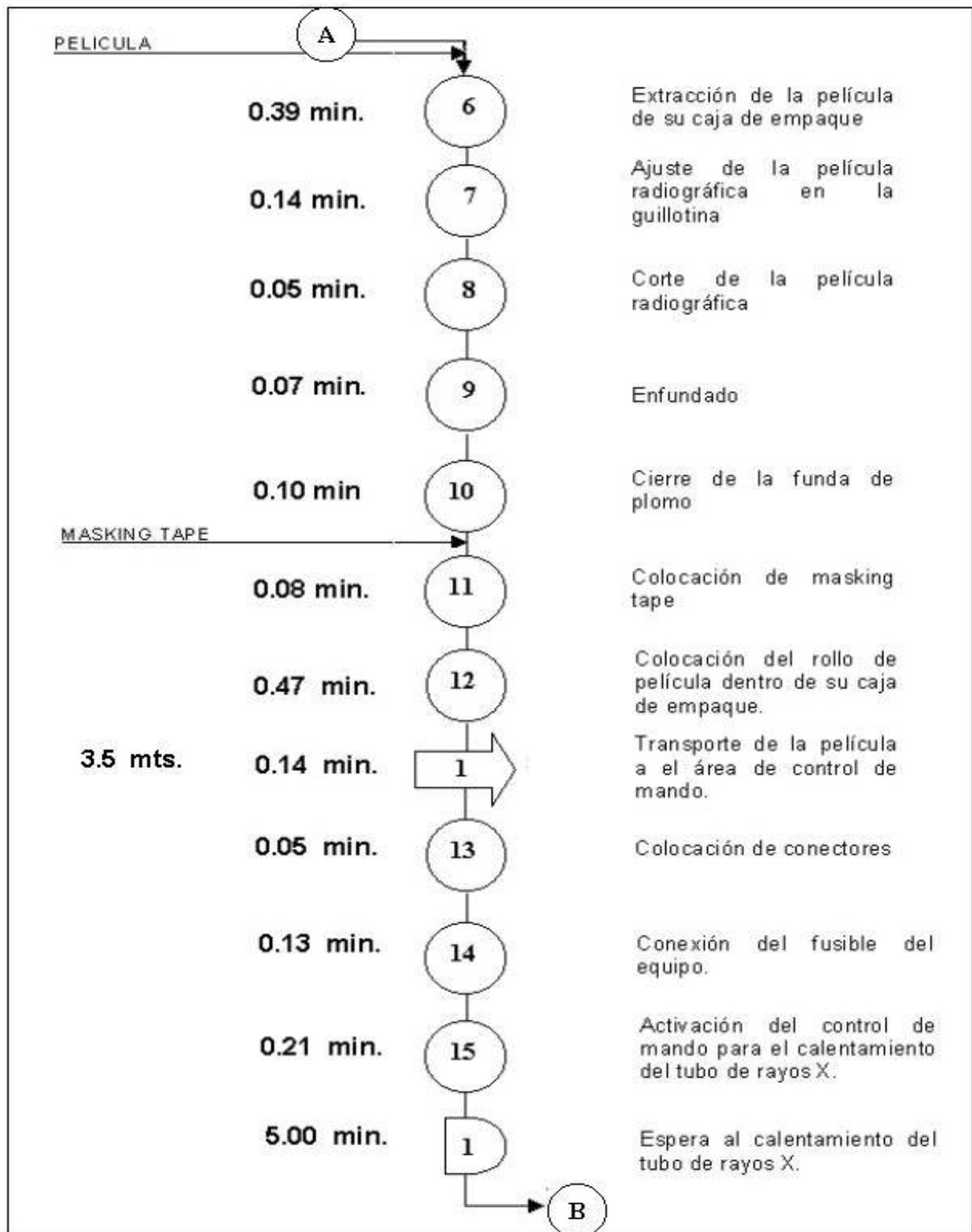
- Cronómetro con agujas fosforescentes, alarma de timbre marca SMITHS
- Cubetas plásticas de 5 galones para el revelado y fijado
- Guillotina de 45 por 45 cms, marca Boston
- Carretes para película de 70 mm marca KODAK
- Indicadores de calidad de imagen DIN 54109/62
- Juego de letras de plomo de 3/8"
- Dosímetro personal de película fotográfica
- Contador *Geiger Muller*, marca *TECHNICAL ASSOCIATES*
- Cincho de hule para la sujeción

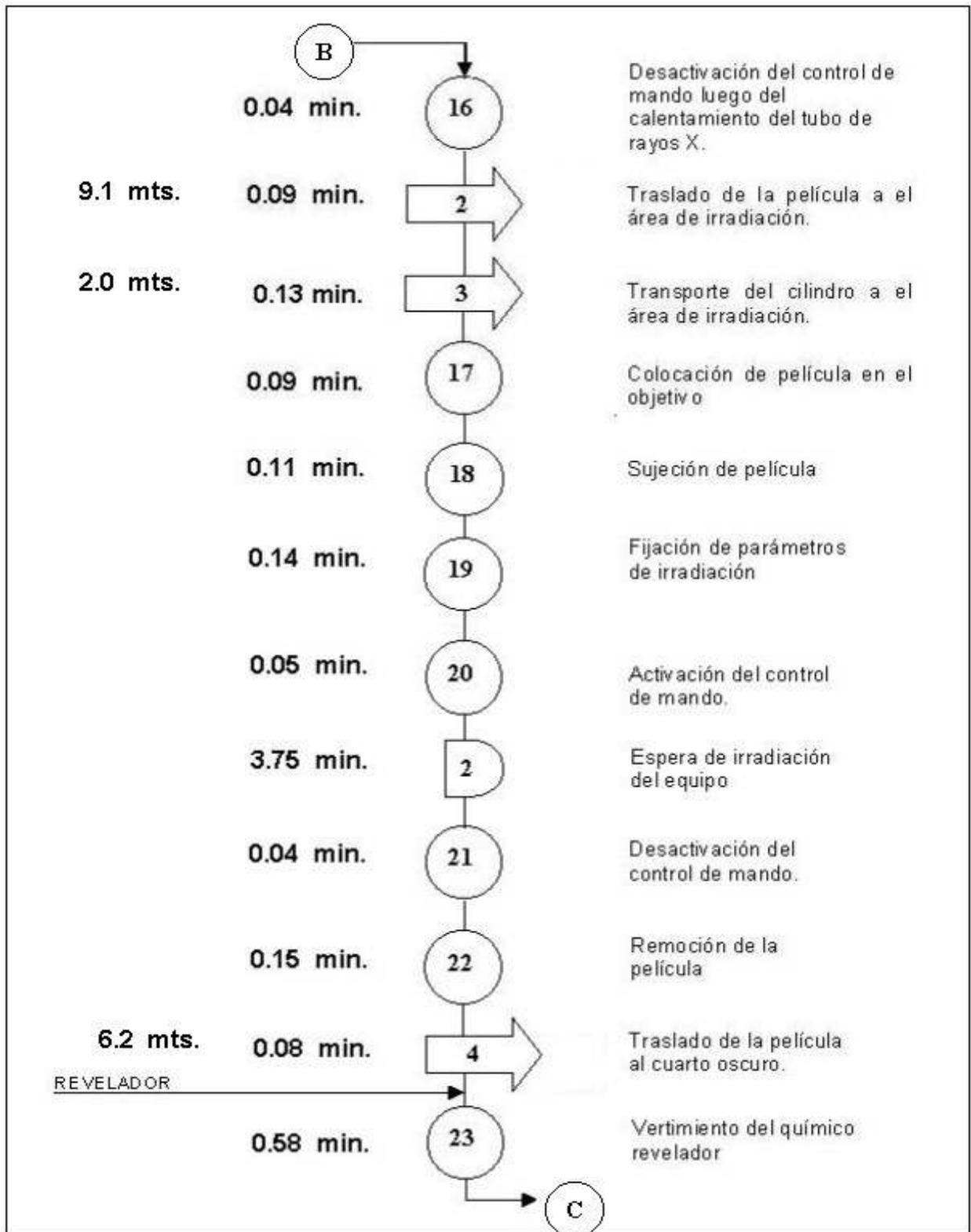
4.2.2.3. Diagramas del proceso propuesto

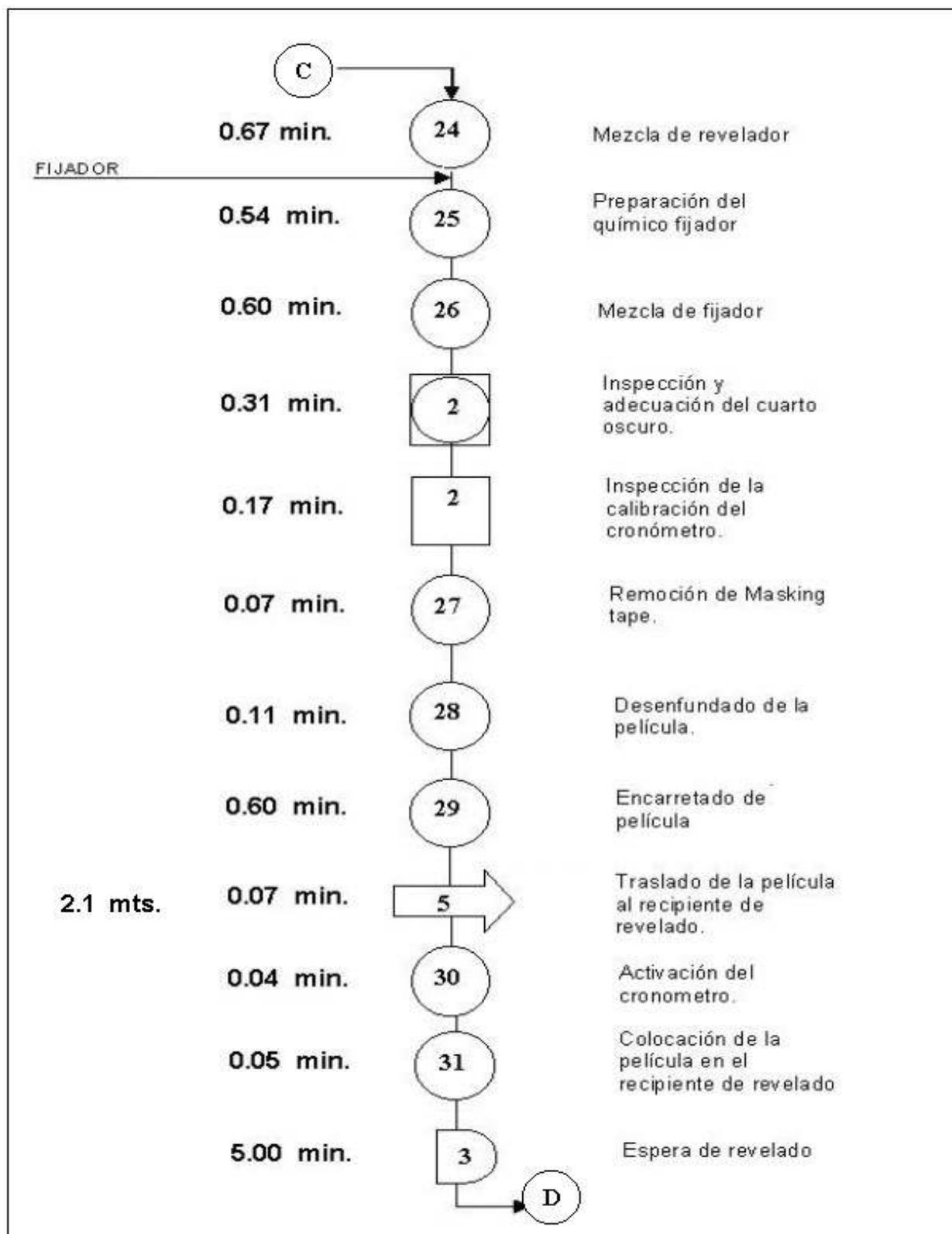
El objetivo de realizar una innovación en el proceso de inspección radiográfica es asegurar la calidad de la imagen en las radiografías, para obtener así una confiabilidad de los resultados. Para el logro de este fin se debe contar con un ordenamiento lógico de los procedimientos que componen dicho proceso, lo cual se encuentra planteado en el diagrama de flujo (ver figura 38), dando a conocer el tiempo estándar utilizado para desarrollar cada uno de los elementos.

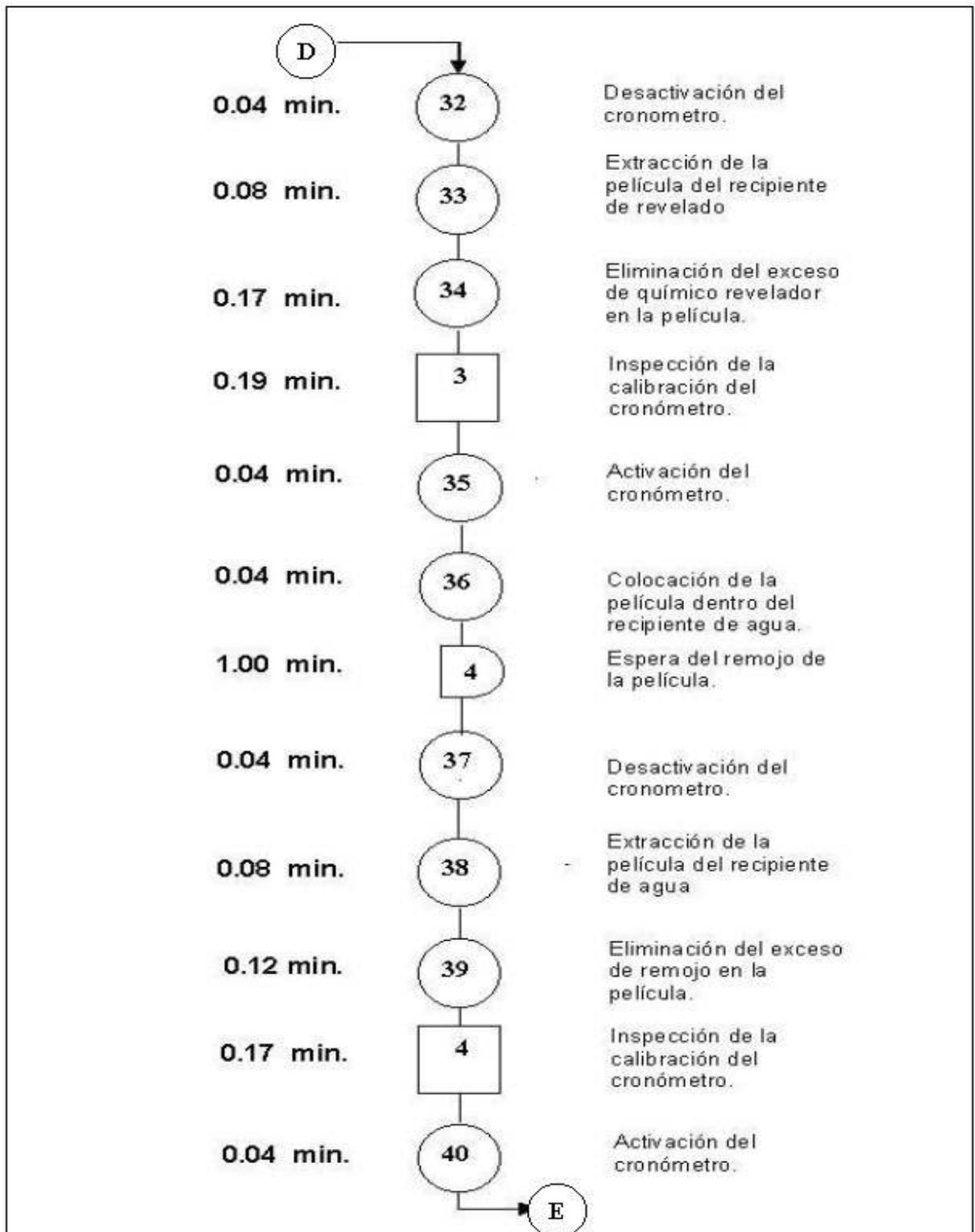
Figura 38. Diagrama de flujo del proceso propuesto de inspección radiográfica

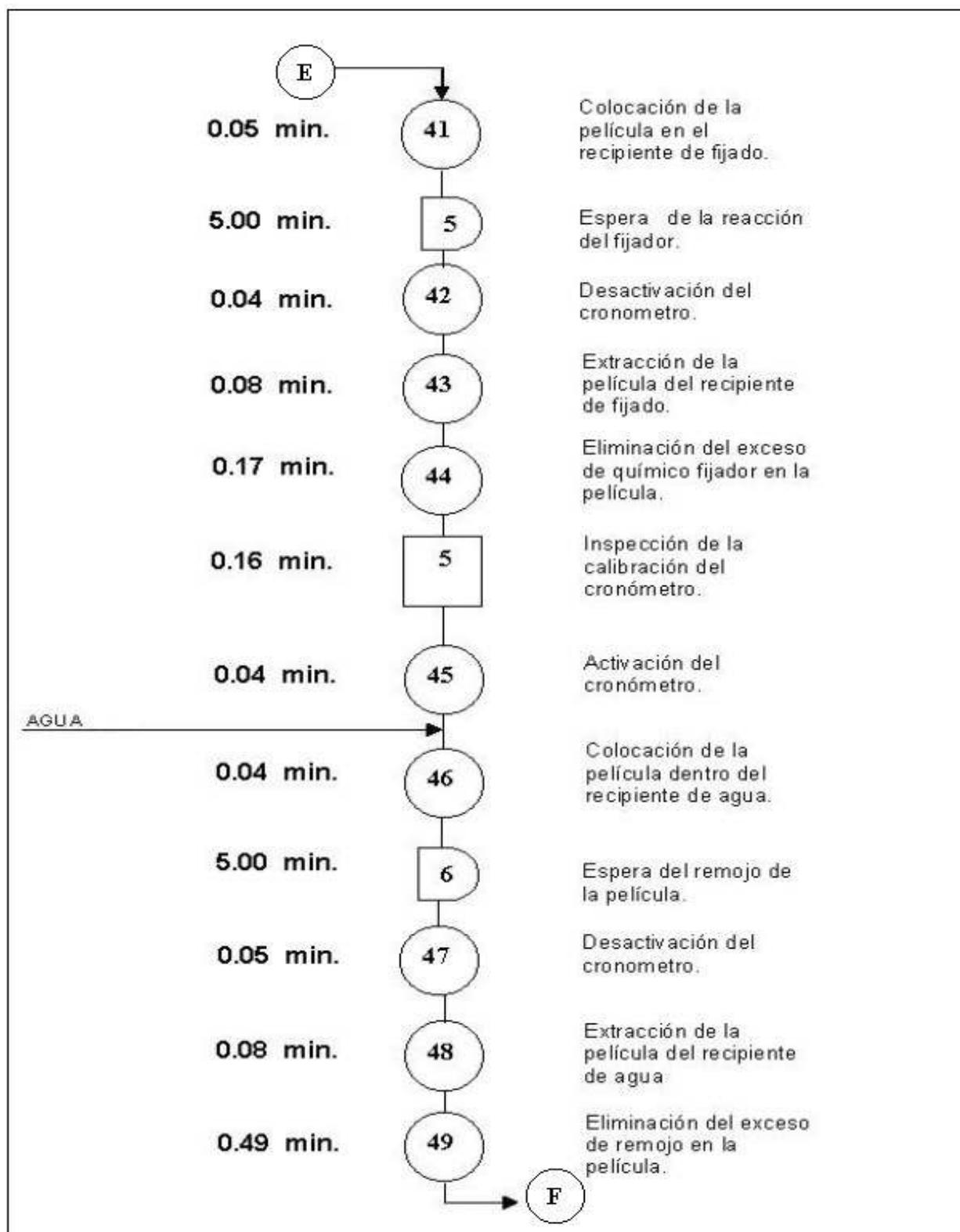


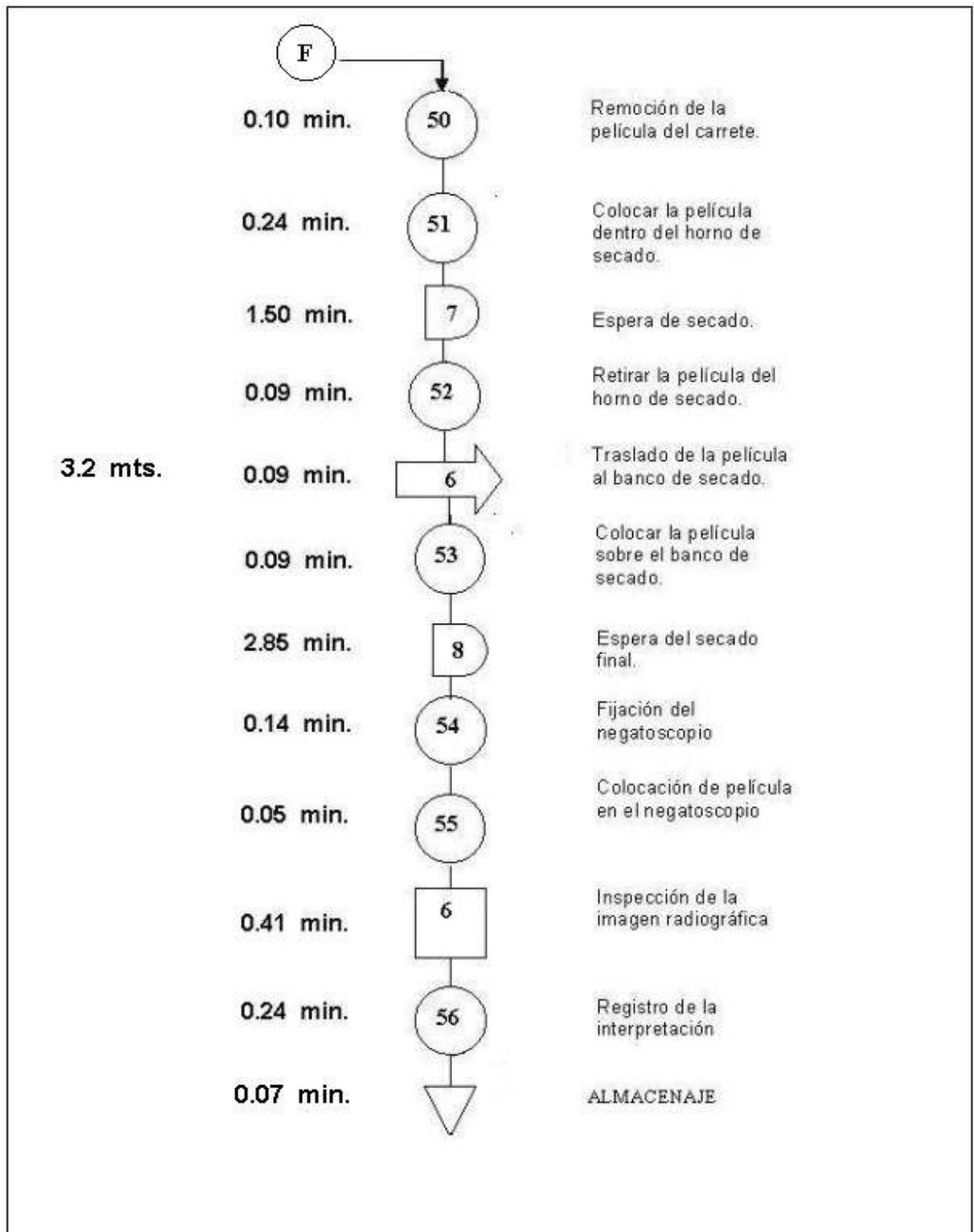








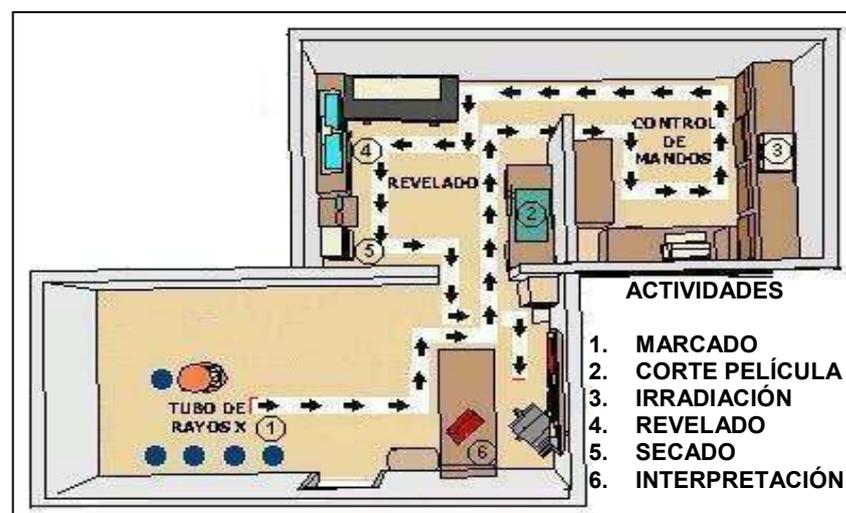




RESUMEN			
EVENTO	NÚMERO	TIEMPO (Min.)	DISTANCIA (Mts.)
OPERACIONES	56	9.44	
INSPECCIONES	6	1.22	
COMBINADAS	2	0.58	
TRANSPORTE	6	0.60	26.10
DEMORAS	8	29.10	
ALMACNAJE	1	0.07	
TOTAL	78	41.01	26.10

En el diagrama de recorrido del proceso (figura 39), podemos observar la distribución de las áreas de trabajo dentro del laboratorio, como también las líneas de flujo que indican el movimiento de la película radiográfica. Es de suma importancia realzar la habilitación del área de control de mando, ya que este ambiente brinda mejor protección al personal al momento de irradiar, dicha disponibilidad no existía en el proceso actual de inspección radiográfica.

Figura 39. Diagrama de recorrido del proceso propuesto de inspección radiográfica



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

4.2.2.4. Medición de tiempos

A continuación se desglosan los pasos seguidos para realizar la medición de tiempos del proceso propuesto de inspección radiográfica:

1. Se tomó el tiempo de la duración total del proceso, sin regresar a cero entre cada elemento registrado.
2. Se anotó en una tabla el tiempo exacto que registraba el cronómetro al momento de concluir el elemento en estudio. Dicha tabla se elaboró con el objeto de facilitar el registro de los datos observados, la cual se encuentra en la Tabla XV.
3. Se realizó el estudio de tiempos para diez ciclos de realización del presente proceso.
4. Se realizó la sumatoria y el promedio por separado, para cada elemento, de cada proceso.
5. Se utilizó un factor de multiplicación o porcentaje (factor de desempeño), el cual se determinó y estableció utilizando el Método de *Calificación por Velocidad*, y el apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.
6. Con el objetivo de tomar en cuenta los suplementos especiales involucrados dentro del proceso, como lo son las demoras inevitables, retrasos personales y la fatiga, se buscó representar éstos mediante un factor de multiplicación, el cual consiste en la suma de los tres factores representativos de los suplementos mencionados anteriormente. Dichos

factores fueron establecidos con el acuerdo y apoyo del asesor del Departamento de Asuntos Nucleares.

Las anotaciones de los cálculos mencionados anteriormente se presentan en la Tabla XV.

Tabla XV. Tabla de estudio de tiempos del proceso propuesto de radiografía

FECHA 3-4/TUL HOJA No 1/6	PROCESO: RADIOGRAFÍA PROPUESTO	C I C L O										RESUMEN								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TP.O. PROM. (T.P.)	CALIF. DESEM (C.D.)	T.P. X C.D.	% TOLER	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)		
1	Medición área a inspeccionar	0.13	0.15	0.12	0.10	0.12	0.13	0.12	0.10	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	10	0.12	0.87	0.10	1.12	0.12
2	Marcaje del área a inspeccionar en el cilindro	0.13	0.12	0.13	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	10	0.10	0.87	0.09	1.12	0.11	
3	Ordenamiento del banco de trabajo.	0.60	0.40	0.46	0.33	0.32	0.35	0.28	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	10	0.37	0.87	0.32	1.12	0.36	
4	Preparación de Guillotina	0.18	0.15	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	10	0.12	0.87	0.10	1.12	0.11	
5	Abertura de la funda de plomo.	0.20	0.13	0.12	0.10	0.12	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10	0.10	10	0.12	0.87	0.11	1.12	0.12	
6	Corte de Masking tape.	0.12	0.10	0.07	0.07	0.08	0.08	0.10	0.07	0.10	0.08	0.08	0.08	10	0.08	0.87	0.08	1.12	0.08	
7	Inspección y Adecuación del cuarto de oscuro.	0.45	0.35	0.22	0.25	0.23	0.22	0.20	0.28	0.37	0.23	0.23	0.23	10	0.28	0.87	0.24	1.12	0.27	
8	Extracción de la película de su caja de empaque	0.52	0.37	0.45	0.40	0.35	0.37	0.42	0.37	0.40	0.42	0.42	0.42	10	0.40	0.87	0.35	1.12	0.39	
9	Ajuste de la película radiográfica en la guillotina	0.13	0.13	0.12	0.10	0.15	0.25	0.15	0.13	0.15	0.13	0.13	0.13	10	0.15	0.87	0.13	1.12	0.14	
10	Corte de la película	0.05	0.07	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.07	0.05	0.07	0.07	0.07	10	0.05	0.87	0.04	1.12	0.05	
11	Enfundado	0.07	0.05	0.08	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	10	0.07	0.87	0.06	1.12	0.07	
12	Cierre de la funda de plomo	0.12	0.08	0.08	0.10	0.07	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	0.12	0.12	10	0.10	0.87	0.09	1.12	0.10	
13	Colocación de masking tape	0.08	0.10	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	10	0.08	0.87	0.07	1.12	0.08	

FECHA 3-4 JUL HOJA No 2/6	PROCESO: RADIOGRAFIA PROPUESTO	C I C L O										RESUMEN								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TPO. PROM. (T.P.)	CALIF. DESEMP (C.D.)	T.P. X C.D.	% TOLER.	TIEMPO. ASIGNADO (MIN.)		
OPERACIONES																				
14	Colocación del rollo de película dentro de su caja de empaque.	0.50	0.47	0.43	0.40	0.46	0.53	0.48	0.53	0.48	0.50			4.78	10	0.48	0.87	0.42	1.12	0.47
15	Transporte de la película a el área de control de mando.	0.08	0.10	0.08	0.13	0.17	0.15	0.18	0.17	0.20	0.13			1.40	10	0.14	0.87	0.12	1.12	0.14
16	Colocación de conectores	0.57	0.60	0.47	0.48	0.42	0.52	0.52	0.53	0.53	0.50			5.13	10	0.51	0.87	0.45	1.12	0.50
17	Conexión del fusible del equipo.	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.15	0.13	0.15			1.33	10	0.13	0.87	0.12	1.12	0.13
18	Activación del control de mando	0.28	0.22	0.25	0.20	0.20	0.22	0.20	0.22	0.20	0.18			2.17	10	0.22	0.87	0.19	1.12	0.21
19	Espera al calentamiento del tubo de rayos X.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00			50.00	10	5.00	1.00	5.00	1.00	5.00
20	Desactivación del control de mando.	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05			0.38	10	0.04	0.87	0.03	1.12	0.04
21	Traslado de la película	0.08	0.08	0.10	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.12	0.10			0.90	10	0.09	0.87	0.08	1.12	0.09
22	Transporte del cilindro	0.12	0.08	0.08	0.10	0.13	0.17	0.15	0.18	0.17	0.15			1.33	10	0.13	0.87	0.12	1.12	0.13
23	Colocación de película	0.17	0.13	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.10			0.95	10	0.10	0.87	0.08	1.12	0.09
24	Sujeción de película	0.13	0.15	0.08	0.10	0.10	0.12	0.10	0.13	0.13	0.12			1.17	10	0.12	0.87	0.10	1.12	0.11

FECHA 3-4/JUL HOJA No 3/6	PROCESO: RADIOGRAFIA PROPUESTO	C I C L O										RESUMEN									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TPO. PROC.M.	CALIF. DESEMP	T.P.X C.D.	% TOLER.	TIEMPO. ASIGNADO (MIN.)			
OPERACIONES																					
25	Fijación de parámetros	0.23	0.18	0.13	0.10	0.12	0.13	0.12	0.15	0.10	0.12				1.38	10	0.14	0.87	0.12	1.12	0.14
26	Activación del control	0.07	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05	0.07	0.03	0.05				0.48	10	0.05	0.87	0.04	1.12	0.05
27	Espera de irradiación	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75				37.50	10	3.75	1.00	3.75	1.00	3.75
28	Desactivación del control de mando.	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05				0.38	10	0.04	0.87	0.03	1.12	0.04
29	Remoción de la película	0.22	0.18	0.13	0.12	0.13	0.15	0.17	0.13	0.15	0.13				1.52	10	0.15	0.87	0.13	1.12	0.15
30	Traslado de la película al cuarto oscuro.	0.08	0.07	0.08	0.10	0.07	0.10	0.12	0.07	0.08	0.07				0.83	10	0.08	0.87	0.07	1.12	0.08
31	Vertimiento del químico revelador	0.63	0.60	0.68	0.50	0.53	0.58	0.57	0.65	0.62	0.58				5.95	10	0.60	0.87	0.52	1.12	0.58
32	Mezcla de revelador	0.73	0.68	0.67	0.70	0.67	0.63	0.60	0.70	0.73	0.75				6.87	10	0.69	0.87	0.60	1.12	0.67
33	Preparación del químico fijador	0.62	0.50	0.48	0.48	0.52	0.58	0.58	0.55	0.60	0.62				5.53	10	0.55	0.87	0.48	1.12	0.54
34	Mezcla de fijador	0.62	0.60	0.57	0.58	0.63	0.65	0.60	0.63	0.62	0.62				6.12	10	0.61	0.87	0.53	1.12	0.60
35	Adecuación del cuarto oscuro.	0.43	0.40	0.28	0.30	0.30	0.32	0.32	0.33	0.25	0.27				3.20	10	0.32	0.87	0.28	1.12	0.31
36	Calibración cronómetro.	0.23	0.20	0.15	0.13	0.13	0.15	0.17	0.20	0.18	0.18				1.73	10	0.17	0.87	0.15	1.12	0.17
37	Remoción de Masking tape.	0.12	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07	0.05	0.05	0.07	0.07				0.68	10	0.07	0.87	0.06	1.12	0.07
38	Desenfundado	0.13	0.13	0.12	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.12	0.13				1.07	10	0.11	0.87	0.09	1.12	0.11
39	Encarretado de película	0.70	0.68	0.58	0.60	0.62	0.57	0.57	0.55	0.65	0.67				6.18	10	0.62	0.87	0.54	1.12	0.60

FECHA 3-4/JUL HOJA No 4/6	PROCESO: RADIOGRAFIA PROPUESTO	C I C L O										RESUMEN								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	OBSER.	TPO. PROM.	CALIF. DESEMP	T.P. X C. D.	% TOLER.	TIEMPO. ASIGNADO (MIN.)		
OPERACIONES																				
40	Traslado de la película al recipiente de revelado.	0.10	0.07	0.08	0.07	0.05	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.73	10	0.07	0.87	0.06	1.12	0.07
41	Activación del cronómetro.	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.38	10	0.04	0.87	0.03	1.12	0.04
42	Colocación película revelado	0.05	0.05	0.03	0.03	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.50	10	0.05	0.87	0.04	1.12	0.05
43	Espera de revelado	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	50.00	10	5.00	1.00	1.00	5.00	1.00	5.00
44	Desactivación cronómetro.	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.38	10	0.04	0.87	0.03	1.12	0.04	
45	Extracción de la película del recipiente de revelado	0.08	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.78	10	0.08	0.87	0.07	1.12	0.08	
46	Eliminación del exceso	0.23	0.22	0.18	0.20	0.18	0.17	0.15	0.17	0.15	0.13	0.13	1.78	10	0.18	0.87	0.16	1.12	0.17	
47	Calibración cronómetro.	0.23	0.20	0.22	0.17	0.15	0.17	0.22	0.18	0.22	0.18	0.18	1.93	10	0.19	0.87	0.17	1.12	0.19	
48	Activación del cronómetro.	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.38	10	0.04	0.87	0.03	1.12	0.04	
49	Colocación película agua.	0.05	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.40	10	0.04	0.87	0.04	1.12	0.04	
50	Espera remojo película.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	10.00	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
51	Desactivación cronómetro.	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.40	10	0.04	0.87	0.04	1.12	0.04	
52	Extracción de la película del recipiente de agua	0.12	0.10	0.08	0.10	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.83	10	0.08	0.87	0.07	1.12	0.08	
53	Eliminación exceso.	0.17	0.13	0.12	0.17	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	1.23	10	0.12	0.87	0.11	1.12	1.12	0.12	
54	Calibración cronómetro.	0.23	0.18	0.17	0.15	0.17	0.18	0.18	0.15	0.20	0.17	1.78	10	0.18	0.87	0.16	1.12	1.12	0.17	

FECHA 3-4/JUL HOJA No 5/6	PROCESO: RADIOGRAFIA PROPUESTO	C I C L O											RESUMEN							
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTALES	OBSER.	TPO. PROM.	CALIF. DESEMPEÑO	J.P. X C.D.	% TOLER.	TIEMPO ASIGNADO (MIN.)		
OPERACIONES																				
55	Activación del cronómetro.	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	10	0.04	0.87	0.04	1.12	0.04
56	Colocación de la película en el recipiente de fijado.	0.05	0.07	0.07	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	10	0.05	0.87	0.04	1.12	0.05
57	Espera del fijador.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10	5.00	1.00	5.00	1.00	5.00
58	Desactivación cronómetro.	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	10	0.04	0.87	0.04	1.12	0.04
59	Extracción de la película del recipiente de fijado.	0.12	0.10	0.12	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	10	0.09	0.87	0.07	1.12	0.08
60	Eliminación exceso	0.23	0.22	0.18	0.20	0.13	0.15	0.17	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	10	0.17	0.87	0.15	1.12	0.17
61	Calibración cronómetro.	0.22	0.22	0.17	0.15	0.13	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.17	0.17	0.17	10	0.16	0.87	0.14	1.12	0.16
62	Activación del cronómetro.	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	10	0.04	0.87	0.04	1.12	0.04
63	Colocación de la película dentro del recipiente de agua.	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	10	0.04	0.87	0.03	1.12	0.04
64	Espera remojo	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10	5.00	1.00	5.00	1.00	5.00
65	Desactivación cronómetro.	0.03	0.05	0.03	0.07	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.08	0.08	10	0.05	0.87	0.04	1.12	0.05
66	Extracción de la película del recipiente de agua	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.05	0.10	0.08	0.07	0.10	0.08	0.07	0.10	10	0.08	0.87	0.07	1.12	0.08
67	Eliminación exceso	0.62	0.57	0.58	0.50	0.43	0.45	0.52	0.45	0.47	0.43	0.47	0.43	0.43	10	0.50	0.87	0.44	1.12	0.49
68	Remoción de la película del carrete.	0.15	0.13	0.12	0.08	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	10	0.11	0.87	0.09	1.12	0.10

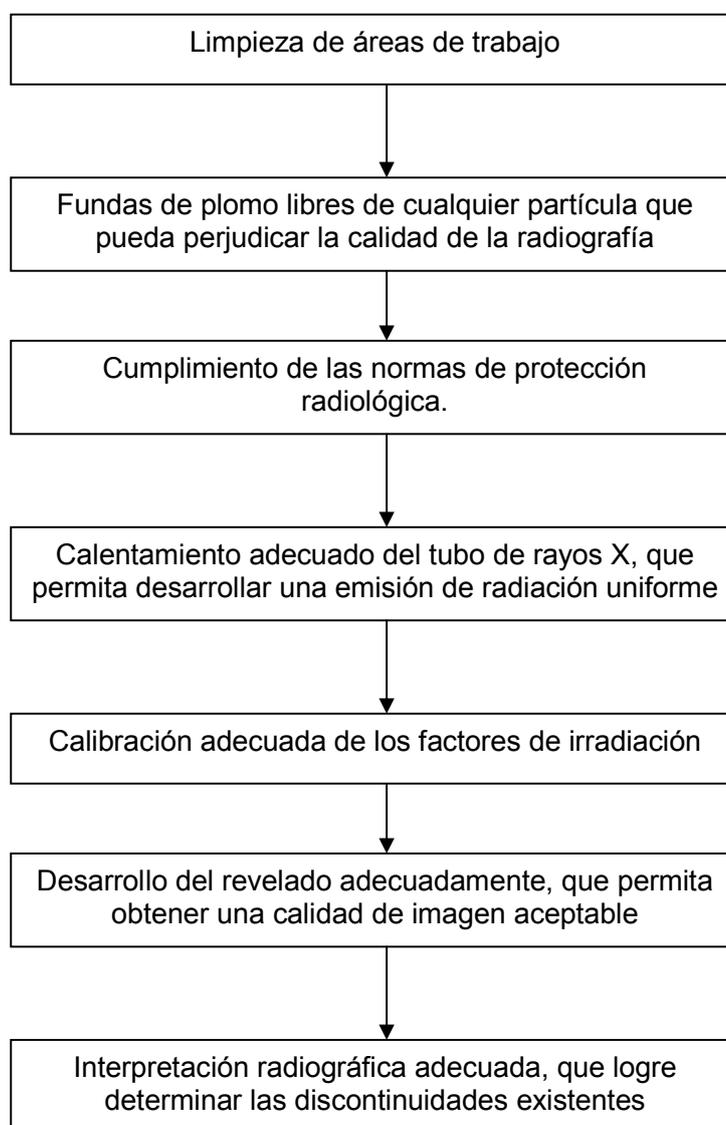
FECHA 3-4/JUL HOJA No 6/6	PROCESO: RADIOGRAFÍA PROPUESTO	C I C L O										RESUMEN							
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	TOTALES	OBSE- R.	TPO. PROM.	CALIF. DESEM	T.P. X C.D.	% TOLER	TIEMPO ASIGNADO (MIN)	
OPERACIONES																			
69	Colocar la película dentro del horno de secado.	0.32	0.28	0.23	0.22	0.23	0.25	0.25	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	1.12	0.24
70	Espera de secado.	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.50
71	Retirar película del horno	0.10	0.08	0.07	0.10	0.07	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12	0.08	0.08	1.12	0.09
72	Traslado de la película al banco de secado.	0.08	0.07	0.08	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	1.12	0.09
73	Colocar película banco	0.10	0.10	0.07	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	1.12	0.09
74	Espera del secado final.	3.12	3.10	3.00	2.92	2.93	2.90	2.83	2.75	2.82	2.82	2.85	2.85	2.85	2.85	2.82	2.54	1.12	2.85
75	Fijación del negatoscopio	0.18	0.17	0.13	0.13	0.13	0.15	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	1.12	0.14
76	Colocación de película en el negatoscopio	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.03	0.06	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	1.12	0.05
77	Interpretación radiográfica	0.62	0.52	0.45	0.40	0.37	0.45	0.35	0.32	0.40	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.37	0.37	1.12	0.41
78	Registro interpretación	0.35	0.32	0.28	0.25	0.18	0.20	0.20	0.18	0.28	0.28	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	1.12	0.24

S I M	OPER	CICLO	DESCRIPCION	CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO	INICIO ESTUDIO	FINAL ESTUDIO	TIEMPO TOTAL
A	3	1	SE CAYO LA BASE DEL MASKING TAPE	C. D. = 87 %	3/JUL 9:12	12:52	7:16
B	7	9	SE OLVIDO METER LA CAJA DE PELICULA		4/JUL 9:10	12:46	
C	9	6	SE CALLERON LAS FUNDAS EN EL CUARTO OSCURO	RESUMEN TOLERANCIAS	OBSERVACIONES:		
D				RETARDO PERSONAL	EL CINCHO DE SUJECION DE LAS PELICULAS SE UTILIZO		
E				RETRASO INEVITABLE	DEMASIADO AJUSTADO		
F				FATIGA			
G				TOLERANCIA TOTAL	TIEMPO ESTÁNDAR DEL PROCESO = 40.94 min.		

4.2.2.5. Puesta en práctica

Para realizar el proceso de inspección radiográfica en el cordón de soldadura de los cilindros muestreados deben de considerarse los factores mostrados en el siguiente flujograma:

Figura 40. Flujograma del proceso de inspección radiográfica



4.2.2.6. Recopilación y cómputo de datos

Con el objetivo de contar con la capacidad de evaluar la calidad de imagen obtenida de las radiografías, es necesario poseer una base de datos, para la recopilación de datos se cuenta con una tabla en la cual se anotará información como el código de la radiografía muestreada, y sus defectos.

A continuación se muestra la tabla XVI, para la evaluación de la calidad de imagen en las radiografías, según los defectos originados del proceso de inspección.

Tabla XVI. Tabla de evaluación de defectos del proceso de radiografía

EVALUACIÓN DE DEFECTOS RADIOGRÁFICOS											
CLIENTE: GASEOSO S.A.					EQUIPO: Tubo de Rayos X <u>Gilardoni</u>						
CAPACIDAD: 25 <u>Lbs.</u>					NORMA: CONTROL DE CALIDAD INTERNO						
No.	RADIOGRAFÍA NUMERO	DEFECTOS								A/R	
		BI	AI	SI	EI	RR	RF	QC	SI		
41.	621	X								X	A
42.	622		X	X	X	X				X	R
43.	623									X	A
44.	624									X	A
45.	625									X	R
46.	626										A
47.	627		X								A
48.	628										A
49.	629										A
50.	630										A

BI = BAJA IRRADIACIÓN AI = ALTA IRRADIACIÓN SI = SUJECIÓN INADECUADA EI = ENFUNDADO INADECUADO RR = RESTOS DE REVELADOR	RF = RESTOS DE FIJADOR QC = QUIMICO CONTAMINADO SI = SECADO INADECUADO A = APROBADO R = RECHAZADO
--	--

El cómputo de los resultados obtenidos se realiza luego de haber determinado la deficiencia a la que éstos pertenecen, para luego proceder al cálculo de: el valor promedio de la cantidad de defectos radiográficos encontrados en las radiografías muestreadas, los límites necesarios para el desglose de los gráficos de control, y los resultados que se encuentren fuera de control.

4.2.2.7. Selección de gráficos de control

Para el control de calidad de este proceso, se ha escogido el gráfico tipo “C”, el cual es más adaptable y conveniente a utilizar, ya que los resultados, en este caso las películas radiográficas, pueden contar con uno o más defectos.

Los pasos que se realizaron para obtener el gráfico de control son los siguientes:

1. Se tomó como lote de estudio, las inspecciones por radiografía industrial realizadas durante una semana de trabajo, que fueron un total de doscientas inspecciones.
2. Al obtener los datos de las doscientas inspecciones, se organizaron en cinco grupos de cuarenta inspecciones, cada uno.
3. En cada grupo se tomaron trece muestras aleatoriamente. Para determinar el tamaño de la muestra se utiliza la tabla *K* y la tabla *V* (ver anexo, tablas XXIII y XXIV respectivamente) de letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D (Norma ABC), con un nivel de inspección III (riguroso).

4. Se obtuvo las sesenta y cinco inspecciones tomadas aleatoriamente, (cinco grupos por trece muestras cada uno).
5. Se analizaron cada una de las muestras, y se determinó cuál de ellas contaban con uno o más defectos (ver tabla XVII).

A continuación se muestran los defectos propios del proceso, encontrados en las películas radiográficas (ver tabla XVII).

Tabla XVII. Tabla de defectos encontrados en el proceso de inspección radiográfica

MUESTREO	NÚMERO DE DEFECTOS
1	1
2	1
3	2
4	0
5	1

4.2.2.8. Gráficos de control

Una vez teniendo los datos muestreados, se calcula el valor de "C", y se procede a obtener los límites para el gráfico de control.

- **Cálculo de los límites para el gráfico de control**

Donde:

m = número de muestras Σ def. = sumatoria de defectos

$$\bar{C} = \Sigma \text{ def.} / m = 5 / 5 = 1$$

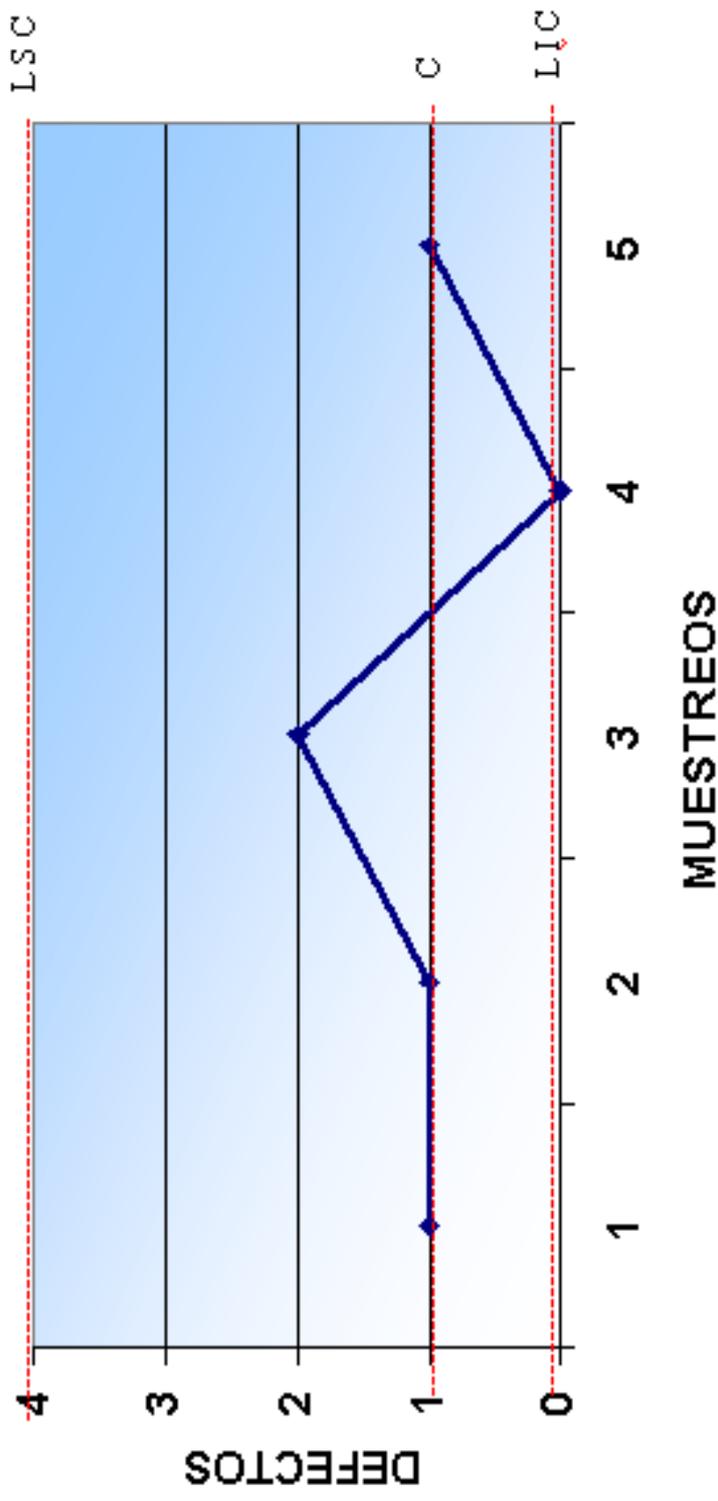
$$\text{LSC} = \bar{C} + 3 \sqrt{\bar{C}} = 1 + 3 (1) = 4$$

$$\text{LCC} = \bar{C} = 1$$

$$\text{LIC} = \bar{C} - 3 \sqrt{\bar{C}} = 1 - 3 (1) = -2.00 \simeq 0$$

Figura 41. Gráfico de control C del proceso propuesto de inspección radiográfica

- Se realizaron 200 inspecciones
- 5 grupos de 40 inspecciones cada uno
- En cada grupo se tomaron 13 muestras aleatoriamente, según el nivel de inspección rigurosa de las tablas de control de calidad
- El estudio se realizó por medio del control de atributos según el gráfico C



4.2.2.9. Interpretación de los gráficos

A través de nuestros cálculos hemos obtenido los siguientes datos para los límites de control por defectos :

$$LSC = 4$$

$$LCC = 1$$

$$LIC = 0$$

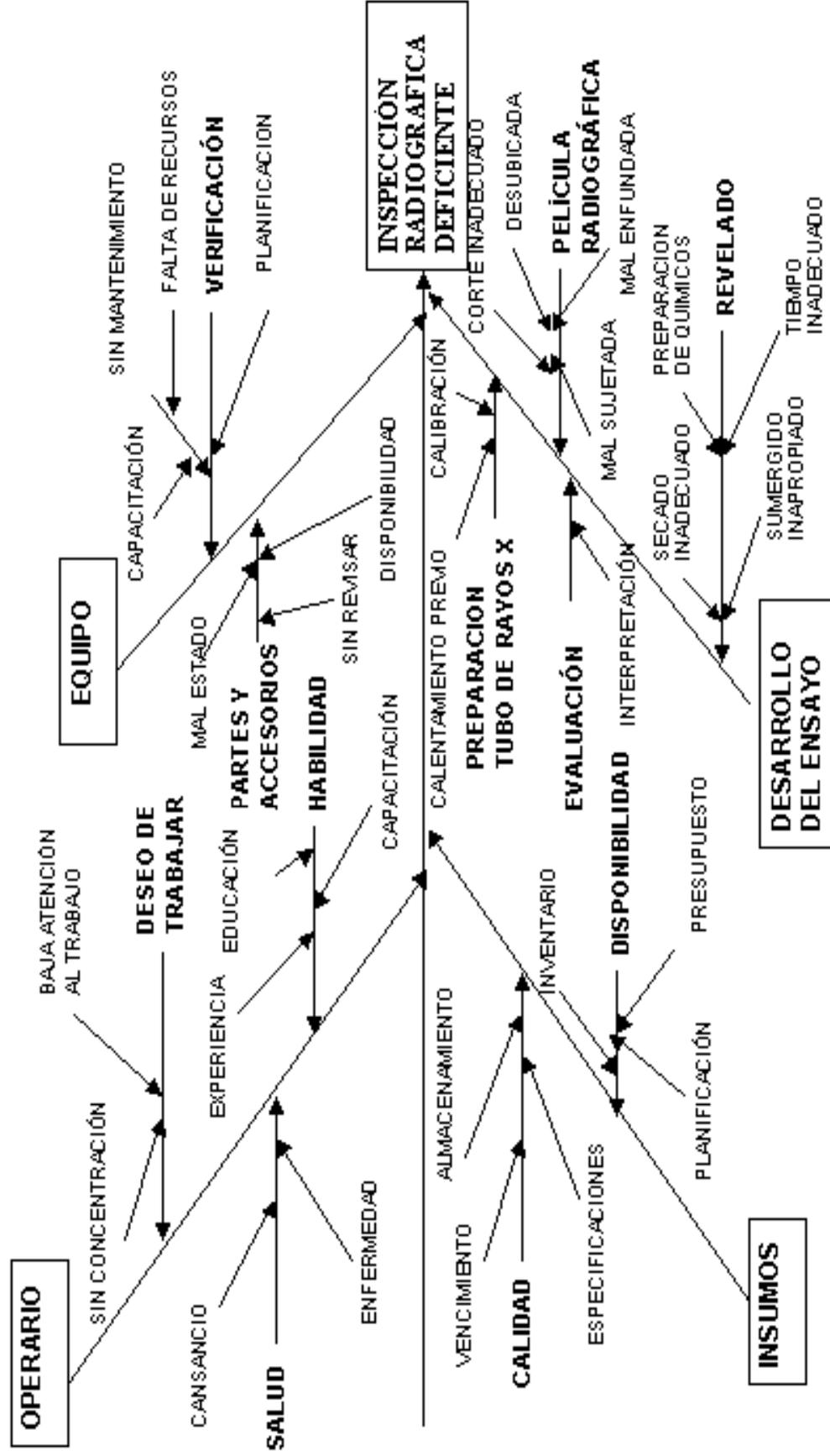
- a) Como se puede observar en el gráfico de control (figura 41), el campo de defectos se encuentra delimitado por el $LSC = 4$, indicando con ello que el proceso se encuentra bajo control, aún cuando existan 4 defectos en un lote de 40 radiografías. Aunque es muy importante observar que de los resultados muestreados existe como promedio sólo un defecto de un lote de 40 radiografías.
- b) Como dato del muestreo, se puede observar en la gráfica que se ubicaron como máximo 2 defectos en las 40 radiografías del muestreo número 3, estos defectos se deben a dos radiografías que se unieron por accidente dentro del horno en la etapa de secado.
- c) En este proceso es notorio que se ha reducido el área de defectos, ya que se cuenta con un $LSC = 4$, y el $LCC = 1$, en comparación con el método actual de inspección donde se tenían como límites LSC y LCC , los valores 8 y 3 respectivamente, lo que indica que se ha reducido la probabilidad de existencia de defectos en las radiografías como producto final, y por ende mejorar la calidad y brindar una mayor garantía de la veracidad de los resultados de la inspección.

4.2.2.10. Factores críticos del proceso radiografía

El proceso de inspección radiográfica del cordón de soldadura en los cilindros, cuenta con factores críticos, los cuales se deben tener presentes, una inadecuada realización de éstos originará resultados de baja calidad y confiabilidad. A continuación se muestran dichos factores desglosados en un diagrama de causa y efecto (ver figura 42).

Figura 42. Diagrama de causa y efecto del proceso propuesto de radiografía .

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



4.2.2.11. Diseño y planificación del control de las inspecciones

Con el objetivo de mantener una calidad aceptable en las imágenes de la radiografías obtenidas del proceso propuesto de inspección radiográfica, a continuación se presentan los lineamientos a seguir para la realización del control del proceso.

1. Se debe registrar en el formato de anotaciones todas las radiografías tomadas, la fecha y el número del cilindro a inspeccionar. Ver tabla XXII.
2. Al obtener los datos de doscientas radiografías, éstas se organizarán en cinco grupos de cuarenta radiografías cada uno.
3. En cada grupo se tomarán trece muestras aleatoriamente.
4. En cada muestra o radiografía seleccionada al azar, se evaluarán cuántos defectos radiográficos presentan.
5. Se realizará la recopilación y cómputo de los datos, para ser prontamente evaluados, mediante el gráfico de control tipo C. Para esta actividad se utilizará la tabla XVI.
6. Realizar la interpretación del gráfico de control para determinar si el proceso se encuentra en control o no. Si se encuentran resultados no confiables del proceso, se debe establecer su origen, y corregir el o los procedimientos erróneos.
7. En cuanto a la planificación, el presente control debe realizarse, no en función del tiempo, sino en función de la cantidad de radiografías tomadas, ya que la demanda de inspecciones no es uniforme. Para fines de eficiencia y una mejor distribución de las actividades técnicas y administrativas del laboratorio, se tiene establecido realizar un control de la calidad del proceso, cada doscientas inspecciones radiográficas.

4.2.2.12. Observaciones del proceso de inspección radiográfica

Al realizar un estudio de los distintos elementos del proceso de inspección radiográfica en la soldadura de los cilindros, se han resuelto las siguientes observaciones:

- a) Para corregir el movimiento de la funda al momento de irradiar, se creó un cincho de sujeción hecho de hule, el cual es más práctico y más eficiente.
- b) Por recomendación del fabricante del tubo de rayos X, se debe realizar un calentamiento del tubo por un espacio de cinco minutos, previo a realizar una toma radiográfica, lo cual asegurará una uniforme irradiación del objeto y por ende una mejor imagen radiográfica.
- c) Utilizar un cronómetro que nos facilite la medición exacta del tiempo necesario para las operaciones de revelado y fijado.
- d) Para lograr una mejor calidad de imagen radiográfica, se recomienda realizar la operación de remojo con agua, previo a introducir la película radiográfica en el depósito de fijado.
- e) En el presente proceso propuesto es notorio que se ha reducido el área de defectos, ya que se cuenta con un LSC = 4, y el LCC = 1 (ver figura 41), en comparación con el método actual de inspección donde se tienen como límites LSC y LCC, los valores 8 y 3 respectivamente (ver figura 15), lo que nos indica que se ha reducido la probabilidad de existencia de defectos en las radiografías como producto final, y por ende mejorar la

calidad y brindar una mayor garantía de la veracidad de los resultados de la inspección.

- f) En cuanto al tiempo total requerido para el desarrollo del proceso propuesto, éste se ha reducido a un 30 % del proceso actual, logrando con ello una mayor capacidad de análisis para el laboratorio y aprovechamiento de los recursos.

4.3. Recursos

El laboratorio de Ensayos no Destructivos, para desarrollar sus diversas actividades administrativas y técnicas eficientemente, debe contar con recursos humanos y materiales, los cuales son administrados por la Dirección General de Energía.

4.3.1. Recurso humano

Debido a que el laboratorio de END realiza actividades administrativas como técnicas de inspección, éste debe contar con un mínimo de cuatro personas para garantizar un buen funcionamiento:

- **1 Ingeniero:** quien se encargará de las distintas actividades administrativas del laboratorio, como recepción de cilindros, recopilación y cómputo de resultados, control de calidad de los distintos procesos, redacción y presentación de informes, verificar el mantenimiento o reparación de los equipos de inspección, asesoramiento en la ejecución de las inspecciones, etc.

- **2 técnicos de laboratorio:** quienes se encargarán de realizar las inspecciones en los cilindros, anotar y entregar los resultados para su cómputo, tomar parte en el control de calidad de los procesos, y otras actividades según las requiera el ingeniero.
- **1 técnico de apoyo:** quien realizará las actividades preliminares y posteriores a los procesos de inspección como el almacenamiento de los cilindros en su recepción, extracción de válvulas, limpieza y mantenimiento menor del laboratorio, y otras actividades requeridas por el ingeniero.

4.3.2. Recurso material

Con el objetivo de contar con un eficiente programa de control de calidad en cilindros de GLP, y en complemento con el recurso humano, el laboratorio de Ensayos no Destructivos, debe contar con áreas de trabajo dentro de su instalación, mobiliario, equipo y suministros

4.3.2.1. Recursos físicos

El Laboratorio de END está constituido físicamente por dos áreas, una instalada en el interior y otra en su exterior. Ver figura 43.

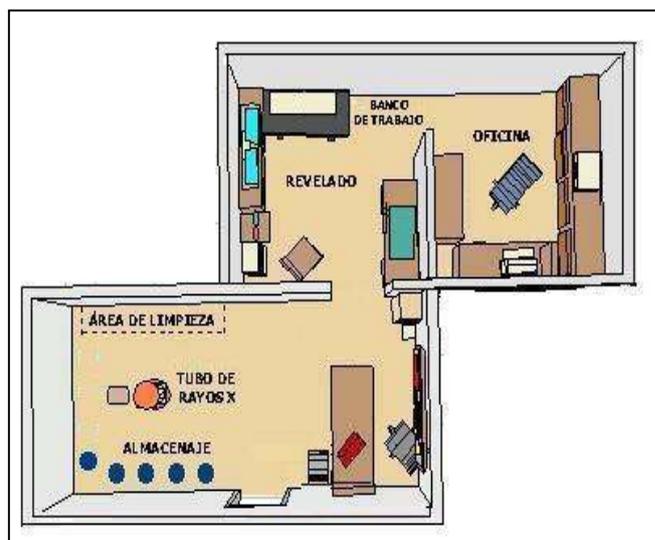
El área interior está conformada, a su vez, por tres ambientes:

- Área de irradiación, y limpieza
- Área de revelado, partículas magnéticas, líquidos penetrantes y medición de espesores
- Área de cómputo

En el área exterior se encuentran ubicadas:

- Área de almacenamiento
- Área de remoción de válvulas

Figura 43. Plano de distribución propuesta del laboratorio



4.3.2.2. Mobiliario y equipo

A continuación se encuentra el listado del mobiliario y equipo con el cual cuenta el laboratorio para efectuar las distintas actividades:

- Banco de trabajo, para inspección por partículas magnéticas, líquidos penetrantes y medición de espesores
- Lavadero, para la preparación y ejecución del procedimiento de revelado
- Escritorio, para uso de la guillotina, en el corte y enfundado de la película radiográfica

- Escritorio y silla, para el uso del negatoscopio, en la interpretación radiográfica
- *Locker*, para uso personal
- Gabinete, para el almacenamiento de los distintos suministros técnicos y administrativos
- Escritorio y silla, para el uso de la computadora
- Escritorio, para realizar actividades administrativas
- Tubo de rayos X marca *Gilardoni*, para realizar radiografías industriales
- Control de mandos, para realizar radiografías industriales
- Guillotina, para el corte de película radiográfica
- Pantallas intensificadoras de plomo (fundas) marca *Hexalon*, para el enfundado de la película radiográfica
- Cronómetro marca *Smiths*, para utilizar en el procedimiento de revelado
- Dos Cubetas, para uso en el procedimiento de revelado radiográfico
- Juego de carretes, para uso en el procedimiento de revelado radiográfico
- Horno, para el secado de películas radiográficas
- Negatoscopio marca *Sirio*, para la interpretación radiográfica
- Equipo de ultrasonido marca *Gilardoni*, para la medición de espesores
- Yugo magnético marca *Magnaflux*, para la detección de discontinuidades por partículas magnéticas
- Lámpara de tubos fluorescentes, para la detección de discontinuidades por partículas magnéticas y líquidos penetrantes
- Indicador de campo magnético, para uso en la inspección por partículas magnéticas
- Equipo de líquidos penetrantes, para detección de discontinuidades
- Equipo de cómputo marca *Micron*, para uso de las distintas actividades administrativas y técnicas

4.3.2.3. Suministros

Para la realización de los distintos procesos de inspección, es imprescindible que el laboratorio cuente con los siguientes suministros:

- Película radiográfica de 70 mm, para utilizar en la inspección radiográfica
- Químicos para revelado y fijado de la película radiográfica
- *Masking tape*, para el sellado de las fundas en el proceso radiográfico
- Químico removedor de pintura, para utilizar en los procesos de medición ultrasónica y líquidos penetrantes
- Aceite acoplante, para utilizar en la medición ultrasónica
- Baterías AA, para utilizar en la medición ultrasónica
- Envase de partículas magnéticas
- Envase de solvente, a utilizar para la limpieza en los distintos procesos
- *Wipe*, a utilizar para la limpieza en los distintos procesos
- Espátula, a utilizar en el proceso de líquidos penetrantes
- Papel mayordomo, a utilizar para la limpieza en los distintos procesos
- Pinceles, para la aplicación de removedor de pintura en los procesos de medición ultrasónica y líquidos penetrantes.

5. MONTAJE Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA

5.1. Montaje

Con el objeto de diseñar un patrón técnico que optimice la instalación y el funcionamiento de los equipos de inspección por partículas magnéticas y líquidos penetrantes, se ha realizado un estudio del área y de los requerimientos necesarios para lograr una ergonomía del trabajo.

5.1.1. Descripción del mobiliario y equipo a instalar

- a) Yugo magnético marca Magnaflux, para la detección de discontinuidades por partículas magnéticas, cuenta con un diseño preciso para ajustar en la mano, con un peso de 5 libras, moldeado por inyección de poliuretano, utiliza un cordón de 25' desconectable, y funciona con 120 voltios / 5 AMP AC.

- b) Lámpara fluorescente, para utilizar en la detección de discontinuidades por partículas magnéticas y líquidos penetrantes, la cual utiliza 4 tubos de luz ultravioleta de 40 watts cada uno, con una longitud de onda de hasta 365 nanómetros, funciona con 110 voltios AC, tiene un peso aproximado de 20 libras y una dimensión de pantalla de 1,20 X 0.40 metros.

- c) Banco de trabajo (figura 44), que se utilizará en la detección de discontinuidades por partículas magnéticas y líquidos penetrantes, y en la medición de espesores por ultrasonido en cilindros de GLP, fabricado en madera, cubierto en su superficie con una carpeta aisladora de electricidad y magnetismo, de 1.40 X 0.60 de superficie de trabajo y 0.80 metros de altura.

5.1.2. Área de montaje o instalación

El área que se tiene contemplada para la instalación del banco de trabajo, lámpara fluorescente y yugo magnético se encuentra ubicada dentro del cuarto oscuro del laboratorio, el cual tiene una medida de 3 metros de largo por 2.90 metros de ancho, con paredes cernidas recubiertas con pintura anti-hongos y piso de granito.

5.1.3. Diseño del montaje

Con el objetivo de contar con una instalación apropiada para realizar las inspecciones en los cilindros, de una manera práctica, ergonómica y eficiente se han contemplado las siguientes condiciones:

- a) La superficie del banco de trabajo (figura 44) debe estar a una altura tal que sea cómoda y práctica al operador, tanto al momento de elevar el cilindro, como al inspeccionarlo, por lo que se ha estimado una altura de 0.80 metros.

- b) Para lograr una eficaz detección de discontinuidades al momento de inspeccionar los cilindros, se debe de aprovechar la mayor cantidad de brillantez de la lámpara fluorescente, la cual es necesario colgar sobre el banco de trabajo, centrándola de tal manera que se logre abarcar el mayor campo de iluminación posible.
- c) Ya que los cilindros de GLP tienen una altura promedio de 0.55 metros, y la intensidad lumínica óptima de luz ultravioleta debe ser en este caso de 0.15 micro *watts* por centímetro cuadrado, se ha estimado tener una distancia entre la lámpara fluorescente y el banco de trabajo, de 0.80 metros lo cual permitirá una óptima maniobrabilidad del yugo magnético y visibilidad del operario al realizar las inspecciones.
- d) Es necesario contar con un tomacorriente de 110 voltios para la alimentación eléctrica de la lámpara fluorescente y el yugo magnético, los cuales sería óptimo instalarlos detrás del banco de trabajo.
- e) Para lograr una automatización del proceso se tiene previsto instalar un *switch* de pedal, para activar la lámpara fluorescente.

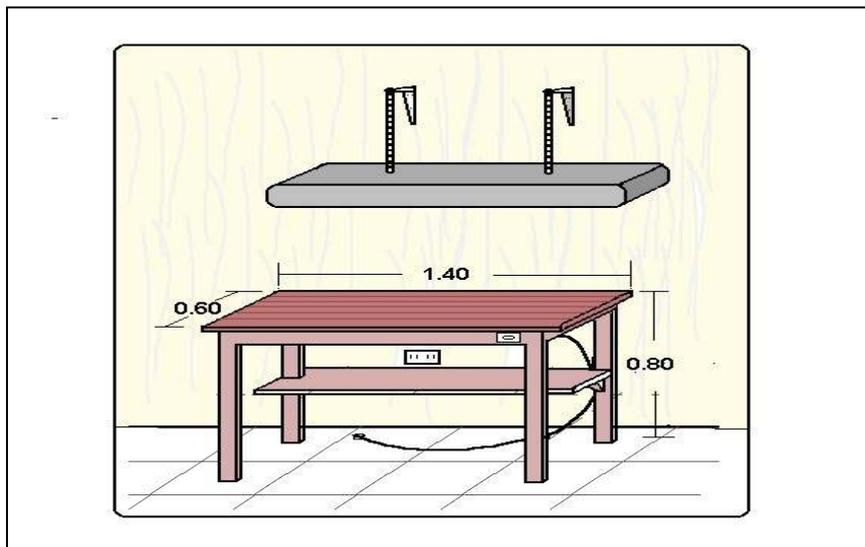
5.1.4. Ejecución del montaje

A continuación se mencionan los accesorios utilizados en la instalación de la lámpara fluorescente y el yugo magnético:

- 2 escuadras de montaje de 12"
- 2 cadenas de tensión de 0.60 metros de largo cada una

- tarugos de plástico de 3/8”
- tornillos de 1/4” x 1½ ”
- Un *flip-on* de 15 AMP
- 18 metros de alambre calibre 3 X 12
- Un tomacorriente de 2 dados polarizados de 15 AMP, con placa metálica
- Un interruptor de sobreponer, de 10 AMP 125 voltios, 5 AMP 250 voltios
- Una espiga polarizada de hule, con capacidad para 15 AMP

Figura 44. Banco de trabajo y lámpara fluorescente



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

5.2. Mantenimiento

Con el fin de garantizar la calidad de los resultados obtenidos de las inspecciones en los cilindros, se ha realizado un estudio y planificación de actividades que logren la conservación de un estado de buen funcionamiento de equipo e instalaciones.

5.2.1. Evaluación de aspectos críticos de los equipos y accesorios de inspección

1. Equipo de medición ultrasónica

- Una deficiente conductividad de los cables de transmisión de onda, dará como resultado mediciones de espesor erróneas
- Suciedad o una conexión inadecuada entre los cables y el equipo, provocarán mediciones inexactas
- Suciedad o una conexión inadecuada entre los cables y el palpador, provocarán mediciones inexactas
- Si el equipo no cuenta con suficiente suministro de energía, no se lograrán resultados confiables
- La existencia de suciedad en la superficie del palpador no permitirá mediciones exactas

2. Equipo de Rayos X

- Una deficiente conexión de los cables, no permitirá buena conductividad de energía
- Averías en el sistema de enfriamiento pueden causar daños al tubo de rayos X, debidos a sobrecalentamiento
- Alguna inexactitud en los botones de ajuste del control de mandos, puede causar resultados no deseados
- Averías en los cables de electricidad que alimentan al control de mandos, pueden causar daños al equipo
- Fusibles principales en mal estado pueden causar daños al equipo de rayos X

- Fundas de plomo sucias y averiadas causarán defectos en las radiografías
- Carretes de revelado sucios o en mal estado causarán defectos en las radiografías
- Depósitos de químicos revelador o fijador, sucios o deteriorados provocarán deficiencias en la calidad de las radiografías y del proceso mismo
- Suciedad dentro y fuera del horno de secado provocará un pronto deterioro

3. **Equipo de partículas magnéticas**

- Averías en los cables de electricidad que alimentan al yugo magnético pueden causar daños
- Suciedad en el *switch* del yugo magnético provocará un mal funcionamiento de éste
- Una deficiente conexión de los cables, no permitirá buena conductividad de energía
- Falta de lubricación en las articulaciones del yugo magnético no permitirá el uso práctico del equipo
- La obstrucción del conducto o de la boquilla en el aplicador de partículas puede causar aplicación en cantidad y ubicación no deseada
- El uso inadecuado del aplicador de partículas magnéticas puede ocasionar un prematuro consumo de éste
- Suciedad en las partes conductoras del yugo magnético, no permitirá una óptima magnetización de la superficie a inspeccionar

4. Equipo de líquidos penetrantes

- Una deficiente conexión del toma corriente de la lámpara fluorescente no permitirá un buen funcionamiento de ésta
- Suciedad en los tubos de luz ultravioleta no permitirá una óptima iluminación
- Una conexión deficiente de los tubos de luz ultravioleta no permitirá un buen funcionamiento
- El uso inadecuado del aplicador de líquidos penetrantes y revelador puede ocasionar prematuro consumo de éste
- La obstrucción del conducto o de la boquilla del aplicador de líquidos puede causar una aplicación en cantidad y ubicación no deseada

5.2.2. Diseño del mantenimiento

El presente programa de mantenimiento está diseñado con base en experiencias operacionales, obtenidas durante el período de ejecución del presente ejercicio profesional supervisado, a las condiciones impuestas por la demanda de inspección, y las capacidades laborales y administrativas de la dirección.

5.2.2.1. Procedimientos

Al iniciar cualquier acción de mantenimiento preventivo, es necesario inspeccionar el equipo como un todo, con el objeto de detectar el desarrollo de posibles fallas. La acción de mantenimiento preventivo podría remover tales signos, puesto que cualquier falla o mal funcionamiento detectado sería corregido, además se debe reemplazar los componentes de corta vida útil que puedan generar problemas en el futuro.

1. **Equipo de medición ultrasónica**

- Revisión de una óptima conductividad de los cables de transmisión de onda
- Limpieza y verificación de la conexión entre los cables de transmisión y el equipo
- Limpieza y verificación de la conexión entre los cables y el palpador
- Recambio de baterías AA en el equipo ultrasónico
- Limpieza de la superficie del palpador

2. **Equipo de rayos X**

- Revisión de una óptima conductividad de los cables de energía eléctrica
- Verificación y limpieza de las mangueras del sistema de enfriamiento
- Revisión, aspirado y limpieza del panel de control
- Revisión de los fusibles del equipo de Rayos X
- Revisión y limpieza de conectores
- Verificación y limpieza de las fundas de plomo
- Verificación y limpieza de los carretes de revelado
- Revisión y limpieza de los depósitos de revelado y fijado
- Revisión, aspirado y limpieza del horno secador de películas
- Revisión y limpieza del *timer* y termostato del horno de secado
- Aspirado y limpieza del negatoscopio

3. **Equipo de partículas magnéticas**

- Revisión de los cables de electricidad que alimentan al yugo magnético
- Revisión y limpieza del *switch* del yugo magnético

- Lubricación de las articulaciones del yugo magnético
- Revisión y limpieza del conducto y boquilla del aplicador de partículas magnéticas

4. **Equipo de líquidos penetrantes**

- Revisar conexión del toma corriente de la lámpara fluorescente
- Verificación y limpieza de los tubos de luz ultravioleta
- Revisión de la conexión deficiente de los tubos de luz ultravioleta en la lámpara
- Revisión y limpieza del conducto y boquilla de los aplicadores de líquidos penetrantes y revelador

5. **Mantenimiento preventivo general, eléctrico y electrónico**

- Limpiar rutinariamente el laboratorio, incluye la remoción de polvo y suciedad, de equipo, accesorios y mobiliario, así como cubrir el equipo que no esté en uso. Verificar la ausencia de químicos y materiales que puedan dañar los equipos

Las siguientes actividades serán realizadas por el departamento de mantenimiento:

- Prevención, verificación y destrucción de la existencia de roedores, insectos y otros animales que puedan de una u otra forma contribuir a la destrucción de los equipos
- Inspección del sistema de distribución del suministro eléctrico de corriente alterna y de sus elementos acondicionadores

- Inspección de las líneas de tierra, su resistencia a tierra y humectación de contacto.
- Inspección de los puntos de conexión a tierra en el equipo
- Inspección de la disipación de calor y corrosión de los toma corrientes, tomacorrientes, interruptores y espigas
- Verificar los interruptores de circuitos automáticos, *varistores*, *reles*, interruptores etc.
- Verificar la ausencia de daños causados por roedores, y otros animales
- Verificación del funcionamiento del equipo y reajustes necesarios
- Verificación de componentes electrónicos en caso necesario
- Probar, recargar o reemplazar baterías según sea necesario, así como limpieza o reemplazo de contactos corroídos por fugas de las baterías
- Inspección para verificar la disipación de calor, decoloración de circuitos impresos por calor y determinación de la causa de la alta disipación de calor
- Desempolvar los disipadores de calor para aumentar el flujo directo de aire sobre la superficie
- Remoción de polvo acumulado sobre componentes de alto voltaje
- Inspección de las fuentes de voltaje de C.D. (voltaje de salida, ondulación, ruido, rizado y efectos de la carga sobre la salida de voltaje)
- Verificación del aislamiento de los transformadores de alto voltaje
- Verificación de cables pelados por movimiento o roedores etc.
- Verificación del consumo de corriente

7.	Verificación y limpieza de las mangueras del sistema de enfriamiento.	X		X		X		X		X		X
8.	Revisión, aspirado y limpieza del panel de control.	X			X			X			X	
9.	Revisión de los fusibles del equipo de Rayos X.	X		X		X		X		X		X
10.	Revisión y limpieza de conectores del equipo de rayos X.	X				X				X		
11.	Verificación y limpieza de las fundas de plomo.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12.	Verificación y limpieza de los carretes de revelado.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.	Revisión y limpieza de los depósitos de revelado y fijado.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14.	Revisión, aspirado y limpieza del horno secador de películas.	X		X		X		X		X		X
15.	Revisión y limpieza del <i>timer</i> y termostato del horno de secado.	X						X				
16.	Revisión de los cables de electricidad que alimentan al yugo magnético.	X			X			X			X	
17.	Revisión y limpieza del <i>Switch</i> del yugo magnético.	X			X			X			X	
18.	Lubricación de las articulaciones del yugo magnético.	X			X			X			X	
19.	Revisión y limpieza del conducto y boquilla del los aplicadores de partículas magnéticas.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20.	Revisar conexión del toma corriente de la lámpara fluorescente.	X		X		X		X		X		X
21.	Verificación y limpieza de los tubos de luz ultravioleta.	X			X			X			X	
22.	Revisión de la conexión deficiente de los tubos de luz ultravioleta en la lámpara.	X			X			X			X	
23.	Revisión y limpieza del conducto y boquilla de los aplicadores de líquidos penetrantes y revelador.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
24.	Limpieza general del laboratorio.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
25.	Mantenimiento preventivo eléctrico y electrónico.	X			X			X			X	
26.	Aspirado y limpieza del negatoscopio.	X			X			X			X	

5.2.3. Historial de mantenimiento

Llevar un historial sobre las actividades de mantenimiento que se van realizando durante cierto tiempo es muy útil, porque queda plasmada información importante que puede ayudar a tomar decisiones significativas sobre las actividades de mantenimiento, que permitan perfeccionar el mantenimiento preventivo.

La información que se puede analizar en un historial de mantenimiento, permite contabilizar las fallas más frecuentes, y analizar por qué se producen, analizar cada cuánto tiempo se repiten, entre otras cosas, esta información se encuentra plasmada en las hojas de historial de mantenimiento y permite tomar decisiones que mejoren la eficiencia del mantenimiento que se realiza.

Lo mencionado influye en los costos anuales de mantenimiento, los cuales disminuirán, por el hecho de realizar un programa más eficiente.

5.2.3.1. Control de mantenimiento preventivo

El programa de mantenimiento debe ser adaptable a modificaciones en su estructura, de tal forma que lo mejore y perfeccione a través del paso del tiempo.

A continuación se presenta el formato del historial del mantenimiento (tabla XIX), el cual es de suma importancia tanto para el operario como para el técnico de mantenimiento, ya que en éste se registrará información sobre el equipo o accesorio revisado, la fecha, el tipo de mantenimiento, el responsable del mantenimiento y los repuestos utilizados.

Tabla XIX. Formato de mantenimiento preventivo

MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
EQUIPO O ACCESORIO: _____	TIPO DE MANTENIMIENTO MECÁNICO <input type="checkbox"/> ELÉCTRICO <input type="checkbox"/> ELECTRÓNICO <input type="checkbox"/>				
PARTE DEL QUIPO O ACCESORIO	ACTIVIDAD REALIZADA	FECHA	TRABAJO REALIZADO POR	REPUESTOS UTILIZADOS	
				CANTIDAD	DESCRIPCIÓN

FIRMA _____

OBSERVACIONES: _____

5.2.3.2. Control de mantenimiento correctivo

En la tabla XX se presenta el formato de control de mantenimiento correctivo, dicho formato se utilizará para llevar un control de todas las actividades que se han de realizar dentro del mantenimiento correctivo de la herramienta y equipo de laboratorio.

La información debe incluir el nombre del equipo o accesorio en el cual se ha realizado el mantenimiento; el área o parte del equipo afectada, el problema que se ha detectado, el tipo de trabajo, ya sea mecánico, eléctrico o electrónico y el nombre de la persona que ha realizado el mantenimiento. Debe recordarse que toda información es almacenada para que posteriormente el jefe de mantenimiento la analice y llegue a la conclusión de qué es lo que está afectando el buen funcionamiento del equipo.

Otra información necesaria, es fecha y hora de realización del mantenimiento, e información acerca de los repuestos utilizados.

A continuación se muestra la tabla XX en la que se puede observar el formato de registro para el mantenimiento correctivo.

Tabla XX. Formato de mantenimiento correctivo

CONTROL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO											
EQUIPO	FECHA	TIPO DE MANTENIMIENTO									
<input style="width: 90%;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 2px;">MECÁNICO</td> <td style="width: 33%; padding: 2px;"><input style="width: 95%;" type="text"/></td> <td style="width: 33%; padding: 2px;"><input style="width: 95%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">ELÉCTRICO</td> <td style="padding: 2px;"><input style="width: 95%;" type="text"/></td> <td style="padding: 2px;"><input style="width: 95%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">ELECTRÓNICO</td> <td style="padding: 2px;"><input style="width: 95%;" type="text"/></td> <td style="padding: 2px;"><input style="width: 95%;" type="text"/></td> </tr> </table>	MECÁNICO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	ELÉCTRICO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	ELECTRÓNICO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>
MECÁNICO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
ELÉCTRICO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
ELECTRÓNICO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
REALIZADO POR	HORA: DE: A:	PARTE DEL EQUIPO									
<input style="width: 90%;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>									
PROBLEMA SURGIDO	REPUESTOS UTILIZADOS	DESCRIPCIÓN									
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>									
OBSERVACIONES:											
Firma. _____											

5.2.4. Insumos y repuestos

A continuación se mencionan los insumos y repuestos necesarios para la realización del mantenimiento preventivo en los distintos equipos y accesorios de inspección:

1. Insumos

- Solvente limpiador
- Papel mayordomo
- Aire comprimido
- Limpia contactos
- Aspiradora
- Lubricante
- Cepillos para lavado
- Esponjas para lavado
- Detergente
- Pegamento *Super Bonder*
- Cinta de aislar

2. Repuestos

- Conectores "*Lemon*" para el equipo de ultrasonido
- Baterías AA para el equipo de ultrasonido
- Pantallas de plomo para las fundas radiográficas.
- Tubos de luz ultravioleta
- Atomizadores
- Foco incandescente para el negatoscopio

5.3. Conclusiones y recomendaciones del montaje y mantenimiento

1. Para la inspección en los cilindros, al utilizar las técnicas de partículas magnéticas y líquidos penetrantes, se ha fabricado e instalado, un banco de trabajo (ver figura 44), con dimensiones específicas, el cual lo hace ergonómico al trabajo realizado.
2. Para realizar un programa de mantenimiento preventivo adecuado es importante tener una buena comunicación con el departamento electrónico, y que las personas involucradas tengan la seguridad de que lo mejor para una empresa es la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, por sencillo que sea.
3. Al iniciar cualquier acción de mantenimiento preventivo es necesario inspeccionar el equipo como un todo, con el objeto de detectar el desarrollo de posibles fallas. La acción de mantenimiento preventivo podría remover tales signos, puesto que cualquier falla o mal funcionamiento detectado sería corregido, además se debe reemplazar los componentes de corta vida útil que pueden generar problemas en el futuro.
4. La implementación de un programa de mantenimiento preventivo es la medida correcta para que una máquina cualquiera tenga un adecuado funcionamiento acorde a las necesidades de la empresa.
5. El realizar un mantenimiento preventivo eficiente, logrará la minimización de tiempos perdidos dentro del proceso de inspección, ya que los equipos o herramienta de trabajo siempre se encontrarán en buenas condiciones y también se prevendrá posibles fallas.

6. Los empleados de administración y compras, que en forma indirecta se involucran en el programa de mantenimiento, deben apoyar las actividades programadas, ya que un buen seguimiento de éste, es lo que repercute en el buen funcionamiento de los diversos equipos de inspección y en la prestación de servicios de alta calidad.
7. Es importante enfatizar la capacitación del personal que labora en el departamento de mantenimiento electrónico, para aumentar la eficiencia del trabajo que se lleva a cabo, a través de la motivación y del conocimiento actualizado de todos los aspectos que se involucran en el mantenimiento de los equipos de inspección.
8. Es necesario apegarse a la programación de mantenimiento (ver tabla XVIII) ya que con ello se disminuirá las posibilidades de fallas a ocurrir como también se estarán garantizando resultados confiables debido a que se está trabajando con equipo y herramientas en buenas condiciones.
9. Es importante llevar registro permanente de los mantenimientos realizados, ya que éstos permitirán conocer la información necesaria sobre las fechas, el área o parte del equipo afectada, también el problema que se ha detectado en dicha parte, y el tipo de trabajo que es, ya sea mecánico, eléctrico o electrónico; otra información que se debe incluir, es el nombre de la persona que ha realizado el mantenimiento, debe recordarse que toda la información es almacenada para que posteriormente el jefe de mantenimiento la analice y llegue a la conclusión de las causas del mal funcionamiento del equipo.

10. Es importante que el departamento de mantenimiento electrónico lleve un inventario de los insumos y repuestos requeridos para realizar el servicio, ya que de lo contrario se podrán crear demoras por espera de la adquisición de éstos.

6. SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL

Todo proceso de laboratorio está sujeto a condiciones que pueden ser riesgosas para el personal, tanto en la realización de la inspección radiográfica como en los otros procesos de inspección, por lo que es necesario crear un ambiente, donde el personal que labora en el Departamento de Aplicaciones Nucleares y Ambiente, aplique las políticas de prevención de accidentes, para realizar con seguridad y lograr incrementar cualitativa y cuantitativamente las labores asignadas.

Los elementos claves para prevenir accidentes son: el orden, la limpieza y el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas.

6.1. Condiciones y actos inseguros

Dentro de las distintas actividades de inspección que realiza el laboratorio, existen varias condiciones y actos que de no ser tomados en cuenta por parte del personal, podría existir una alta posibilidad de ocurrencia de accidentes.

Los actos y condiciones inseguras son problemas tales como salud, fatiga, intoxicación, problemas del hogar, desconocimiento de normas y reglas de trabajo, capacitación profesional insuficiente sobre las técnicas de inspección utilizadas. El 80% de los accidentes ocurre por responsabilidad humana, es por ello que para atender con mejor eficiencia los riesgos derivados de los actos inseguros, es conveniente procurar un ambiente de trabajo libre de condiciones inseguras.

6.1.1. Identificación de peligros y riesgos

El elemento identificación es multifacético y los diversos peligros y riesgos a los que está expuesto el personal puede relacionarse con las tareas ejecutadas tanto en circunstancias de rutina como en circunstancias anormales en su ambiente de trabajo. Los peligros implicados con el equipo pueden relacionarse con el uso que se hace de éste, ya sea que no funciona en forma correcta, que no se emplea de forma adecuada o que no funciona del todo. También pueden existir peligros en los sistemas de ventilación e iluminación.

Al establecer la política a seguir y proponer el programa a poner en marcha para una buena organización que promueve el sistema de control operacional. Los factores que se tomarán en cuenta para el logro eficaz son los siguientes.

6.1.1.1. Factor humano

El hombre como elemento básico del sistema de producción, es complejo en si mismo, en él se presentan características antropológicas, psicológicas así como situaciones de tipo económico, idiosincrasia de grupo, si cada individuo en particular es complejo y se considera que dentro del Departamento de Asuntos Nucleares hay varios individuos, la tarea de homogenizar es difícil, pero no imposible, por ello es necesario evaluar el medio ambiente y las condiciones que presenta cada uno de ellos en su lugar de trabajo.

6.1.1.2. Factor fisiológico

El ser humano por naturaleza presenta irregularidades en su organismo, pero en su mayoría a causa del trabajo, sin ningún tipo de control aumenta el riesgo a su salud, por ejemplo:

- Bajo rendimiento físico, por deficiente régimen alimenticio
- Fatiga física, por tiempos prolongados de trabajo
- Características antropométricas fuera de lo común, de acuerdo al puesto de trabajo, lo que incide sobre cualquier actividad
- Disminución general de los sentidos principales

6.1.1.3. Factor físico

Todo ser humano es capaz de adaptarse al medio que lo rodea, pero esto no quiere decir que no se vea afectado por elementos de riesgo, el tiempo de exposición a estos factores, redundará en enfermedades de carácter crónico o accidentes innecesarios. A continuación se evalúan la iluminación, ventilación, higiene y seguridad dentro del laboratorio de ensayos no destructivos.

1. Iluminación

a) Análisis

Al utilizar un equipo fotómetro se realizó la medición del flujo luminoso del sistema de iluminación, el cual detectó 295 luxes. El nivel de iluminación recomendado para laboratorios de análisis es de 300 luxes (ver tabla XXVIII), de lo cual se determina que las lámparas se encuentran deficientes ya que sobrepasan su vida útil.

El sistema de iluminación del laboratorio cuenta actualmente con:

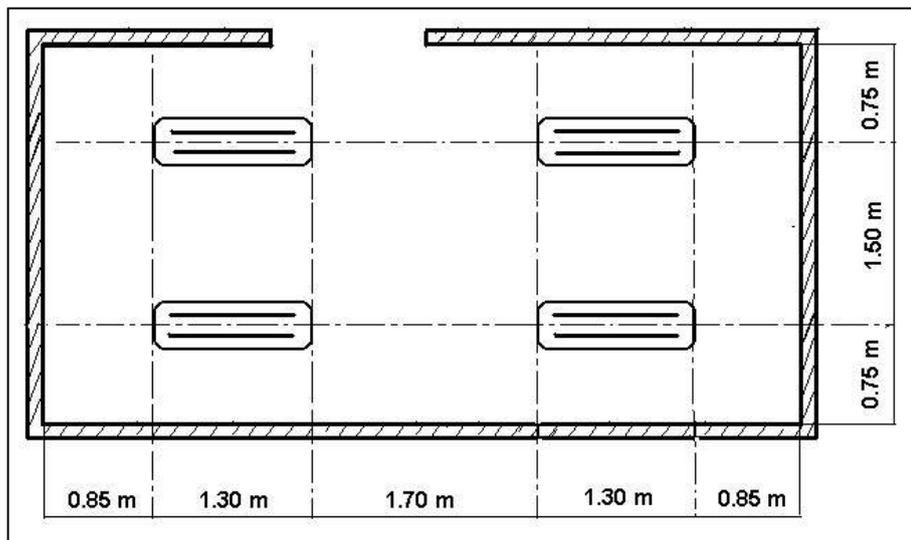
- 4 luminarias
- 8 lámparas fluorescentes de 40 *watts* (2 lámparas por luminaria).

b) Propuesta de mejoramiento

A continuación se presentan los factores a tomar en cuenta para los cálculos del sistema de iluminación propuesto:

- 18 metros cuadrados de área de trabajo (S)
- 6 metros de largo (L)
- 3 metros de ancho (A)
- 2.4 metros de altura (H)
- Paredes de color blanco
- Techo de color blanco
- Flujo luminoso (E) recomendado es de 300 luxes (ver tabla XXVIII)
- El factor de reflexión para paredes claras es $\rho_P=0.5$ (ver tabla XXVI)
- El factor de reflexión para techos color claro es $\rho_T=0.7$ (ver tabla XXVI)
- Una lámpara fluorescente de 40 *watts* que proporciona 2900 lúmenes (α)
- El factor de distancia de iluminación del fabricante es = 1

Figura 45. Plano de distribución de luminarias del laboratorio



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

A través del método de cavidad zonal se determina el sistema propuesto de iluminación para el laboratorio, a continuación se detallan los cálculos:

- **Cálculo del índice local**

$$K = \frac{2L + 8A}{10H} = \frac{(2 \times 6) + (8 \times 3)}{10 \times 2.4} = 1.5 \quad K = 1.5$$

- **Cálculo del factor de utilización**

Con los datos anteriores, en la tabla de factores de utilización (tabla XXVII), ya podemos encontrar dicho factor, utilizando para ello los factores de reflexión, techo = 0.7 y pared = 0.5.

Dado que el valor $K = 1.5 \rightarrow u = 0.33$

- **Factor de depreciación**

Suponiendo realizar la limpieza de las luminarias cada año y un nivel de suciedad bajo (ver tabla XXVII), tenemos:

$$\delta = 1.3$$

- **Flujo luminoso teórico necesario**

$$\Phi = \frac{E \times S \times \delta}{u} = \frac{300 \times 18 \times 1.30}{0.33} = \mathbf{21,273 \text{ lúmenes.}}$$

- **Número de lámparas a utilizar**

$$N = \frac{\Phi}{\alpha} = \frac{21,273 \text{ lúmenes}}{2,900 \text{ lúmenes}} = 7.34 \longrightarrow \mathbf{8 \text{ lámparas .}}$$

- **Flujo luminoso real**

Se cuenta con 8 lámparas que proporcionan 2,900 lúmenes cada una, por lo tanto el flujo luminoso total es de: $\Phi = 8 \times 2,900 = 23,600$ lúmenes reales.

$$E = \frac{\Phi \times u}{S \times \delta} = \frac{23,600 \times 0.33}{18 \times 1.30} = \mathbf{332.8 \text{ luxes}}$$

- **Distancia entre luminarias**

Para determinar la distancia máxima entre luminarias utilizamos el factor proporcionado por el fabricante para una lámpara de 40 *watts* igual a 1, entonces tenemos:

$$S_{\max} = \text{factor del fabricante} \times H = 1 \times 2.4 \text{ metros} = \mathbf{S_{\max} = 2.4 \text{ metros.}}$$

Si deseamos verificar que nuestra iluminación se encuentra bien distribuida, según nuestra área de trabajo y la cantidad de luminarias utilizadas, entonces calculamos:

$$S = \sqrt{\frac{\text{Área}}{\text{No. de luminarias}}} = \sqrt{\frac{18}{4}} = \mathbf{S = 2.12 \text{ metros}}$$

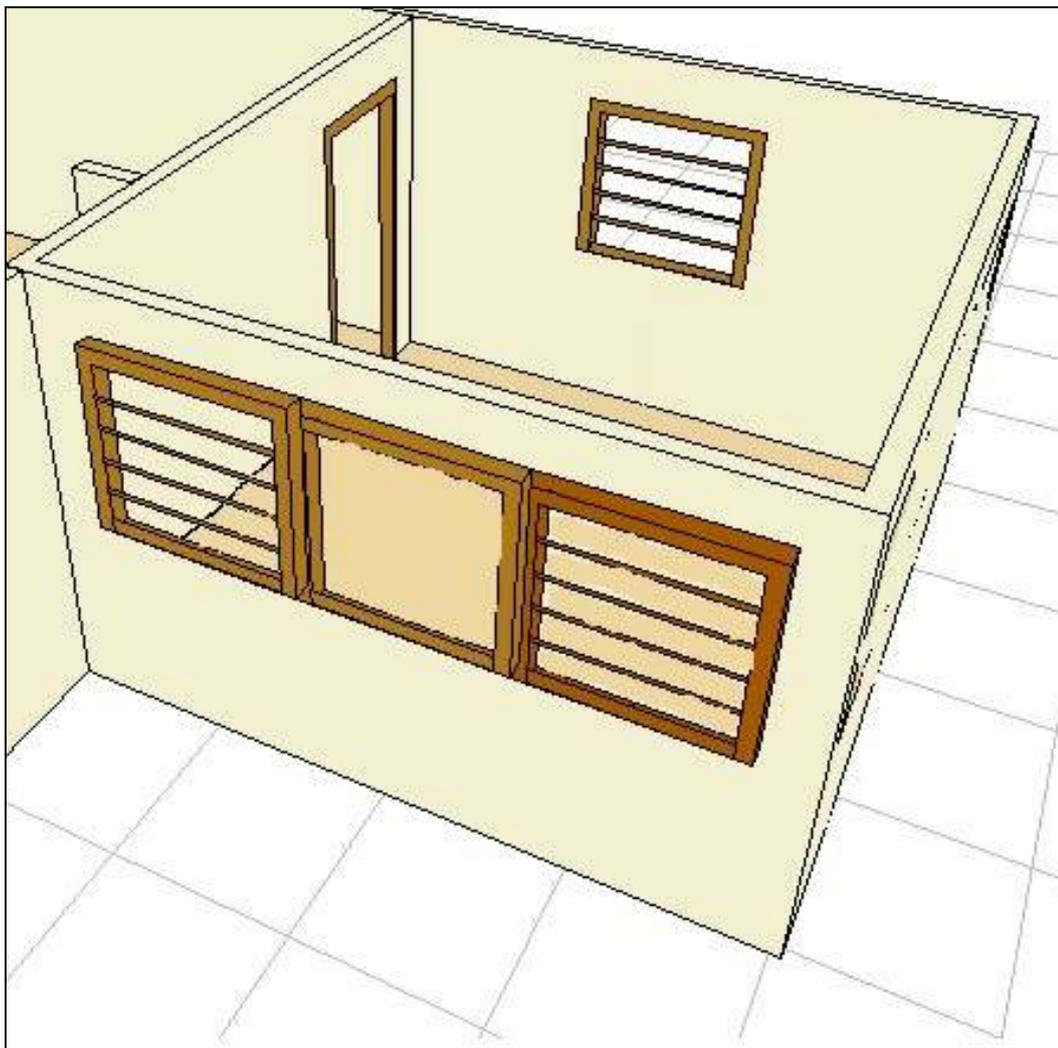
2. Ventilación

Las instalaciones del laboratorio de ensayos no destructivos, cuenta con una adecuada ventilación en el área de trabajo, dicha ventilación se realiza de manera natural para controlar la humedad, temperatura y calidad del aire (eliminación de contaminantes).

El laboratorio cuenta con una distribución de ventanas de celosía (figura 46), las cuales permiten la circulación de aire puro dentro de las instalaciones, ya que unas se encuentran con dirección al norte y las otras con dirección al sur, este arreglo logra fácilmente la extracción de aire viciado.

Las tres ventanas de celosía tienen una dimensión de 1 metro de largo por 1.20 metros de alto lo cual logra contar con 3.6 metros cuadrados de circulación de aire puro.

Figura 46. Distribución de ventanas del laboratorio



Fuente: epesista Oliver Gutiérrez

3. Orden y limpieza

Uno de los mayores riesgos es la aglomeración de materiales diversos tales como envases plásticos, cajas de cartón, herramienta de mantenimiento, documentación, envases de químicos, envases de partículas magnéticas o Líquidos penetrantes causando desorden, falta de higiene, mal aspecto que influye en el bajo rendimiento del trabajo de los técnicos. Es muy importante mantener un adecuada orden y limpieza en las instalaciones del laboratorio, ya que de esta manera disminuirá el riesgo de la ocurrencia de accidentes.

6.1.2. Condiciones inseguras

Entre las condiciones inseguras más comunes que se puedan presentar en el Laboratorio de Ensayos no Destructivos se pueden mencionar:

- Inadecuado de almacenaje de los cilindros en el área de almacenaje
- Colocación en un lugar indebido del químico removedor de pintura
- Acondonamiento inadecuado del área de inspección radiográfica
- Iluminación defectuosa en las áreas de trabajo dentro del laboratorio, lo cual origina fatiga en la vista, constituyendo un riesgo que puede originar accidentes
- La temperatura y ventilación dentro del laboratorio no tiene un control adecuado, generando esto fatiga física, se pierde agilidad y rapidez mental a la hora de realizar las inspecciones
- La falta de extinguidor dentro del área de trabajo del laboratorio
- Falta de disponibilidad de acceso al área de regaderas de emergencia en el caso de quemaduras o intoxicación

- El personal no está capacitado en la prevención de incendios y primeros auxilios
- Falta de conocimiento por parte del personal de la dirección, de las normas de seguridad del laboratorio

6.1.3. Actos inseguros

En cuanto a los actos inseguros que se podrían presentar en el Laboratorio de Ensayos no Destructivos se encuentran los siguientes:

- El estivamiento y almacenaje inadecuado de los cilindros
- El transporte y manejo inadecuado de los cilindros para su inspección
- Uso inadecuado del químico removedor de pintura
- Utilización inadecuada de los aplicadores de partículas magnéticas, líquidos penetrantes, revelador, solvente, etc.
- Al utilizar los químicos, el técnico toque su rostro, o alguna otra parte de su cuerpo, lo cual puede causar daños en la piel o los ojos
- Derramar aceite o lubricante sobre el piso
- Dejar cilindros atravesados en el camino o en las líneas de flujo del proceso

6.2. Equipo de protección personal

El equipo de protección del operario está determinado de acuerdo al riesgo que presenta cada una de las actividades de inspección. El tipo de equipo a utilizar se debe elegir de acuerdo a la calidad, duración y adaptabilidad del usuario. El equipo a utilizar por el personal de laboratorio es el siguiente:

a) Gafas protectoras

Protegen al operario contra la proyección de partículas que pueden dañar los ojos. Cuando se utilice protección para los ojos, deberá tenerse cuidado de que las gafas se ajusten bien alrededor de los ojos. Cuando se utilizan ciertos tipos de gafas de seguridad, el campo de visión puede verse reducido. El uso de las gafas se tiene que poner con carácter de obligatoriedad para todo el personal al realizar las inspecciones por partículas magnéticas y líquidos penetrantes.

b) Mascaras respiratorias

La función de este equipo es proteger la respiración del trabajador contra las partículas de polvo y gases que se encuentran en suspensión en el aire. Estas mascarillas se deben de utilizar cuando se esta trabajando con partículas magnéticas y líquidos penetrantes.

Hay respiradores especiales para cada necesidad, en el caso del laboratorio, el personal puede utilizar los siguientes tipos de mascarillas marca 3M:

- Mascarilla 8710 Para polvos y neblinas tóxicas y polvos que producen neumoconiosis y fibrosis.
- Mascarilla 8709 Diseñadas para proteger contra rocíos de pintura, provee protección contra partículas y vapores de pinturas de esmalte, lacas, resinas, esmaltes acrílicos y poliuretanos. Tiene una válvula de exhalación para mayor comodidad en la respiración. Útil hasta que el olor se perciba dentro de la mascarilla.

c) Bata de trabajo

Muchas exposiciones a riesgos en la industria exigen de ropa apropiada en lugar de la ordinaria, o encima de ésta. Los riesgos que se corren al no utilizar esta prenda, van desde posibles quemaduras, raspaduras, dermatosis, etc. Por lo cual se hace necesario utilizar una bata de tela tratada contra fuego, y que sea de un diseño y tamaño que no entorpezca los movimientos del técnico laboratorista.

d) Guantes

Las manos constituyen uno de los riesgos de mayor cuidado, en virtud de la importancia que tiene en las tareas de trabajo industrial. Para la realización de las actividades de inspección en los cilindros, es necesario el uso de guantes para el manejo y aplicación de los químicos y reactivos. Los guantes que se recomiendan utilizar en el laboratorio son los siguientes:

- Guante industrial corrugado natural forrado No. 10, talla única
- Guante de látex para uso quirúrgico

e) Calzado de seguridad

Para la realización de las inspecciones en los cilindros es muy necesario utilizar como calzado botas o botines con punta de acero, y que sean de un diseño capaz de combatir dos problemas:

- Proteger los dedos contra objetos pesados que caigan al suelo, y evitar que otros objetos agudos afecten la planta del pie

- Proteger los pies y los tobillos al caminar entre líquidos que representen un peligro

6.3. Prevención y protección contra incendios

La teoría básica del fuego indica que éste se produce como resultado de la unión de tres elementos: el combustible, el oxígeno y el calor. Todas las labores preventivas buscan que éstos tres elementos no se unan, pero si el fuego ya se ha producido, la labor de extinción buscara aislar uno de estos elementos. El fuego según sea su clase, pueden clasificarse de acuerdo a los siguientes grupos:

- **Fuego clase A** son los fuegos que afectan el material orgánico sólido, en los que pueden formarse brasas, por ejemplo la madera, el papel, la goma, los plásticos y los tejidos.
- **Fuego clase B** son los fuegos producidos en líquidos inflamables, grasas y ceras que precisan para extinguirlos , de sofocarlos y privarlos de oxígeno.
- **Fuego clase C** son los fuegos producidos por equipo eléctrico como corriente eléctrica, motores eléctricos, cajas de interruptores y cajas de empalmes, contra los cuales hay que emplear agentes no conductores de electricidad.

Los riesgos de incendios pueden ser ocasionados por diferentes condiciones de inseguridad, las cuales son necesarias eliminar o mantener bajo control constantemente. La mejor protección contra los incendios es aplicar en forma efectiva las medidas de prevención. El riesgo de incendio se origina al existir una fuente de ignición cerca de un material combustible. Las fuentes de ignición que es necesario tener bajo control son las siguientes:

- **Equipo eléctrico:** el recalentamiento del equipo eléctrico y los arcos resultantes de cortocircuitos debido a instalaciones o mantenimiento deficientes son las causas más comunes de incendio industriales.
- **Hábito de fumar:** es una causa potencial de incendios debido al descuido. Se tiene que prohibir fumar en las áreas de trabajo dentro del laboratorio de ensayos no destructivos.
- **Combustión espontánea:** debido a concentraciones normales de oxígeno en el aire, por la fuga de gas propano en una área muy pequeña dentro del laboratorio.

6.3.1. Equipo de protección contra incendios

La selección del equipo se hace de acuerdo a los diferentes tipos de fuego posibles que pueden ocurrir en las áreas de trabajo dentro del laboratorio, porque de esta forma se puede elegir el equipo con el agente extintor más adecuado a las características del fuego. El equipo debe ubicarse alrededor de los peligros probables, pero no tan cerca como para que un fuego pudiera aislarlo o dañarlo.

6.3.1.1. Clasificación de los extinguidores

Basándose en las tres clases de fuego antes mencionadas, se han clasificado los extinguidores manuales en las categorías siguientes:

- **Extinguidor clase A:** Son aquellos que tienen agua y que son útiles para incendios de combustibles como cartón, papel, madera, tela, etc., o sea que son útiles para combatir incendios clase A. Existen algunas divisiones como A1, A2,...., pero sólo indican el tamaño del extintor y contenido de algunas soluciones adicionales al agua, y es necesario uno de ellos para formar una unidad de primeros auxilios de protección.
- **Extinguidor clase B:** La clasificación de extinguidores clase B y sus variaciones B1, B2, nos indican que son útiles para incendios clase B, y generalmente están cargados con polvo químico seco, bióxido de carbono y otro componente químico y son útiles para combatir incendios originados en combustibles inflamables.
- **Extinguidor clase C:** Son útiles para combatir incendios clase C y el material que contienen es no conductor, dos de éstos hacen una unidad de primeros auxilios de protección. Existen en la actualidad combinaciones como por ejemplo AB, BC, AC.
- **Extinguidor clase ABC:** Este tipo de extinguidor se conoce como universal, puesto que es útil para toda clase de incendios, por lo que una persona que no conozca el origen del fuego puede utilizarlos indistintamente, pero la desventaja es que su eficacia es mucho menor que cualquier extinguidor específico.

Para el laboratorio de ensayos no destructivos es de conveniencia el contar con un extinguidor clase ABC, ya que existe la misma posibilidad de que ocurra cualquiera de las tres clases de incendio.

6.3.1.2. Sistemas de extinción con agua

Éste fue el primer agente de extinción que se conoció. En la actualidad se utilizan rociadores automáticos, son los más versátiles y confiables; la función principal de este sistema es cubrir automáticamente con agua un fuego, además puede servir como alarma contra incendios. Los rociadores deben de elegirse de acuerdo a un área a proteger por cada rociador depende del contenido del edificio; para el área de peligro elevado es recomendable que cada cabezal cubra 7 metros cuadrados.

Para el laboratorio de ensayos no destructivos es recomendable el uso interno de 4 rociadores que cubran la totalidad del área expuesta a incendios; por otro lado también es necesario la existencia en el exterior del laboratorio de duchas de emergencias, ya que estas son importantes en la seguridad, y pueden ser usadas en accidentes que incluyen ácidos y líquidos cáusticos, así como fuego en la ropa o en el pelo.

6.4. Orden y limpieza en las áreas de trabajo

El término orden y limpieza no debe confundirse con un simple barrido, ya que es una situación ordenada de las disposiciones, cilindros, accesorios de inspección, equipo y suministros.

Para un adecuado orden y limpieza de las instalaciones del Laboratorio de Ensayos no Destructivos se recomienda lo siguiente:

- Orden y limpieza general en el área de trabajo de inspección, y sus alrededores
- Eliminación adecuada de botellas, envases, cajas y desperdicios del proceso
- Prevención y eliminación de fugas de agua, solvente, grasa , aceite, etc.
- Solicitar la adquisición de estanterías para la colocación de insumos y accesorios, debidamente identificados
- Ordenamiento y clasificación adecuada de la documentación existente
- Rotulación de las gavetas que contiene los distintos insumos, accesorios y repuestos del equipo de inspección
- Limpieza del equipo de cómputo e inspección
- Identificación de existencia y erradicación de posibles insectos y roedores que puedan dañar los equipos y la documentación existente

6.5. Protección radiológica

El propósito de la protección radiológica es eliminar el riesgo de accidentes ocasionados en la manipulación de equipo generador de radiaciones ionizantes, tal es el caso de los rayos X. Dependiendo de la exposición o absorción de pequeñas cantidades de radiación, se aplican conceptos de valores máximos admisibles de la exposición a que pueden quedar sometidas las personas que trabajen con equipo generador de radiaciones. Además de estas personas, corren riesgo de exposición los individuos de la población en general. Por lo tanto, existe diferencia entre la protección de los trabajadores expuestos por razones profesionales y la protección de la población en general.

6.5.1. Interacción de la radiación con las células vivas

Todos los órganos del cuerpo humano se componen de tejidos formados a su vez por células de diversos tipos. La célula viva, que es la unidad de vida en el complejo sistema biológico, es en sí misma una entidad sumamente complicada. Cuando las células absorben radiación ionizante tienen lugar procesos de ionización y excitación.

Los átomos y moléculas ionizados y excitados se redisponen formando moléculas estables e inestables o bien radicales libres, con lo que se producen nuevas reacciones químicas con las moléculas contiguas. Estos cambios, en cualquier parte de la complicada estructura de la célula pueden dar lugar a una serie de efectos nocivos, como son: inhibición de la división celular, anormalidad en las funciones de la célula, muerte de esta o alteración de la estructura de los genes de las células reproductoras, que en definitiva podría dar lugar a cambios genéticos. El daño causado depende de la cantidad de energía absorbida, de la velocidad de absorción y del mecanismo seguido por ésta, y es acumulativo a lo largo de prolongados intervalos de tiempo. Así pues, debido a la exposición del cuerpo humano a la radiación se pueden tener efectos somáticos y efectos genéticos. Debido a ello en el momento de manipular un equipo generador de rayos X es importante tomar todas las precauciones pertinentes con la finalidad de evitar exposiciones innecesarias.

6.5.2. Magnitudes y unidades de radiación

El daño o efecto de la radiación en un material depende de la energía absorbida por esta. La exposición a que está sometida un material es la cantidad de carga eléctrica (de un solo signo) que se produce por unidad de masa del material, debida a la radiación incidente.

Sus unidades son *Coulumbio*/kilogramo (C/Kg). Los electrones liberados en el material entregaran toda o parte de su energía a éste. La energía absorbida por el material por unidad de masa se conoce como dosis. Sus unidades son *Joule*/kilogramo (J/Kg) o *Gray* (Gy). Si se consideran los efectos biológicos producidos por la radiación o dosis equivalente, la unidad utilizada es el *Sievert* (Sv) Existen factores de ponderación que dependen del tipo de radiación, llamados factores de calidad. Para rayos X y radiación gamma el factor de calidad es igual a la unidad, por lo tanto, un *Sievert* equivale a un *Gray*.

Anteriormente se utilizaban otras unidades radiológicas, y aun en nuestro medio persiste el uso de las mismas, por lo cual es conveniente mostrar la relación que existe entre estas y la unidades actuales.

Para exposición la unidad antigua era el *Roentgen* (R) y la relación entre esta y las unidades actuales es:

$$1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C / Kg}$$

Para dosis absorbida, la unidad antigua era el *Roentgen Absorbed Dose* (RAD) :

$$1 \text{ Gray (Gy)} = 1 \text{ J / Kg}$$

$$1 \text{ RAD} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Gy}$$

Para dosis equivalente biológica, se usaba el *Roentgen Equivalents Man* (REM) :

$$\text{Sievert (Sv)} = 1 \text{ J / Kg}$$

$$1 \text{ REM} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}$$

6.5.3. Equipos para la medición de la radiación

Todas las radiaciones, ya sean directa o indirectamente ionizantes, experimenta interacciones con los átomos o moléculas del medio que atraviesa. Producen ionización en los medios gaseosos, centelleos en determinadas sustancias luminiscentes, el ennegrecimiento de las emulsiones fotográficas y la descomposición química de algunas sustancias. Se ha hecho uso de estas propiedades en el proyecto y construcción de diversos dispositivos destinados a detectar y medir las radiaciones.

Para que sea evaluada la cantidad de radiación existente en determinada área, son utilizados los medidores que indican la exposición momentánea, mientras que los monitores personales de radiación indican la exposición acumulada. El equipo con el que se cuenta en la Dirección General de Energía para detectar y medir la radiación consiste en un detector *Geiger-Muller*, el cual indica la exposición momentánea. Este dispositivo consiste en una cámara de ionización que contiene gas P10 (una mezcla de gas 90 % Argón y diez % Etanol), el cual al recibir radiación se ioniza produciendo iones que son acelerados hacia unos electrodos conectados a un circuito que posee un amperímetro calibrado y que permite obtener lecturas de cantidad de radiación al mismo tiempo que emite un sonido.

Como monitores personales se utilizan los dosímetros de película, el cual consiste en una pequeña funda que contiene película radiográfica, la cual al exponerse a la radiación se ve afectada. Después de cierto tiempo (1 mes aproximadamente), esta es revelada y por la comparación con la densidad de un patrón, podrá ser evaluada la cantidad de radiación recibida sobre ella. Como este dosímetro se lleva pegado al cuerpo, la cantidad de radiación que reciba es la que recibió el individuo que lo portaba.

6.5.4. Valores máximos admisibles de la intensidad de la radiación

En su informe de 1990 la CIPR (Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones) formuló recomendaciones relativas a las dosis límite de radiación correspondiente a las categorías siguientes:

- Adultos expuestos en el desempeño de su trabajo profesional
- Población en general

A continuación, se presenta un resumen de dosis límite para las distintas categorías de individuos:

Tabla XXI. Dosis de radiación permisible

APLICACIÓN	DOSIS LÍMITE	
	PERSONAL OCUPACIONAL	PÚBLICO
DOSIS EFECTIVA DOSIS EFECTIVA DOSIS EFECTIVA	20 mSv / año 6.85 μ Sv / hr 0.8 mRem / hr	1 mSv / año 0.35 μ Sv / hr 0.04 mRem / hr

6.5.5. Condiciones inseguras

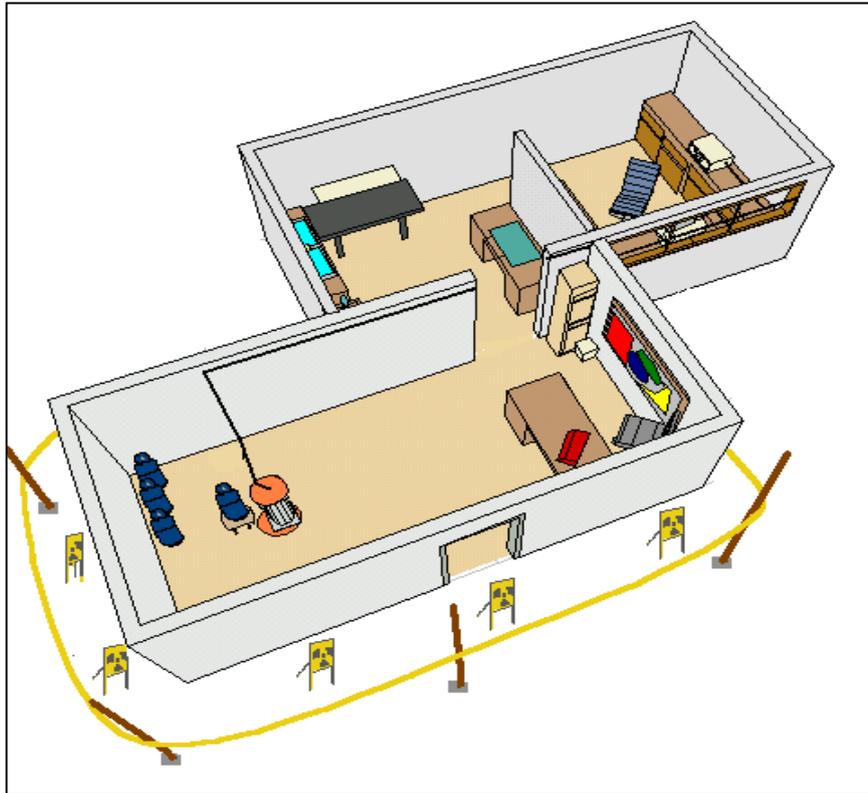
Dentro de las condiciones inseguras que podrían encontrarse en el laboratorio de Ensayos no Destructivos al realizar exposiciones radiográficas se pueden mencionar:

- No utilizar el acordonamiento adecuado del laboratorio al momento de realizar las emisiones de radiación
- No utilizar los rótulos de prevención cuando se realizan emisiones de radiación
- Falta de conocimiento del personal de la Dirección General de Energía, y público en general de la información básica del reglamento de seguridad radiológica
- Equipo de irradiación en mal estado
- Mal funcionamiento de la luz de seguridad del tubo de rayos X, que indica la actividad de radiación

6.5.6. Actos inseguros

- Que el operador del equipo de rayos X, no utilice la llave de seguridad para desactivar el equipo
- Encontrarse dentro del *Bunker* de irradiación al momento de realizar las emisiones
- No utilizar el dosímetro al momento de realizar actividades de emisión radiográfica, que permita diagnosticar la cantidad de radiación absorbida
- Mantener pláticas o actitudes inadecuadas dentro del lugar de trabajo, que puedan causar distracción, o un accidente indeseado
- Ubicar el tubo de rayos X en una dirección de emisión errónea que ponga en riesgo al personal del laboratorio

Figura 47. Plano isométrico del área circulada del laboratorio



6.6. Señalización

Para contar con condiciones seguras de trabajo, el laboratorio de Ensayos no Destructivos tiene la obligación de proteger al personal y al público en general, mediante la advertencia de áreas o situaciones de peligro, para lo cual se hace valer de la siguiente herramienta de señalización.

Figura 48. Rótulo de peligro por material corrosivo



Figura 49. Rótulo de peligro por líquidos inflamables



Figura 50. Rótulo de prohibido fumar



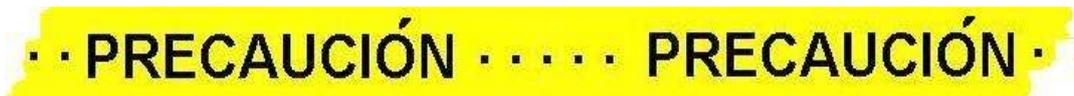
Figura 51. Rótulo de orden y limpieza



Figura 52. Rótulo de peligro por radiación



Figura 53. Cinta de precaución



CONCLUSIONES

1. La utilización adecuada de las herramientas de ingeniería hace posible la evaluación y mejoramiento de la calidad de los resultados obtenidos de los procesos de inspección.
2. El establecimiento de procesos estandarizados es una actividad muy importante para el mejoramiento de la calidad de los procedimientos y resultados de inspección no destructiva en cilindros de GLP.
3. Luego de haber realizado un control de calidad en los resultados obtenidos del proceso propuesto de medición de espesor por ultrasonido, se determinó que éstos se encuentran dentro de los límites de aceptación fijados por el laboratorio, lo que nos indica que el proceso propuesto se encuentra bajo control de calidad, y sus resultados son confiablemente aceptados, en comparación con el proceso actual de medición ultrasónica.
4. Luego de haber realizado cambios técnicos de inspección dentro del proceso de inspección radiográfica, se logró obtener resultados satisfactorios, los cuales se reflejan en los gráficos de control realizados en el proceso propuesto, los cuales brindarán una mayor garantía y confiabilidad de los resultados de inspección.

5. Para cumplir con el objetivo del laboratorio, de contar con la capacidad inspección de la calidad de la lámina y soldadura de la brida en los cilindros de GLP, se han logrado implementar los proceso de inspección por partículas magnéticas y líquidos penetrantes, utilizando para ello, herramientas de ingeniería.
6. Al realizar el control de calidad de los procesos implementados de partículas magnéticas y líquidos penetrantes, se determinó que dichos proceso se encuentra bajo control de calidad, demostrando con ello que el laboratorio cuenta con la capacidad de garantizar la veracidad de los resultados obtenidos.
7. El mantenimiento preventivo adecuado y adecuadamente aplicado es importante, ya que incrementa la vida útil de los equipos, reduce los costos de producción al disminuir las fallas y los tiempos de paro, con el consiguiente incremento de la productividad.
8. La seguridad e higiene industrial es indispensable dentro de cualquier tipo de empresa para resguardar al personal, materia prima , mobiliario y equipo de cualquier problema de accidentes.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar y mantener la calidad de los resultados obtenidos de los distintos procesos de inspección, se recomienda realizar el control de calidad periódico, haciendo uso adecuado de las herramientas de ingeniería utilizadas en el presente proyecto .
2. La garantía y confiabilidad de los resultados reside finalmente en no contar con interpretaciones erróneas de defectología, ya que de ser así estaríamos diagnosticando, como aceptables, cilindros que en verdad se encuentran defectuosos; para eliminar esta posibilidad se recomienda apegarse a los procedimientos de inspección establecidos en el presente proyecto.
3. Es importante enfatizar la capacitación del personal que labora en el departamento de mantenimiento electrónico, para aumentar la eficiencia del trabajo que se lleva a cabo, a través de la motivación y del conocimiento actualizado de todos los aspectos que se involucran en el mantenimiento de los equipos de inspección.
4. Es necesario apegarse a la programación de mantenimiento, ya que con ello se logrará la minimización de tiempos perdidos, como también se disminuirá la posibilidad de existencia de fallas a ocurrir y por ende se estarán garantizando la obtención de resultados de inspección confiables.

5. Con el objetivo de resguardar el bienestar del personal, insumos, mobiliario y equipo se recomienda respetar los lineamientos de seguridad e higiene industrial establecidos en el presente proyecto, dándole especial importancia a los aspectos a tomar en cuenta para la protección radiológica

BIBLIOGRAFÍA

1. Báez, Juan. **Radiografía industrial**. Informe de la Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, 1993.
2. Cabezón, Fernando. **Curso Interregional de Capacitación en la Garantía de Calidad**. Informe del curso. 2ª ed. Argentina, 1995.
3. Calvo Samayoa, Eduardo Roberto. **Control de calidad de soldaduras por métodos no destructivos**. Informe de la Comisión Nacional de Energía Atómica, .Abril de 1992.
4. Gómez, Mario. **Los ensayos no destructivos en programas de garantía de calidad**. Informe de la segunda conferencia regional sobre ensayos no destructivos. Argentina, 1992.
5. Gutiérrez, Humberto. **Calidad total y productividad**. Libro. 2ª ed. , México, 1997.
6. Hernández, Malfavón y Fernández. **Seguridad e Higiene Industrial**. (Colección Limusa, volumen 2). Limusa Editores, 1992.
7. Jorge Letayf, Carlos González. **Seguridad, Higiene y Control Ambiental**. Libro de texto. McGraw Hill, 1996.
8. Niebel, Benjamin. **Ingeniería Industrial, métodos, tiempos y movimientos**. Libro de texto. 3ª ed. México: Editorial Alfa Omega, 1994.
9. Ramírez Vásquez, José. **Luminotecnia**. Enciclopedia Ceac de electricidad,1994.

10. Salguero Carias, Héctor Manolo. **Diseño de un Sistema de Control de producción.** Tesis, Facultad de Ingeniería, USAC, 1996.

APÉNDICE 2. Descripción de los procesos propuesto de inspección

A continuación se presenta la descripción de las actividades que comprenden cada uno de los procesos propuestos de inspección no destructiva en cilindros de GLP.

1. Proceso de medición de espesor por ultrasonido en cilindros de GLP

- **Inspección visual y marcado del cilindro:** se realiza una breve inspección visual del cilindro con el objetivo de determinar el área precisa en cada casquete o cuerpo, en el que se realizará la medición de espesor, y luego se marca el código de muestra con un marcador permanente.
- **Transporte del cilindro al área de limpieza y registro:** se transporta el cilindro al área de limpieza y registro.
- **Limpieza del cilindro:** se efectúa la limpieza del cilindro completamente, utilizando *wipe* o papel mayordomo.
- **Registro de la numeración y código del cilindro:** se realiza el registro de la numeración y el código de muestra del cilindro en orden secuencial, apuntándolo en el cuaderno de anotaciones.
- **Aplicación del removedor de pintura en las áreas del cilindro a medir el espesor:** se aplica el químico removedor de pintura en las áreas del cilindro, utilizando para ello un pincel para untarlo más fácilmente el área a medir.

- **Espera a la reacción del químico removedor:** se aguarda por un espacio de tres minutos a que el químico haga efecto en la pintura y la desprenda del material, sin que reduzca el espesor de la lámina, ya que se tiene como objetivo el realizar la medición de espesor de la lámina directamente en el

metal y así poder despreciar realmente el espesor de la pintura. El área de la lámina en el que se realiza la remoción de pintura está comprendida por un círculo de aproximadamente uno punto cinco centímetros de diámetro

- **Limpieza del área del cilindro a medir espesor:** se efectúa la limpieza del área del cilindro en el que se realizó la remoción de pintura, utilizando *wipe* o papel mayordomo.
- **Transporte del cilindro al área de medición:** se toma el cilindro y es llevado al área de medición.
- **Colocación del aceite acoplante:** se aplica aceite en las superficies del cilindro a medir, abarcando el área total donde se removió la pintura, con la finalidad de brindar una mejor conducción de las ondas ultrasónicas.
- **Calibración del equipo de ultrasonido:** se realiza la calibración del equipo de ultrasonido, utilizando los controladores y la probeta correspondiente hasta alcanzar la lectura de cinco milímetros.
- **Colocación del palpador en el casquete superior:** se coloca el palpador sobre el área del casquete superior a medir en una posición que pueda registrar una lectura fija.
- **Espera a que el equipo de ultrasonido realice un lectura fija:** el operador debe esperar un momento a que el equipo registre una lectura de espesor fija.
- **Lectura y registro del espesor:** en esta operación combinada el operador realiza las lecturas del espesor de la lámina, y la registra de manera escrita en el cuaderno de anotaciones.
- **Colocación del palpador en el casquete inferior:** se coloca el palpador sobre el área del casquete inferior a medir en una posición que pueda registrar una lectura fija.
- **Espera a que el equipo de ultrasonido realice un lectura fija:** el operador debe esperar un momento a que el equipo registre una lectura de espesor fija.

- **Lectura y registro del espesor:** en esta operación combinada el operador realiza las lecturas del espesor de la lámina en el casquete inferior, y la registra de manera escrita en el cuaderno de anotaciones.

2. Proceso propuesto de inspección radiográfica en cilindros de GLP

- **Medición del área a inspeccionar en el cilindro:** se realiza la medición del área de la soldadura a inspeccionar en el cilindro, utilizando una cinta métrica.
- **Marcaje del área a inspeccionar en el cilindro:** señalar con un marcador de tinta permanente, la longitud de la soldadura a inspeccionar en cada toma radiográfica.
- **Ordenamiento del banco de trabajo:** colocar la guillotina, el *masking tape* y la caja que contiene la película radiográfica en su lugar preciso sobre el banco, y eliminar cualquier objeto que entorpezca el procedimiento de enfundado.
- **Preparación de la guillotina:** se calibra la longitud de corte de la guillotina de acuerdo a la medida del área de la soldadura a inspeccionar.
- **Abertura de la funda de plomo:** se procede a abrir una de las cuatro fundas de plomo.

- **Corte del *masking tape*:** este se corta con una longitud aproximada de cinco centímetros.
- **Inspección y adecuación del cuarto oscuro:** se verifica si existen objetos no relacionados con el procedimiento de enfundado, que obstaculicen su ejecución, se cierran las puertas, se apaga la luz incandescente y luego se enciende la luz roja para revelado.
- **Extracción de la película de su caja de empaque:** se realiza la extracción de la película radiográfica de su caja de empaque y se coloca sobre el banco de trabajo.

- **Ajuste de la película radiográfica en la guillotina:** el operario coloca la película en el borde de la guillotina topándola contra el ajustador de longitud. Se realizan cuatro ajustes, uno para cada película a cortar.
- **Corte de la película radiográfica:** se presiona hacia abajo la manivela de tajo de la guillotina la cual realiza el corte de la película.
- **Enfundado:** se coloca la película dentro de la funda de plomo abierta.
- **Cierre de la funda de plomo:** se cierra la funda de plomo con la película adentro.
- **Colocación de *masking tape*:** se coloca *masking tape* en la orilla de la funda para evitar que ésta se abra.
- **Colocación de la película dentro de su caja de empaque:** se coloca la película radiográfica dentro de su caja de empaque, con el objetivo de no velarla.
- **Transporte de la película al área de control de mando:** se traslada la película radiográfica hacia el área de control de mando, ya que esta área se encuentra aislada de la radiación.
- **Colocación de conectores:** conectar al tubo de rayos X y el comando por medio de sus respectivos cables.
- **Conexión del fusible del equipo:** se conecta en posición “ON” el fusible del equipo de rayos X.
- **Activación del control de mando para el calentamiento del tubo de rayos X:** se activa el control de mando a través de la pulsación de los botones de arranque del equipo de rayos X.
- **Espera al calentamiento del tubo de rayos X:** este calentamiento debe realizarse por un tiempo de cinco minutos, con el objetivo de desarrollar en el tubo una capacidad de irradiación constante y uniforme.
- **Desactivación del control de mando luego del calentamiento del tubo de rayos X:** se desactiva el control de mando a través de pulsar los botones de paro del equipo de rayos X.

- **Traslado de la película radiográfica al área de irradiación:** ya insertada la película dentro de la funda protectora, esta se traslada hacia el área de irradiación con el objetivo de colocarla sobre el área de soldadura del cilindro.
- **Transporte del cilindro a la área de irradiación:** se traslada el cilindro al área de irradiación.
- **Colocación de película en el objetivo:** se coloca la película en el área de la soldadura a inspeccionar.
- **Sujeción de película:** se realiza una sujeción de la película al cilindro utilizando un cincho de hule, con el objetivo que esta no tenga movimiento al momento de ser irradiada.
- **Fijación de parámetros de irradiación:** se realiza la fijación en el comando de los parámetros de Kilo voltaje, tiempo de exposición y amperaje a utilizar en la irradiación.
- **Activación del control de mando:** se activa el control de mando a través de pulsar los botones de arranque del equipo de rayos X, para que este empiece a emitir el haz de irradiación hacia el cilindro
- **Espera de irradiación del equipo:** espera por parte del operario a que el tubo de rayos X irradie la película radiográfica, atravesando primero el cilindro.
- **Desactivación del control de mando:** se desactiva el control de mando a través de pulsar los botones de paro del equipo de rayos X.
- **Remoción de la película:** se remueve la película radiográfica ya expuesta, halando hacia fuera el cincho que la sujeta.
- **Traslado de la película hacia el cuarto oscuro:** se traslada la película ya expuesta hacia el cuarto oscuro, para su pronta preparación al procedimiento de revelado.
- **Vertimiento del químico revelador:** se vierten dos litros de revelador en ocho litros de agua.
- **Mezcla de revelador:** se agita la composición obtenida y se agita hasta conseguir una solución homogénea.

- **Preparación del químico fijador:** se vierten dos litros de fijador en ocho litros de agua.
- **Mezcla de fijador:** se agita la composición obtenida y se agita hasta conseguir una solución homogénea.
- **Adecuación del cuarto oscuro para el proceso de revelado:** se cierran las puertas, se apaga la luz incandescente y se enciende la luz roja para revelado.
- **Calibración del cronómetro:** para utilizar el cronómetro con agujas fosforescentes, perceptibles en la oscuridad, este se debe de ajustar, para que timbre exactamente al haber transcurrido cinco minutos luego de su activación.
- **Remoción de *masking tape*:** se retira el *masking tape* de la funda.
- **Desenfundado de película:** se retira la película expuesta de la funda de plomo.
- **Encarretado de película:** se colocan las películas expuestas dentro del carrete para revelado.
- **Traslado de la película al recipiente de revelado:** se lleva la película ya encarretada hacia el punto más próximo a la cubeta de revelado, lista a ser sumergida dentro de la solución.
- **Activación del cronómetro:** se pulsa el botón color verde, para que el cronómetro empiece a medir el tiempo transcurrido.
- **Colocación de película en el recipiente de revelado:** se sumerge el carrete con las películas expuestas dentro de la solución de revelado.
- **Espera de revelado:** el operario espera a la reacción del revelado en las películas expuestas.
- **Desactivación del cronómetro:** luego que el cronómetro a timbrado, se pulsa el botón rojo para que este se detenga.
- **Extracción del recipiente de revelado:** se remueve el carrete con las películas del recipiente de revelado.
- **Eliminación del exceso de químico revelador en la película:** luego de haber extraído la película del recipiente de revelado, se procede a eliminar

los excesos, agitando el carrete por un espacio aproximado de diez segundos.

- **Calibración del cronómetro:** ajustar el cronómetro para que timbre exactamente al haber transcurrido un minuto luego de su activación.
- **Activación del cronómetro:** se pulsa el botón color verde, para que el cronómetro empiece a medir el tiempo transcurrido.
- **Colocación de la película dentro del recipiente con agua:** se sumerge el carrete dentro del recipiente con agua, con el objetivo de realizar el remojo.
- **Espera del remojo de la película:** se efectúa con el fin de eliminar restos del químico revelador, que puedan contaminar el recipiente de la solución de fijado, al sumergir el carrete.
- **Desactivación del cronómetro:** luego que el cronómetro a timbrado, se pulsa el botón rojo para que este se detenga.
- **Extracción de la película del recipiente de agua:** luego de haber permanecido durante un espacio de un minuto en remojo, se extrae la película.
- **Eliminación del exceso de remojo en la película:** se agita el carrete sobre el lavabo, por un espacio aproximado de siete segundos.
- **Calibración del cronómetro:** ajustar el cronómetro para que timbre exactamente al haber transcurrido cinco minutos luego de su activación.
- **Activación del cronómetro:** se pulsa el botón color verde, para que el cronómetro empiece a medir el tiempo transcurrido.
- **Colocación de película en el recipiente de fijado:** se sumerge el carrete con las películas expuestas dentro de la solución de fijado.
- **Espera de fijado:** el operario espera a la reacción del fijador en las películas expuestas.
- **Desactivación del cronómetro:** luego que el cronómetro a timbrado, se pulsa el botón rojo para que este se detenga.
- **Extracción del recipiente de fijado:** se remueve el carrete con las películas del recipiente de fijado.

- **Eliminación del exceso de químico fijador en la película:** luego de haber extraído la película del recipiente de fijado, se procede a eliminar los excesos, agitando el carrete sobre el lavabo por un espacio aproximado de diez segundos.
- **Calibración del cronómetro:** ajustar el cronómetro para que timbre exactamente al haber transcurrido cinco minutos luego de su activación.
- **Activación del cronómetro:** se pulsa el botón color verde, para que el cronómetro empiece a medir el tiempo transcurrido.
- **Colocación de la película dentro del recipiente con agua:** se sumerge el carrete dentro del recipiente con agua, con el objetivo de realizar el remojo.
- **Espera del remojo de la película:** se efectúa con el fin de eliminar restos del químico fijador, que perjudique posteriormente la calidad de imagen a obtener en la radiografía.
- **Desactivación del cronómetro:** luego que el cronómetro a timbrado, se pulsa el botón rojo para que este se detenga.
- **Extracción de la película del recipiente de agua:** luego de haber permanecido durante un espacio de cinco minutos en remojo, se extrae la película.
- **Eliminación del exceso de remojo en la película:** se agita el carrete sobre el lavabo, por un espacio aproximado de treinta segundos.
- **Remoción de las películas del carrete:** se remueven las películas ya reveladas del carrete de revelado.
- **Colocación de la película dentro del horno:** se utiliza un horno para el secado de las películas.
- **Espera del secado:** el operario espera a que el horno realice la operación de secado de la película homogéneamente.
- **Retirar la película del horno de secado:** luego que el horno ha eliminado los excesos de agua en la película se procede a extraer la película de su interior.
- **Traslado de la película al banco de secado:** debido a que el horno de secado no efectúa un secado total de la película, ya que esto podría dañar la

calidad de la imagen de la radiografía, se procede a trasladarla hacia el banco para un secado final.

- **Colocación de la película sobre el banco de secado:** se realiza un secado final, para lo cual se coloca la película sobre el banco.
- **Espera del secado final:** para la obtención de una mejor calidad de imagen de la radiografía es necesario permitir a la película que elimine los últimos restos de humedad que contenga.
- **Fijación del negatoscopio:** se ajusta el nivel de iluminación del negatoscopio.
- **Colocación de película en el negatoscopio:** se coloca la película en el negatoscopio luego de haberse secado.
- **Interpretación radiográfica:** se realiza una inspección visual de la película observada a través del negatoscopio.
- **Registro de la interpretación:** se registra de forma escrita, en el cuaderno de notas, las discontinuidades halladas luego de la interpretación.

3. Proceso de inspección por partículas magnéticas en cilindros de GLP

- **Transporte del cilindro al banco de inspección. el cilindro:** se traslada el cilindro desde el área de irradiación hacia el banco para su limpieza, preparación e inspección.
- **Aplicar solvente al *wipe*:** se humedece un *wipe* con solvente, el cual utilizaremos para realizar la limpieza del cilindro.
- **Limpieza del área del cilindro a inspeccionar:** utilizando el *wipe* impregnado con solvente, procedemos a realizar la limpieza del área a inspeccionar en el cilindro
- **Espera a secado del solvente:** Se aguarda un lapso de aproximadamente 10 segundos, para que el solvente efectúe su reacción de limpieza.
- **Encendido de la lámpara ultravioleta:** al estar el área del cilindro preparada para ser inspeccionada, se enciende la lámpara ultravioleta.

- **Agitación del envase de partículas magnéticas:** para obtener un producto de partículas magnéticas homogéneo, se agita el envase, por un espacio aproximado de 10 segundos.
- **Aplicación de partículas magnéticas en el área del cilindro a inspeccionar:** sosteniendo el envase de partículas magnéticas a una distancia de 30 cms. Aproximadamente, estas se rocían sobre la superficie del área del cilindro a inspeccionar.
- **Toma del yugo magnético:** se toma a una mano el yugo magnético con el cual magnetizaremos el área a inspeccionar.
- **Colocación del yugo en el área a inspeccionar:** para lograr la magnetización del área a inspeccionar es necesario colocar el yugo magnético sobre esta.
- **Magnetización e interpretación de discontinuidades:** luego de haber colocado el yugo magnético sobre el área a inspeccionar, se pulsa el botón para que suceda la magnetización, en éste momento, si existen discontinuidades en el área, estas se dibujaran sobre la superficie por medio de las partículas magnéticas, las cuales se deben de verificar e interpretar.
- **Retirar el Yugo magnético:** ya habiendo interpretado los resultados, se retira el yugo magnético del área inspeccionada.
- **Señalización de las discontinuidades encontradas:** utilizando un marcador permanente, se realiza una marca que delimite el sitio exacto en el cilindro donde se ha identificado discontinuidad alguna.
- **Remoción del exceso de partículas magnéticas:** utilizando un hoja de papel mayordomo se realiza una limpieza, tratando de remover los restos de solución.
- **Aplicación del solvente al *wipe*:** se humedece el *wipe* con solvente, el cual utilizaremos para realizar la limpieza del cilindro.
- **Limpieza del cilindro con *wipe*:** utilizando el *wipe* impregnado con solvente, procedemos a realizar la limpieza del área ya inspeccionada del cilindro.
- **Limpieza final del cilindro:** utilizando un hoja de papel mayordomo se realiza la limpieza final del cilindro, tratando de remover los restos de

solución, ya que esta es grasosa y podría causar algún accidente posteriormente.

- **Aplicación del solvente al *wipe*:** se humedece un *wipe* con solvente, el cual utilizaremos para realizar la limpieza del cilindro.
- **Limpieza del yugo magnético:** utilizando el *wipe* con solvente, procedemos a realizar la limpieza del yugo magnético, tratando de que éste se impregne perfectamente en la parte por donde se toma el yugo.
- **Limpieza final del yugo magnético:** con una hoja de papel mayordomo se realiza la limpieza final, tratando de remover los restos de solución que se encuentren en el yugo magnético.
- **Toma del indicador de campos magnéticos:** para verificar la existencia y dirección de campos magnéticos en la superficie inspeccionada se necesita utilizar un indicador.
- **Verificación de campos magnéticos:** se coloca el indicador sobre el área inspeccionada en el cilindro, el cual nos marcará la dirección del campo magnético.
- **Colocación del indicador de campos magnéticos sobre el banco de trabajo:** luego de verificar la dirección del campo magnético, se coloca el indicador sobre el banco de trabajo, debido a que no lo utilizaremos más en el proceso y que es un aparato muy frágil, podría dañarse fácilmente.
- **Desmagnetización del área inspeccionada:** se coloca el yugo magnético sobre el área inspeccionada en una posición perpendicular a la dirección del campo magnético, luego se pulsa el botón de magnetización por un espacio de 10 segundos. Este procedimiento nos permitirá eliminar el campo magnético generado a través del proceso de inspección.
- **Colocación del yugo magnético sobre el banco:** ya que el área inspeccionada ha sido desmagnetizada, se coloca el yugo magnético sobre el banco de trabajo.

4. Proceso de inspección por líquidos penetrantes en cilindros de GLP

- **Limpieza del cilindro:** utilizando un *wipe* se realiza una limpieza preliminar del área de la brida en el cilindro.
- **Aplicación del removedor de pintura en las áreas del cilindro a inspeccionar:** se aplica el químico removedor de pintura en el área de la brida del cilindro, utilizando para ello un pincel para untarlo más fácilmente.
- **Espera a la reacción del removedor:** se aguarda por espacio de cinco minutos a que el químico haga efecto en la pintura y la desprenda del material.
- **Remoción de los excesos de pintura:** utilizando una espátula, se desprenden los excesos de pintura existentes aun sobre la superficie.
- **Limpieza del área del cilindro a inspeccionar:** se efectúa la limpieza del área del cilindro en el que se realizó la remoción de pintura, utilizando *wipe* o papel mayordomo.
- **Transporte del cilindro al banco de inspección:** se traslada el cilindro desde el área de irradiación hacia el banco para su limpieza, preparación e inspección.
- **Aplicar solvente al *wipe*:** se humedece un *wipe* con solvente, el cual utilizaremos para realizar la limpieza del cilindro.
- **Limpieza del área del cilindro a inspeccionar:** utilizando el *wipe* impregnado con solvente, procedemos a realizar la limpieza del área a inspeccionar en el cilindro
- **Espera a secado del solvente:** se aguarda un lapso de aproximadamente 10 segundos, para que el solvente efectúe su reacción de limpieza.
- **Agitación del envase de líquidos penetrantes:** para obtener un producto homogéneo de líquidos penetrantes, se agita el envase, por un espacio aproximado de diez segundos.
- **Aplicación de los líquidos penetrantes en el área del cilindro a inspeccionar:** sosteniendo el envase de líquidos penetrantes a una distancia de 30 cms. aproximadamente, éstas se rocían sobre la superficie de la brida en el cilindro.

- **Espera a la reacción de los líquidos penetrantes:** para que el líquido sea absorbido por el material, debe de transcurrir un lapso de aproximado de 10 minutos.
- **Limpieza de los excesos de líquido penetrante:** con un papel mayordomo se eliminan los excesos de líquido penetrante en la superficie a inspeccionar.
- **Encendido de la lámpara ultravioleta:** al estar el área del cilindro preparada para ser inspeccionada, se enciende la lámpara ultravioleta.
- **Agitación del envase de revelador:** para obtener un producto homogéneo de revelador, se agita el envase, por un espacio aproximado de 10 segundos.
- **Aplicación del revelador:** sosteniendo el envase de revelador a una distancia de treinta cms. aproximadamente, este se rocía sobre la superficie a inspeccionar.
- **Espera a la reacción del revelador:** para que el revelador logre mezclarse con el líquido penetrante y ejercer su reacción, debe de transcurrir por lo menos quince segundos.
- **Inspección del área en estudio:** si existen discontinuidades en el área, estas se mostrarán sobre la superficie por medio de la reacción del líquido penetrante y el revelador, las cuales se deben verificar e interpretar.
- **Señalización de las discontinuidades encontradas:** con un marcador permanente, se realiza una marca que delimite el sitio exacto en el cilindro donde se ha identificado discontinuidad alguna.
- **Aplicación del solvente al *wipe*:** se humedece el *wipe* con solvente, el cual utilizaremos para realizar la limpieza del cilindro.
- **Limpieza del cilindro con *wipe*:** utilizando el *wipe* impregnado con solvente, procedemos a realizar la limpieza del área ya inspeccionada del cilindro.
- **Traslado del cilindro al almacenamiento:** luego de haber diagnosticado la existencia de discontinuidades en el área de la brida, se procede al traslado del cilindro al área de almacenamiento externo.

ANÉXOS

Tabla XXIII: Tabla K letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D

Tamaño del lote	Niveles de inspección especiales				Niveles de inspección generales		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I REDU	II NORMAL	III RIGUROSA
2-8	A	A	A	A	A	A	B
→ 9-15	A	A	A	A	A	B	C
16-25	A	A	B	B	B	C	D
→ 26-50	A	B	B	C	C	D	E
51-90	B	B	C	C	C	E	F
91-150	B	B	C	D	D	F	G
151-280	B	C	D	E	E	G	H
281-500	B	C	D	E	F	H	J
501-1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201-3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 201-10 000	C	D	F	G	J	L	<u>M</u>
10 001-35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001-150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001-500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 y más	D	E	H	K	N	Q	R

Tabla XXIV. Tabla V, norma ABC

Tabla V Factores límite de la calidad media de salida para inspección rigurosa (muestreo simple) MIL-STD-105D (Norma ABC).

Letra clave	Tamaño de la muestra	Nivel de calidad aceptable																					
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1 000	
A	2																						
B	3																						
C	5																						
D	8																						
E	13																						
F	20																						
G	32																						
H	50																						
J	80																						
K	125																						
L	200																						
M	315																						
N	500																						
P	800																						
Q	1 250																						
R	2 000																						
S	3 150																						

NOTA: Para el AOQL exacto, hay que multiplicar los valores anteriores por tamaño muestra $\left(1 - \frac{\text{tamaño muestra}}{\text{tamaño del lote}}\right)$.

Tabla XXV. Tabla B

Tabla B Factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control de 3σ de las gráficas \bar{X} , s y R .

OBSERVACIONES EN LA MUESTRA, n	GRAFICA PARA PROMEDIOS				GRAFICA PARA LAS DESVIACIONES ESTANDAR				GRAFICA DE LOS RANGOS						
	FACTORES PARA LOS LÍMITES DE CONTROL		FACTORES PARA LA LINEA CENTRAL		FACTORES PARA LOS LÍMITES DE CONTROL		FACTORES PARA LA LINEA CENTRAL		FACTORES PARA LOS LÍMITES DE CONTROL		FACTORES PARA LA LINEA CENTRAL				
	A	A_1	A_2	A_3	c_4	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	d_1	d_2	d_3	d_4
2	2.121	1.880	2.659		0.7979	0	3.267	0	2.606		1.128	0.853	0	3.686	0
3	1.732	1.023	1.954		0.8862	0	2.568	0	2.276		1.693	0.888	0	4.358	0
4	1.500	0.729	1.628		0.9213	0	2.266	0	2.088		2.059	0.880	0	4.698	0
5	1.342	0.577	1.427		0.9400	0	2.089	0	1.964		2.326	0.864	0	4.918	0
6	1.225	0.483	1.287		0.9515	0.030	1.970	0.029	1.874		2.534	0.848	0	5.078	0
7	1.134	0.419	1.182		0.9594	0.118	1.882	0.113	1.806		2.704	0.833	0.204	5.204	0.076
8	1.061	0.373	1.099		0.9650	0.185	1.815	0.179	1.751		2.847	0.820	0.388	5.306	0.136
9	1.000	0.337	1.032		0.9693	0.239	1.761	0.232	1.707		2.970	0.808	0.547	5.393	0.184
10	0.949	0.308	0.975		0.9727	0.284	1.716	0.276	1.669		3.078	0.797	0.687	5.469	0.223
11	0.905	0.285	0.927		0.9754	0.321	1.679	0.313	1.637		3.173	0.787	0.811	5.535	0.256
12	0.866	0.266	0.886		0.9776	0.354	1.646	0.346	1.610		3.258	0.778	0.922	5.594	0.283
13	0.832	0.249	0.850		0.9794	0.382	1.618	0.374	1.585		3.336	0.770	1.025	5.647	0.307
14	0.802	0.235	0.817		0.9810	0.406	1.594	0.399	1.563		3.407	0.763	1.118	5.696	0.328
15	0.775	0.223	0.789		0.9823	0.428	1.572	0.421	1.544		3.472	0.756	1.203	5.741	0.347
16	0.750	0.212	0.763		0.9835	0.448	1.552	0.440	1.526		3.532	0.750	1.282	5.782	0.363
17	0.728	0.203	0.739		0.9845	0.466	1.534	0.458	1.511		3.588	0.744	1.356	5.820	0.378
18	0.707	0.194	0.718		0.9854	0.482	1.518	0.475	1.496		3.640	0.739	1.424	5.856	0.391
19	0.688	0.187	0.698		0.9862	0.497	1.503	0.490	1.483		3.689	0.734	1.487	5.891	0.403
20	0.671	0.180	0.680		0.9869	0.510	1.490	0.504	1.470		3.735	0.729	1.549	5.921	0.415

Derechos reservados de ASTM, 1916 Race Street, Filadelfia, PA, 19103. Se reproduce con autorización.

Tabla XXVI. Tabla de factores de reflexión para techo y paredes

CONDICIÓN	FACTOR DE REFLEXIÓN (ρ)
Techo de color blanco	$\rho_T = 0.7$
Techo de color muy claro	$\rho_T = 0.7$
Techo de color claro	$\rho_T = 0.5$
Techo de color medio	$\rho_T = 0.3$
Paredes de color claro	$\rho_P = 0.5$
Paredes de color medio	$\rho_P = 0.3$
Paredes de color obscuro	$\rho_P = 0.1$

Si no se tienen datos sobre el color del techo y de las paredes o en caso de duda, se adoptarán los siguientes valores:

Techo $\rho_T = 0.5$

Paredes $\rho_P = 0.3$

Tabla XXVII. Tabla de factores de utilización para iluminación interior, lámparas fluorescentes, iluminación directa con armadura de pantalla difusora

Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores de depreciación					
Tipo	Rend. η &		$p_T=0,7$			$p_T=0,5$			$p_T=0,3$			Limpieza cada					
			$p_R=0,5$	$p_R=0,3$	$p_R=0,1$	$p_R=0,5$	$p_R=0,3$	$p_R=0,1$	$p_R=0,5$	$p_R=0,3$	$p_R=0,1$	1 año	2 años	3 años			
DIRECTO con pantalla de metacrilato  	0,5 ↑ 65 ↓ 64,5	1	0,24	0,19	0,16	0,23	0,19	0,16	0,23	0,19	0,16						
		1,2	0,28	0,23	0,20	0,27	0,23	0,20	0,27	0,23	0,20						
		1,5	0,33	0,29	0,25	0,32	0,29	0,25	0,32	0,28	0,25						
		2	0,40	0,36	0,33	0,39	0,35	0,32	0,38	0,35	0,32						
		2,5	0,44	0,40	0,37	0,43	0,40	0,37	0,42	0,39	0,37	Ensuciamiento bajo	1,30	1,45	1,65		
		3	0,47	0,43	0,40	0,46	0,43	0,40	0,45	0,42	0,40						
		4	0,51	0,48	0,45	0,50	0,47	0,45	0,49	0,47	0,45	Ensuc normal	1,55	1,90	2,35		
		5	0,53	0,51	0,48	0,53	0,50	0,48	0,52	0,50	0,48						
		6	0,55	0,53	0,51	0,54	0,52	0,50	0,54	0,52	0,50	Ensuciamiento alto	*	*	*		
		8	0,57	0,55	0,54	0,57	0,55	0,54	0,56	0,55	0,53						
		10	0,59	0,57	0,56	0,58	0,57	0,55	0,58	0,56	0,55						
		1 aparato de alumbrado en el centro del local															
				1	0,26	0,22	0,19	0,25	0,21	0,18	0,25	0,21	0,18				
				1,2	0,31	0,27	0,24	0,30	0,26	0,24	0,30	0,26	0,24				
		1,5	0,37	0,34	0,31	0,37	0,33	0,31	0,36	0,33	0,31						
		2	0,46	0,42	0,40	0,45	0,42	0,40	0,44	0,42	0,40						

Tabla XXVIII. Tabla de niveles de flujo de iluminación para interiores

AMBIENTE	FLUJO LUMINOSO (LUXES)
Abarrotería	200
Alfarería	250
Bancos	200
Bibliotecas	250
Clínica de colores	300
Farmacia	200
Joyerías	250
Laboratorios de análisis	300
Panificadora	200
Peletería	200
Salas de espera	180
Sastrería	275
Taller de relojes	250
Taller de hilares	250
Talleres de torno	300
Zapatería	250

Fuente: Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Estados Unidos

Figura 54. Inciso 7.13 de la norma coguanor 51009

7.10 Expansión volumétrica. Después de llevar a cabo el ensayo de expansión volumétrica de acuerdo al método indicado en la norma COGUANOR NGO 51 025, la expansión volumétrica permanente de los cilindros no deberá exceder del 10% de la expansión volumétrica total, cuando se emplee una presión de prueba de 3,310 kpa (480 psi) durante 1 min.

7.11 Ensayos de Ruptura. Los cilindros sometidos al ensayo de ruptura, de acuerdo al método indicado en la norma COGUANOR NGO 51 025, deberán soportar una presión hidráulica mayor de 6 620 kpa (960 psi); los cilindros deberán romperse siempre por la lámina, sin que se produzcan desprendimientos de materiales, y no por la soldadura.

7.12 Hermeticidad. Los cilindros sometidos al ensayo de hermeticidad, de acuerdo al método indicado en la norma COGUANOR NGO 51 025, deberán soportar una presión hidráulica de 3,310 kpa (480 psi) durante 60 seg. sin mostrar evidencias de fugas y deterioros.

7.13 Espesor de lámina. Los cilindros de diámetro externo mayor de 152.4 mm (6 pulg.) deberán tener un espesor de pared no menor de 1.98 mm (0.078 pulg.).

